

**Construire une ville durable : les solutions
intelligentes pour la gestion des ressources à Tolga**
**Building a sustainable city : smart solutions for
resource management in Tolga**

Rayane REZAK^{1*}, Hanane HADDOUD²

Ecole Nationale d'Administration, Algérie

r.rezak@ena.dz¹

h.haddoud@ena.dz²

Date de réception : 20/05/2025 Date d'admission : 15/06/2025 Date de publication : 30/06/2025

Résumé

Cette étude examine les défis environnementaux et les solutions de développement durable dans la ville de Tolga en Algérie. À travers une analyse documentaire approfondie, le cadre conceptuel explore les principes de la sécurité environnementale et l'application des technologies intelligentes dans les zones arides.

Méthodologiquement, la recherche s'appuie sur une analyse de documents et des consultations avec des experts locaux. Les résultats mettent en évidence la dégradation des oasis traditionnelles, la problématique de la qualité de l'eau avec une salinisation croissante, et l'impact de l'urbanisation sur le climat local, avec une intensité d'émissions de CO₂ (152,1 t/km²) plus de deux fois supérieure à la moyenne régionale. L'étude met en évidence plusieurs technologies de ville intelligente particulièrement adaptées aux spécificités de Tolga, telles que les systèmes de gestion optimisée de l'eau, l'éclairage public intelligent, ainsi que les dispositifs de surveillance environnementale.

* Auteur correspondant

Les conclusions soulignent l'importance d'une approche intégrée combinant pratiques traditionnelles et innovations technologiques, avec une forte implication communautaire pour assurer la transition vers un développement urbain durable dans cette région désertique en rapide transformation.

Mots-clés

Gestion durable, ville intelligente, changement climatique, Tolga , technologies intelligentes.

Abstract

This study examines the environmental challenges and sustainable development solutions in the city of Tolga, Algeria. Through comprehensive document analysis, the conceptual framework explores principles of environmental security and the application of smart technologies in arid zones. Methodologically, the research relies on document analysis and consultations with local experts. The results highlight the degradation of traditional oases, water quality issues with increasing salinization, and the impact of urbanization on the local climate, with CO₂ emission intensity (152.1 t/km²) more than twice the regional average. The study identifies several smart city technologies adapted to Tolga's context, including water management systems, smart public lighting, and environmental monitoring. The findings emphasize the importance of an integrated approach combining traditional practices and technological innovations, with strong community involvement to ensure the transition toward sustainable urban development in this rapidly transforming desert region.

Keywords

Sustainable management, Smart city, Climate change, Tolga , Smart technologies.

Introduction

Dans un monde de plus en plus urbanisé, la recherche d'un équilibre entre développement économique et préservation de l'environnement est devenue essentielle. À Tolga, les pratiques locales actuelles jouent un rôle crucial dans la sécurité environnementale de la région. Parallèlement, le concept de ville intelligente émerge comme une solution innovante pour relever les défis écologiques tout en améliorant la qualité de vie des citoyens. En intégrant des technologies intelligentes et durables, il est possible d'optimiser la gestion des ressources, de réduire l'impact environnemental et de promouvoir des stratégies de développement durable adaptées aux besoins locaux. Cette dynamique met en lumière des interrogations essentielles quant à la manière dont les synergies entre les savoir-faire locaux et les technologies intelligentes peuvent contribuer à construire un avenir plus durable pour la ville de Tolga.

En effet, la transition de l'analyse des enjeux environnementaux mondiaux vers une étude ciblée sur ce territoire local incarne pleinement le principe « penser globalement, agir localement ». En recontextualisant les problématiques écologiques globales dans le cadre spécifique de Tolga, cette ville apparaît comme un microcosme représentatif des tensions contemporaines entre vulnérabilités territoriales et défis planétaires. Cette démarche permet de mieux comprendre comment les défis environnementaux vécus à l'échelle d'une communauté s'articulent avec les dynamiques globales, soulignant ainsi la nécessité de réponses contextualisées pour contribuer efficacement à la sécurité environnementale mondiale.

Ainsi, les villes désertiques, influencées par le climat et la nature de leur environnement, évoluent en se renfermant, se densifiant et s'intégrant dans les limites du respect des ressources offertes par le milieu et des conditions de vie disponibles. Tolga, au cours des

cinquante dernières années, a connu une expansion remarquable, augmentant sa taille environ une vingtaine de fois.

La région de Biskra, située dans la zone nord-est du Sahara septentrional, regorge d'importantes ressources en eau fossiles, contenues dans différentes nappes du complexe terminal et du continental intercalaire. Ces dernières années, un essor économique, en particulier dans le secteur agricole, a entraîné une augmentation des besoins en eau, perturbant ainsi les équilibres hydrostatiques des aquifères.

Tolga, positionnée à 35 km à l'ouest de Biskra sur la route nationale 46 reliant ce chef-lieu de wilaya à Alger via Bou Saâda, a connu une croissance urbaine, bien que l'on aurait pu s'attendre à un dynamisme plus prononcé en raison de sa localisation stratégique. La croissance démographique a été initialement très rapide, avec une moyenne annuelle de 9,4 % entre 1966 et 1987, avant de ralentir considérablement (3,3 % entre 1987 et 2008). Les raisons de cette migration diffèrent nettement. Plutôt que d'une sédentarisation massive des nomades, il s'agit de flux de sédentaires résultant de la crise dans les oasis environnantes, accentuée en 1969 par des inondations catastrophiques. Tolga a ainsi joué le rôle de refuge pour la majorité de ces immigrants, tandis qu'une partie d'entre eux a utilisé la ville comme point de transit vers d'autres destinations.

Cet article vise à combler cette lacune en évaluant de manière approfondie les pratiques locales à Tolga et leurs impacts sur la définition des principes de durabilité urbaine en mettant l'accent sur la conception de villes capables de satisfaire les besoins présents tout en préservant les ressources nécessaires aux générations futures.

Ce chapitre fournira une base solide pour comprendre les différentes dimensions de la durabilité urbaine et les stratégies nécessaires pour créer des villes durables.

La problématique directrice de cette recherche est : « *"Comment les pratiques locales à Tolga affectent-elles l'environnement, et comment les technologies de ville intelligente peuvent-elles contribuer au développement durable de la région ?"* ».

Sur la base de cette question, et pour mieux comprendre les défis environnementaux complexes auxquels fait face la Daïra de Tolga, cette recherche se penchera sur trois aspects clés : les pratiques agricoles dans les oasis, la qualité de l'eau en lien avec l'agriculture locale, et l'impact de l'urbanisme sur la résilience aux changements climatiques. Nous espérons que cette étude répondra aux sous-questions suivantes :

- Quel est l'impact des pratiques agricoles traditionnelles dans les oasis de Tolga sur la dégradation du sol et de l'eau ?.
- Comment la qualité de l'eau à Tolga est-elle influencée par les pratiques agricoles locales et quelles répercussions cela a-t-il sur la sécurité environnementale ?.
- Quel est l'impact de l'urbanisme à Tolga sur la résilience face aux changements climatiques ?
- Quelles technologies de la ville intelligente pourraient être mises en œuvre à Tolga pour améliorer la gestion des ressources ?.
- Comment les données collectées par les systèmes intelligents peuvent-elles informer les décisions en matière d'environnement ?.

Afin de mieux cerner les enjeux complexes auxquels fait face la ville de Tolga et d'apporter des réponses adaptées à ses spécificités territoriales, ce travail s'articule autour de plusieurs axes complémentaires. Dans un premier temps, il s'agira d'analyser le contexte environnemental, agricole et urbain local, en mettant en lumière les pratiques actuelles et leurs impacts. Ensuite, une attention particulière sera portée aux enjeux de durabilité et aux théories qui les sous-tendent, afin de proposer un cadre d'analyse cohérent. Enfin, l'étude explorera les solutions technologiques intelligentes

susceptibles d'être mises en œuvre pour accompagner une transition durable, en tenant compte des réalités climatiques, sociales et culturelles propres à Tolga.

Cadre Conceptuel

La sécurité environnementale se réfère à la protection des êtres humains, de l'environnement et des écosystèmes contre les risques et les dommages liés aux activités humaines. Cela implique la mise en place de mesures pour minimiser les effets négatifs de ces activités sur l'environnement, tels que la pollution de l'air, de l'eau ou du sol, le changement climatique, la perte de biodiversité et la dégradation des habitats naturels (吳, 2013).

En addition, les organisations internationales et les entreprises transnationales, et sur la façon dont elles peuvent utiliser l'IA pour sécuriser leurs activités malgré le changement climatique.

Les organisations internationales s'engagent avec l'IA pour le développement durable. Par exemple, l'ONU a lancé Global Pulse pour utiliser les innovations numériques pour le développement durable (Letouzé, 2012). Les technologies de l'IA (p. ex., reconnaissance faciale, modèles de prévision des flux migratoires) peuvent être utilisées lorsqu'il est question de migration internationale pour les contrôles d'identité, les échanges de nourriture ou d'argent dans les camps de réfugiés et la surveillance des frontières et de la sécurité. Les organisations internationales peuvent ainsi jouer un rôle de premier plan en aidant les États qui manquent de capacités en matière d'IA.

De tels projets pourraient contribuer à la réalisation des objectifs politiques des organisations internationales et renforcer leurs positions au niveau international.

Le discours national sur la sécurité climatique met l'accent sur les utilisations militaires et le rôle de l'IA dans la désinformation et le déni

climatique. Le discours sur la sécurité internationale suggère que les organisations internationales peuvent utiliser l'IA pour mener à bien leur mission et assurer leur position parmi les acteurs internationaux. Les entreprises transnationales peuvent également bénéficier de l'IA, avec des effets négatifs potentiels sur l'environnement. L'IA peut en outre donner aux entreprises transnationales et aux États des outils pour entraver les mouvements environnementaux. Un discours sur la sécurité humaine met l'accent sur le rôle de l'IA dans la réalisation des ODD, mais peut ignorer les déséquilibres de pouvoir potentiels.

Enfin, la sécurité climatique écologique souligne le rôle des algorithmes dans la formation de notre vision de l'environnement, et comment cela nous éloigne potentiellement des autres visions du monde et de l'impact environnemental de l'IA (Francisco, 2023).

Méthodologie

La méthodologie adoptée pour cette recherche repose principalement sur une analyse approfondie de documents afin de comprendre les enjeux environnementaux spécifiques à Tolga. Dans un premier temps, une collecte exhaustive de documents a été entreprise, englobant des rapports gouvernementaux, des études académiques, des publications locales, et d'autres ressources pertinentes liées à l'environnement dans la région.

La catégorisation des documents s'est articulée autour de thématiques clés telles que les pratiques agricoles, la qualité de l'eau, l'urbanisme, et les changements climatiques. L'analyse temporelle a été employée pour discerner les évolutions dans les pratiques et politiques environnementales au fil du temps. L'analyse croisée des données provenant de diverses sources a permis de dégager des tendances significatives ainsi que des corrélations notables entre les pratiques locales et les impacts environnementaux observés. Cette mise en perspective met en lumière la manière dont les dynamiques socio-

économiques territoriales influencent directement la qualité et la durabilité des écosystèmes locaux.

Pour assurer la pertinence et la précision des conclusions, des consultations avec des experts locaux, notamment des environnementalistes, des agriculteurs, et des représentants gouvernementaux, ont été réalisées. Enfin, une réflexion critique sur les données a permis de mettre en évidence d'éventuelles lacunes et de proposer des axes pour des recherches complémentaires.

Résultats et discussions

La daïra de Tolga est une division administrative située dans la wilaya de Biskra, au sud-est de l'Algérie. Son chef-lieu est la ville de Tolga, connue pour son patrimoine oasien, son importance agricole — notamment la culture de la datte Deglet Nour — et son rôle central dans l'économie locale. Administrativement, la daïra se compose de quatre communes distinctes : Tolga, Bouchagroune, Bordj Ben Azzouz et Lichana. Chaque commune présente des spécificités territoriales, sociales et économiques qui contribuent à la diversité et à la richesse de la région. Ensemble, elles forment une unité administrative cohérente, au cœur d'un territoire à la fois ancré dans ses traditions et confronté aux enjeux contemporains du développement durable et de la modernisation.

Figure 1. Localisation la wilaya de Biskra

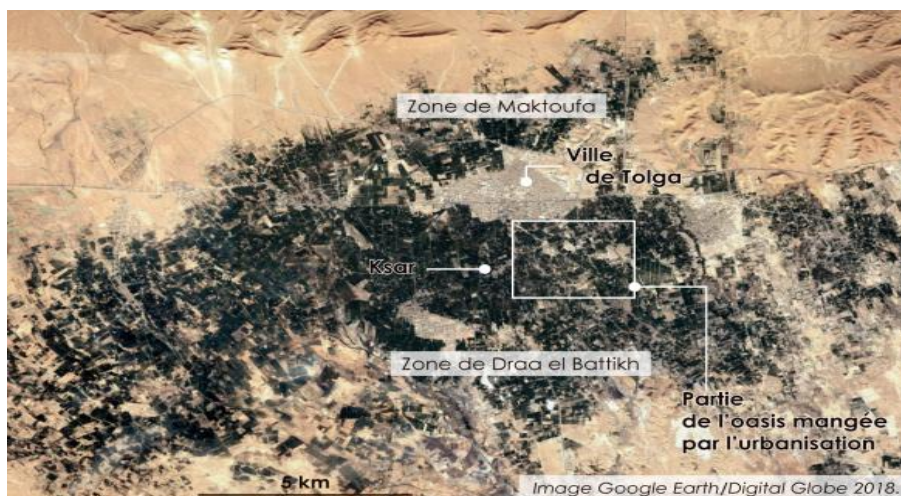


Source : <https://es.wikipedia.org/wiki/Tolga>, consulté le 1/10/2024 à 22 :13

1. Les oasis du vieux Tolga

La détérioration alarmante de l'oasis traditionnelle de Tolga, autrefois renommée pour ses vastes palmeraies et la qualité exceptionnelle de ses dattes, se manifeste à travers plusieurs indicateurs inquiétants. Le vieillissement des palmiers, les rendements dérisoires en dattes et le recul manifeste des cultures sous les palmiers sont autant de signes évidents témoignant d'une crise sévère dans le système oasien de cette région, autrefois la plus importante des Ziban. Le vieux ksar, emblématique de la région, est pratiquement abandonné. Cette situation critique est exacerbée par le tissu urbain en expansion, avec une ville de 42 000 habitants qui s'étend principalement au nord, ainsi que par les nouveaux périmètres de mise en valeur agricole aménagés dans le secteur de Draa el Battikh au sud.

Figure 2. L'expansion urbaine de la ville de Tolga s'est opérée au détriment de son espace oasien.



Source : Google Earth/Digital Globe 2018, consulté le 1 octobre 2024 20 :12

Toutefois, ces mesures restent insuffisantes pour éliminer totalement l'impact négatif de la salinité sur la qualité des dattes. En effet, il est nécessaire de recourir à des techniques complémentaires telles que le drainage efficace des sols, l'irrigation contrôlée à l'aide d'eaux saumâtres, l'apport de fertilisants organiques ou encore l'utilisation de chaux agricole afin d'abaisser le pH dans les palmeraies fortement salinisées. Ces pratiques contribuent à restaurer la fertilité des sols et à maintenir une production de qualité malgré des conditions édaphiques défavorables.

La crise économique et sociale qui en découle est également attribuée à l'utilisation intensive d'intrants chimiques, notamment les engrais et les pesticides, dans le but d'augmenter les rendements. Cependant, cette pratique a des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Les pesticides, en particulier, sont reconnus pour leur toxicité, et leur impact sur la santé et

l'environnement est influencé par les pratiques agricoles des exploitants.

D'un point de vue environnemental, la pollution résulte en grande partie des pratiques agricoles intensives, notamment de l'usage répété de traitements chimiques contre les ravageurs et les maladies. Les agriculteurs ont souvent recours à des quantités importantes de pesticides, ce qui engendre une accumulation de résidus nocifs dans les sols et les eaux. Ce problème est amplifié par la mauvaise gestion des emballages vides de produits phytosanitaires, ainsi que par le rejet non contrôlé des eaux issues du nettoyage des équipements agricoles, contribuant ainsi à une dégradation progressive de l'environnement oasien.

Ces pratiques menacent à la fois les ressources édaphiques et hydriques, la faune et la flore utiles et l'atmosphère. Pour une bonne connaissance des effets sur la santé humaine et l'environnement des pratiques phytosanitaires des agriculteurs, pas seulement des localités de Tolga et de Sidi-Okba mais de tous les Ziban, pour ne pas dire de toute l'Algérie, des analyses de l'eau, du sol et de l'air doivent être effectuées. Pour connaître, l'effet des pesticides sur la santé des agriculteurs et des consommateurs une étude épidémiologique est plus que nécessaire.

2. La qualité de l'eau

La disponibilité des terrains et de l'eau constitue un contexte propice à l'émergence de nouvelles formes de mise en valeur, ce qui risque d'aggraver la crise déjà prégnante dans l'ancienne oasis. Néanmoins, le plus grand risque réside dans le fait que de nombreux micro-propriétaires du vieux Tolga aspirent à accéder à la propriété foncière. En cas de refus de leur demande, ces propriétaires se tournent alors vers des activités plus lucratives en milieu urbain. Cela pourrait conduire, dans un avenir proche, à un nombre important de micro-

propriétaires dans l'oasis sans que ces derniers exploitent effectivement le sol.

Concernant le sous-sol de la zone d'étude, il renferme trois réservoirs aquifères (Quaternaire, Mio-Pliocène, et Éocène inférieur) à différentes profondeurs et aux compositions lithologiques variées, rendant complexe la mise en évidence de leurs relations hydrauliques. Ces aquifères sont fortement sollicités par l'agriculture.

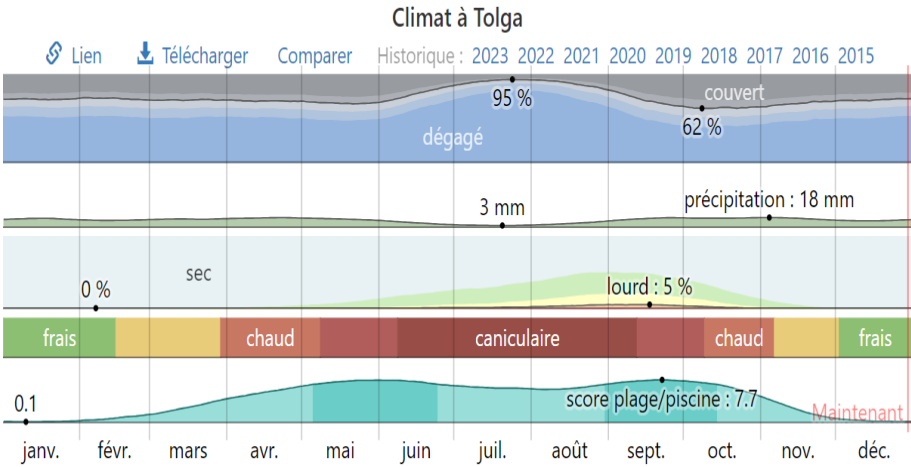
L'utilisation de l'eau d'irrigation saline à Tolga a des répercussions préjudiciables sur les interactions entre le sol, l'eau et les plantes, entraînant parfois une sévère restriction de l'activité physiologique normale et de la capacité de production des cultures. Cependant, des mesures de précaution spécifiques à Tolga peuvent être prises pour permettre l'utilisation de ces eaux d'irrigation.

Parmi ces mesures, on peut citer le mélange des eaux d'irrigation avec une source moins salée, le lessivage des sels par une augmentation de la dose d'irrigation, la mise en place de réseaux de drainage pour évacuer les eaux, l'apport de matière organique au sol, ainsi que la culture de plantes résistantes aux sels. Ces approches visent à atténuer les effets néfastes des sels présents dans l'eau d'irrigation à Tolga, préservant ainsi la santé des sols et favorisant une meilleure croissance des cultures dans cette région spécifique.

Par ailleurs, la qualité chimique de l'eau est médiocre, marquée par une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs anthropiques tels que l'exploitation intensive. On observe également la présence de certains polluants, provenant des activités agricoles et des rejets urbains.

3. Le climat à Tolga

Figure 3. Le climat à Tolga entre 2015 et 2023



Source : Climat, Météo Par Mois, Température Moyenne Pour Tolga (Algérie) - Weather Spark,n.d,consulté le 26 /12/2023 à 23 :45

Pour illustrer les variations tout au long de l'année et non seulement les totaux mensuels, nous présentons l'accumulation de pluie sur une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année à Tolga. La ville connaît des fluctuations saisonnières modérées en termes de précipitations mensuelles.

La saison des pluies s'étend sur 8,8 mois, du 4 septembre au 31 mai, avec des précipitations d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. Avril est le mois le plus pluvieux à Tolga, avec une moyenne de 17 millimètres de pluie.

En ce qui concerne le climat, Tolga connaît des étés torrides, des hivers longs et frais, et un temps sec et dégagé tout au long de l'année. Les températures varient généralement de 7 °C à 40 °C, rarement inférieures à 3 °C ou supérieures à 44 °C au cours de l'année.

En fonction des conditions météorologiques favorables, les meilleurs moments pour visiter Tolga et profiter d'activités estivales vont de début mai à fin juin et de fin août à mi-octobre.

Bien que la région de Tolga soit une zone aride et ensoleillée, l'étendue de la palmeraie, formant une vaste zone humide, apporte une fraîcheur notable au sein du Ksar, avec une différence de plus de 8°C dans la température moyenne radiante. Les caractéristiques du Ksar, telles que l'inertie des matériaux, la compacité de la construction, l'ombre des passages couverts, et les formes brisées et sinueuses des ruelles, améliorent les températures ambiantes et influencent les transferts de chaleur.

Sur le plan psychologique, plusieurs dimensions agissent positivement sur la perception, suscitant un attrait pour la fréquentation, la tranquillité et le repos. L'échelle humaine est omniprésente au Ksar, avec des constructions adaptées à la taille de l'homme. La lumière, tamisée par les passages ombragés, engendre des puits de clarté naturelle qui enveloppent l'espace d'une douceur visuelle à forte charge émotionnelle. L'odorat, lui aussi sollicité, perçoit les effluves authentiques émanant de la vaste palmeraie, des terres irriguées et fertiles, ainsi que les arômes bruts des matériaux traditionnels comme la boue et les palmes. Ensemble, ces éléments sensoriels tissent une relation intime et intemporelle entre l'homme et son environnement naturel.

Au sein du Ksar de Tolga, les éléments d'influence créent un environnement harmonieux, caractérisé par le palmier, les constructions en boue, les plans d'eau, l'homme fellah et ses bêtes domestiques. Un autre aspect social, animé par des cafés populaires et des échanges commerciaux en plein air, ajoute une dynamique à la vie quotidienne. Un troisième élément, composé des murmures de l'eau, du frottement des palmes, des chants des oiseaux de la palmeraie et de

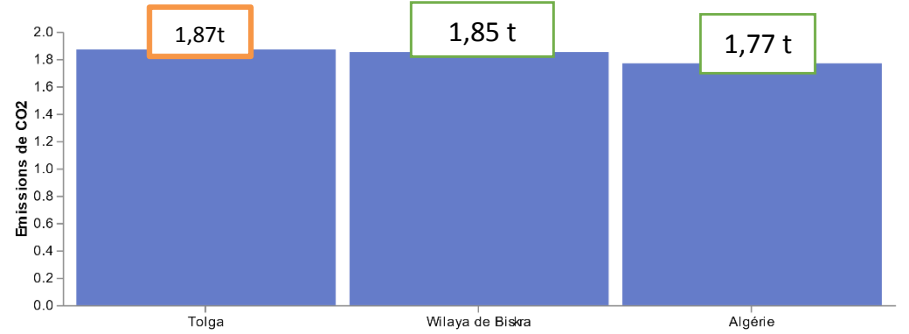
la cloche du "Herreg", crée un tableau équilibré qui plonge le perceuteur dans un environnement naturel global.

L'atmosphère du Ksar, situé au cœur des palmeraies, favorise une atmosphère calme et saine, évoquant la détente et le soulagement. C'est un milieu anti-stress et anti-pressions, loin de la pollution.

Cependant, la nouvelle ville de Tolga présente des conditions climatiques étouffantes pendant l'été, avec des rues exposées à un ensoleillement intense et des températures ambiantes dépassant parfois les 45 °C. L'absence d'aires ombragées pour les piétons et le manque de climatisation à l'intérieur contribuent à rendre l'espace insupportable. Les infractions, l'envahissement de l'espace public, la pollution due aux véhicules, et la ségrégation sociale alimentent une atmosphère de stress et de malaise.

Tolga, en tant que ville en dysfonctionnement, témoigne de ruptures significatives avec son histoire et son patrimoine architectural. Les changements urbanistiques après l'indépendance ont entraîné une rupture urbaine avec l'émergence de larges boulevards, d'habitats individuels, et d'une structure viaire adaptée à l'automobile. La rupture architecturale se manifeste par des constructions inachevées, l'absence de référence architecturale, et l'introduction de divers matériaux de construction. La rupture paysagère s'observe dans l'étalement de la ville, effaçant la couronne verte et entraînant la disparition progressive du palmier dattier. La rupture socioculturelle se traduit par le changement de culture, où l'homme abat désormais les palmiers pour construire des locaux.

Figure 4 : Émissions de dioxyde de carbone (CO2) par habitant en tonnes par an à Tolga, Biskra, Algérie



Source: Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J., & Seto, K. C. (2018a). Carbon footprints of 13 000 cities. Environmental Research Letters, 13(6), 064041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac72a>

Tableau1 : Émissions de dioxyde de carbone (CO2) par habitant en tonnes par an à Tolga, Biskra, Algérie

Lieu	Emissions De CO2	Émissions De CO2 Par Habitant	Intensité Des Émissions De CO2
Tolga,Biskra,Algérie	203 016 t	1,87 t	152,1 t/km²
Wilaya de Biskra	1 622 497 t	1,85 t	75,4 t/km²

Source : Moran et al. (2018b)

Tolga présente une intensité de 152,1 tonnes par kilomètre carré, ce qui est plus du double de l'intensité observée dans l'ensemble de la wilaya de Biskra, qui est de 75,4 tonnes par kilomètre carré.

Cette disparité d'intensité peut refléter des caractéristiques spécifiques à Tolga, telles que des activités industrielles concentrées dans une zone restreinte ou une utilisation particulière des terres. Il serait intéressant d'explorer davantage la répartition géographique des émissions à Tolga pour comprendre quels secteurs contribuent le plus

à cette intensité élevée. Cela pourrait orienter des mesures spécifiques de réduction des émissions dans cette localité. En outre, la comparaison des émissions par habitant montre une légère augmentation à Tolga par rapport à la moyenne de la wilaya de Biskra. Cela peut indiquer des modes de vie ou des habitudes spécifiques à la région qui contribuent à des émissions individuelles légèrement plus élevées.

4. Analyse des Technologies de Ville Intelligente pour Tolga: Une Approche Intégrée

Implantée dans un milieu désertique aux équilibres fragiles, la ville de Tolga se trouve aujourd’hui confrontée à de profonds bouleversements liés à une urbanisation rapide et à des pressions environnementales grandissantes. Dans ce contexte, l’étude et l’intégration raisonnée de technologies intelligentes adaptées à ses spécificités territoriales apparaissent comme une voie stratégique pour repenser son développement. Il s’agit de concevoir un modèle urbain innovant, capable d’articuler harmonieusement les impératifs de modernisation technologique avec la préservation du patrimoine oasien et de l’identité locale. Cette démarche ouvre la perspective d’une transition vers une ville plus résiliente, ancrée dans son histoire mais tournée vers les enjeux contemporains de durabilité et d’adaptation climatique.

4.1 La gestion intelligente des ressources hydriques comme priorité fondamentale

Dans un contexte désertique tel que celui de Tolga, la gestion durable des ressources hydriques s’impose comme un enjeu prioritaire. Les travaux de Mounir et al. (2020) mettent en évidence que l’utilisation de capteurs connectés (IoT) pour le monitoring de la consommation d’eau pourrait entraîner une diminution d’environ 30% de cette ressource essentielle. Ces technologies intelligentes présentent de nombreux avantages stratégiques : elles permettent notamment la

détection précoce des fuites dans les réseaux d'irrigation des palmeraies, limitant ainsi les pertes ; elles facilitent également une gestion plus fine des cycles d'irrigation, ajustés aux conditions climatiques réelles ; enfin, elles assurent un contrôle continu de la qualité de l'eau, un enjeu crucial dans une région particulièrement exposée aux problèmes de salinité. L'ensemble de ces fonctions s'inscrit dans une logique de préservation des nappes phréatiques, déjà fortement sollicitées par une agriculture intensive caractéristique de cette région saharienne.

4.2 Transition énergétique par l'éclairage public intelligent

Pour réduire son empreinte énergétique, Tolga peut compter sur l'éclairage public intelligent, une solution à la fois pratique et viable financièrement. Selon les travaux d'Ouahrani et al. (2018), menés dans un contexte urbain comparable en Algérie, l'implémentation de technologies adaptatives permettrait une baisse de 40 % de la consommation énergétique liée à l'éclairage public. Appliquée au contexte tolguéen, cette technologie présente plusieurs avantages notables : elle contribuerait à alléger la facture énergétique des collectivités locales, à limiter la pollution lumineuse nuisible à la faune nocturne, et à renforcer la sécurité des espaces publics grâce à un éclairage modulé en fonction des besoins réels. Plus largement, cette initiative pourrait servir de levier initial pour la mise en œuvre d'une stratégie municipale ambitieuse de transition énergétique, fondée sur une gestion plus rationnelle et durable des ressources.

4.3 Optimisation de la gestion des déchets urbains

La modernisation du système de collecte des déchets constitue un levier stratégique pour améliorer à la fois la qualité de vie en milieu urbain et atténuer l'empreinte écologique de la ville de Tolga. L'intégration de poubelles intelligentes dotées de capteurs de niveau permettrait d'optimiser les itinéraires de ramassage en fonction des besoins réels, réduisant ainsi les interventions superflues. Les travaux

de Zerrouki et al. (2021), menés dans plusieurs villes algériennes, démontrent que la mise en œuvre de ce type de dispositif peut entraîner une baisse des coûts opérationnels de l'ordre de 20 %, tout en améliorant significativement l'hygiène urbaine.

Les principaux bénéfices attendus comprennent la réduction du trafic des véhicules de collecte, entraînant une baisse des émissions de gaz à effet de serre, la limitation des débordements lors des périodes de forte affluence, et une gestion plus précise et mieux documentée des déchets, favorisant ainsi le tri sélectif et le recyclage.

Ce type d'approche s'avère particulièrement adapté au contexte de Tolga, où la croissance urbaine rapide a considérablement accru la pression sur les infrastructures existantes et les capacités opérationnelles des services municipaux.

4.4 Solutions de mobilité durable adaptées au contexte local

L'introduction de technologies de mobilité intelligente représente une opportunité significative pour réduire l'empreinte carbone de Tolga tout en améliorant la connectivité urbaine. L'étude approfondie de Boukhechba et al. (2019) suggère que ces solutions peuvent diminuer les émissions de CO₂ liées au transport de 15% dans les villes de taille moyenne en Algérie.

Les initiatives potentiellement applicables incluent le développement d'applications pour les transports en commun fournissant des informations en temps réel, l'implémentation de systèmes de partage de vélos adaptés aux conditions climatiques locales, et la création de plateformes de covoiturage communautaire. Ces initiatives pourraient participer activement à la revalorisation du cadre urbain de Tolga, en conciliant modernisation fonctionnelle et conservation de son identité historique et paysagère.

4.5 Intégration des énergies renouvelables via les réseaux électriques intelligents

L'intégration de sources d'énergie renouvelable dans un réseau électrique intelligent constitue une opportunité majeure pour Tolga. Les recherches de Boudjelida et al. (2022) démontrent que l'implémentation de smart grids dans les villes algériennes peut augmenter considérablement la proportion des énergies renouvelables dans le mix énergétique local, avec une progression pouvant atteindre 25% sur une période de cinq ans.

Pour Tolga, cette approche permettrait l'exploitation du potentiel solaire exceptionnel de la région, une gestion plus efficace des pics de consommation électrique pendant les périodes estivales particulièrement exigeantes, et le développement d'une relative autonomie énergétique cruciale pour la résilience locale. Cette transition énergétique pourrait également catalyser le développement économique local dans le secteur prometteur des énergies renouvelables.

Compte tenu de l'intensité élevée des émissions de CO₂ à Tolga (152,1 tonnes/km², bien au-dessus de la moyenne de Biskra), il est stratégique d'y installer des capteurs de surveillance de la qualité de l'air en temps réel. Selon Kerbach et al. (2017), ces outils peuvent réduire la pollution atmosphérique jusqu'à 10 %, en permettant des politiques urbaines plus ciblées basées sur des données précises.

Les bénéfices potentiels sont multiples : une meilleure compréhension des sources de pollution locales, la capacité d'alerter les populations vulnérables pendant les pics, et l'élaboration de politiques urbaines fondées sur des faits. Cette démarche s'inscrit dans une vision holistique de la santé publique et du bien-être des habitants.

Toutefois, l'implémentation de ces technologies à Tolga doit être finement adaptée à son contexte de ville oasienne. Comme le soulignent Hadji et al. (2023), le succès de la transformation numérique

en Algérie dépend crucialement de l'engagement de la communauté locale et de l'adaptation des solutions aux particularités culturelles et environnementales de la région.

Tolga, qui semble avoir perdu une partie de son identité historique et de son lien avec son patrimoine oasien, pourrait voir dans ces technologies intelligentes non pas une rupture, mais un moyen de réconcilier tradition et modernité. L'objectif est de préserver son héritage culturel et environnemental unique tout en gérant les défis actuels de l'urbanisation et du changement climatique. Tolga se trouve à l'intersection critique entre préservation patrimoniale et développement urbain durable. Les enjeux incluent la dégradation des oasis traditionnelles, la gestion durable des ressources hydriques limitées, l'adaptation au changement climatique, et la nécessité d'une planification urbaine respectueuse de l'environnement.

Les technologies de ville intelligente ouvrent la voie à une double amélioration : celle de la gestion des ressources et celle de la qualité de vie en milieu urbain, le tout en préservant l'écosystème désertique délicat.

La transition vers un développement véritablement durable à Tolga exige une approche holistique : harmoniser les pratiques ancestrales avec des solutions technologiques innovantes, et surtout, impliquer activement la communauté locale dans la conception, la prise de décision et la mise en œuvre des initiatives environnementales.

Conclusion

La présente étude a permis d'examiner avec profondeur les dynamiques environnementales, agricoles et urbaines qui façonnent aujourd'hui la ville de Tolga. Elle a mis en lumière les tensions croissantes entre, d'une part, la modernisation des infrastructures et l'urbanisation rapide, et d'autre part, la préservation des ressources naturelles et du riche patrimoine oasien multiséculaire. En s'appuyant sur une analyse documentaire rigoureuse, enrichie par les

contributions d'experts locaux, cette recherche a révélé la complexité d'un territoire en transition, confronté à des contraintes multiples mais également porteur d'opportunités d'innovation.

Cette situation est aggravée par une urbanisation souvent anarchique, qui ignore les spécificités écologiques et climatiques locales. En conséquence, la résilience de la ville face au changement climatique est compromise, et l'on observe une déconnexion croissante entre l'urbain contemporain et son héritage.

Dans ce contexte, les technologies de ville intelligente se présentent comme des leviers stratégiques capables d'accompagner une transition durable, à condition qu'elles soient ancrées dans les réalités locales. L'introduction de dispositifs tels que les systèmes intelligents de gestion de l'eau, les réseaux électriques intégrant les énergies renouvelables, l'éclairage public adaptatif ou encore les capteurs de qualité de l'air, permettrait non seulement d'optimiser l'usage des ressources, mais aussi d'améliorer sensiblement le cadre de vie des habitants. Toutefois, leur efficacité dépend largement de leur contextualisation, de leur acceptabilité sociale et d'une gouvernance inclusive.

L'un des enseignements essentiels de cette recherche est que la durabilité ne saurait être réduite à une question purement technologique. Elle implique avant tout une mobilisation active des citoyens, une valorisation des savoirs endogènes et une gouvernance territoriale partagée. C'est dans l'articulation entre tradition et innovation que réside le potentiel de réinvention de Tolga. Une approche systémique, sensible aux enjeux sociaux, culturels et environnementaux, est ainsi indispensable pour bâtir une ville plus résiliente, plus humaine et en harmonie avec son environnement.

À terme, Tolga peut légitimement aspirer à être reconnue comme un modèle expérimental de transition écologique applicable aux zones désertiques algérienne. Si les orientations proposées dans cette étude

sont suivies – notamment en matière de gestion intégrée des ressources, d'urbanisme bioclimatique et de participation citoyenne –, la ville pourra non seulement préserver son identité historique, mais également s'affirmer comme une référence en matière de durabilité territoriale.

Ce travail constitue donc une base de réflexion opérationnelle à l'intention des chercheurs, urbanistes, décideurs et acteurs locaux engagés dans la construction de la ville saharienne de demain. Il plaide pour un changement de paradigme, où la complémentarité entre héritage et modernité devient le fondement d'un développement réellement durable, inclusif et adapté aux spécificités de chaque territoire.

Références bibliographiques

- Euronews. (2023, 18 mai). Here are all the positive environmental stories from 2023 so far. euronews.
<https://www.euronews.com/green/2023/05/18/here-are-all-the-positive-environmental-stories-from-2023-so-far>

- Littlegreenbee. (2021, août 15). L'Accord de Paris sur le climat, c'est quoi ? - littlegreenbee. littlegreenbee.
<https://www.littlegreenbee.be/accord-de-paris-climat-objectif/>

- Climat, météo par mois, température moyenne pour Tolga (Algérie) - Weather Spark. (n.d.). Weather Spark.
<https://fr.weatherspark.com/y/51503/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Tolga-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>

- Francisco, M. (2023). Artificial intelligence for environmental security : national, international, human and ecological perspectives. Current Opinion in Environmental Sustainability, 61, 101250.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101250>

- Hammad, H. M., Nauman, H. M. F., Abbas, F., Jawad, R., Farhad, W., Shahid, M., Bakhat, H. F., Farooque, A. A., Mubeen, M., Fahad, S., & Cerda, A. (2023). Impacts of COVID-19 pandemic on environment, society, and food security. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25714-1>

- Henri LEVAL, LA SECURITE ENVIRONNEMENTALE : COMBIEN DE DIVISIONS?, *Annuaire Français de Relations Internationales*, Volume X, 2009.

- Kumar, P., Sonne, C., Song, H. Y., & Kim, K. (2022). The effects of COVID-19 transmission on environmental sustainability and human health : Paving the way to ensure its sustainable management. *Science of The Total Environment*, 838, 156039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156039>

- Letouzé, E. (2012). Big data for development. *Challenges & Opportunities*.

- Mochizuki, J., & Zhang, Z. (2011). Environmental security and its implications for China's foreign relations (No. 30.2011). *Nota di Lavoro*.

- Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J., & Seto, K. C. (2018a). Carbon footprints of 13 000 cities. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac72a>

- Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J., & Seto, K. C. (2018b). Carbon footprints of 13 000 cities. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac72a>

- Ouchene, B., & Moroncini, A. (2018). De l'économie socialiste à l'économie de marché : l'Algérie face à ses problèmes écologiques. *Vertigo*, Volume 18 Numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.22166>

- 吳國. (2013). China's challenges to human security : foreign relations and global implications. Dans Routledge eBooks. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB10643347>

- Mounir, F., et al. (2020). "Smart water management in arid regions: A case study from Algeria." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(5), 05020005.

- Ouahrani, D., et al. (2018). "Energy-efficient smart street lighting system for a city in Algeria." *Sustainable Cities and Society*, 40, 265-275.

- Zerrouki, N., et al. (2021). "Smart waste management using IoT-based solution: A case study of an Algerian city." *Waste Management & Research*, 39(5), 723-732.

- Boukhechba, M., et al. (2019). "Smart mobility solutions for medium-sized cities in Algeria." *Transportation Research Procedia*, 37, 13-20.

- Boudjelida, A., et al. (2022). "Implementation of smart grids in Algerian cities: Opportunities and challenges." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111963.

- Kerbach, R., et al. (2017). "Air quality monitoring systems and their impact on urban planning in Algeria." *Urban Climate*, 20, 99-108.

- Hadji, S., et al. (2023). "Digital transformation of Algerian cities: Challenges and opportunities for smart city development." *Cities*, 132, 103934.