

Impacts anthropiques sur la dégradation des sols et la durabilité des écosystèmes oasiens du Moyen Draa (Maroc)

Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco)

Impactos antropogénicos sobre la degradación del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas de oasis en el Draa Medio (Marruecos)

Mahjoub Benbih

benbihelmahjoub@gmail.com  0009-0008-5759-8097

Equipe de recherche Géographique, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr, Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

Abderrahmane Ouammou

a.ouammou@uiz.ac.ma  0009-0000-3579-1947

M'hamed Nmiss

mhamed.nmiss@usmba.ac.ma  0009-0001-4107-3690

Equipe de recherche Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-Spatiales (MNADSS). FLSH Fès-Sais, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès. BP 59, Route Immouzer, 30000 Fès, Maroc.

Abdourrahmane Boukdoun

abdourrahman.boukdoun@edu.uiz.ac.ma  0009-0000-2703-1622

Hassan Nait-Si

hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma  0000-0003-3299-5447

Equipe de recherche Géographique, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr, Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

INFO ARTÍCULO

Reçu: 23/03/2025
Révisé: 20/04/2025
Accepté: 07/05/2025

MOTS-CLÉS

Oasis
Draa moyen
Dégradation des sols
Salinité
Action anthropique

RÉSUMÉ

Cette étude évalue l'impact des activités anthropiques sur la durabilité de l'écosystème oasien du Draa Moyen (Maroc), en intégrant l'analyse de l'évolution démographique, de la dégradation des sols, des transformations des systèmes agricoles, et des effets de carriers non contrôlée sur l'environnement. Une approche méthodologique combinant des investigations de terrain, des analyses de laboratoire et le traitement de données démographiques ont été adoptées. La dégradation des sols a été quantifiée par l'échantillonnage de sites le long d'un gradient amont-aval du Draa Moyen au niveau des oasis de Tinzouline, Ternata et Fezouata. Les analyses ont porté sur la salinité (conductimétrie), la teneur en matière organique (méthode Walkley et Black) et le pH (pH-mètre). L'évolution démographique a été étudiée à partir des données de recensement (1994, 2004, 2014) et d'entretiens de terrain (douars d'Amezrou et Tinfou). Une analyse spatio-temporelle des surfaces agricoles et de la densité des palmiers dattiers a été réalisée par images Google Earth Pro dans l'oasis de Fezouata (2002-2018), de Beni Ali (2010-2019), et dans le Tamegrout (2009-2016). Les résultats indiquent une croissance démographique modérée associée à une répartition spatiale hétérogène et à une extension de l'habitat au détriment des terres agricoles. Une dégradation significative des sols a été mise en évidence, caractérisée par une salinisation (0.299-5.11 mS/cm), une faible teneur en matière organique et un pH élevé, corrélée à des pratiques d'irrigation non durables. L'intensification agricole induite par l'économie de marché entraîne une surexploitation des ressources hydriques et une vulnérabilité accrue des palmeraies. Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion intégrée et durable des ressources pour préserver la viabilité à long terme des oasis du Draa Moyen.



KEYWORDS

Oasis
Middle Draa Valley
Soil degradation
Salinity
Anthropogenic action

ABSTRACT

This study assesses the impact of anthropogenic activities on the sustainability of the oasis ecosystem in the Middle Draa Valley (Morocco), integrating the analysis of demographic evolution, soil degradation, transformations in agricultural systems, and the environmental effects of uncontrolled extraction of materials. A methodological approach combining field investigations, laboratory analyses, and demographic data processing was adopted. Soil degradation was quantified by sampling sites along an upstream-downstream gradient of the Middle Draa Valley (Tinzouline, Ternata, and Fezouata oases). Analyses focused on salinity (conductometry), organic matter content (Walkley and Black method), and pH (pH meter). Demographic evolution was studied using census data (1994, 2004, 2014) and field interviews (douars of Amezrou and Tinfou). A spatiotemporal analysis of agricultural areas and date palm density was conducted using Google Earth Pro imagery in the Fezouata (2002-2018) and Beni Ali (2010-2019) oases, and in Tamegrout (2009-2016). The results indicate moderate population growth associated with a heterogeneous spatial distribution and the expansion of habitat at the expense of agricultural land. Significant soil degradation was evidenced, characterized by salinization (0.299-5.11 mS/cm), low organic matter content, and elevated pH, correlated with unsustainable irrigation practices. Market-driven agricultural intensification leads to overexploitation of water resources and increased vulnerability of palm groves. These results underscore the need for integrated and sustainable resource management to preserve the long-term viability of the oases in the Middle Draa Valley.

PALABRAS CLAVE

Oasis
Medio Draa
Degradación del suelo
Salinidad
Acción antrópica

RESUMEN

Este estudio evalúa el impacto de las actividades antrópicas en la sostenibilidad del ecosistema de oasis en el Medio Draa (Marruecos), integrando el análisis de la evolución demográfica, la degradación del suelo, las transformaciones en los sistemas agrícolas y los efectos de la extracción no controlada de materiales en el medio ambiente. Se adoptó un enfoque metodológico que combina investigaciones de campo, análisis de laboratorio y el procesamiento de datos demográficos. La degradación del suelo se cuantificó mediante el muestreo de sitios a lo largo de un gradiente aguas arriba-aguas abajo del Medio Draa (oasis de Tinzouline, Ternata y Fezouata). Los análisis se centraron en la salinidad (conductimetría), el contenido de materia orgánica (método Walkley y Black) y el pH (medidor de pH). La evolución demográfica se estudió a partir de los datos del censo (1994, 2004, 2014) y entrevistas de campo (douars de Amezrou y Tinfou). Se realizó un análisis espacio-temporal de las superficies agrícolas y de la densidad de palmeras datileras mediante imágenes de Google Earth Pro en los oasis de Fezouata (2002-2018) y Beni Ali (2010-2019), y en Tamegrout (2009-2016). Los resultados indican un crecimiento demográfico moderado asociado con una distribución espacial heterogénea y una expansión del hábitat a expensas de las tierras agrícolas. Se evidenció una degradación significativa del suelo, caracterizada por la salinización (0.299-5.11 mS/cm), un bajo contenido de materia orgánica y un pH elevado, lo que se correlaciona con prácticas de riego insostenibles. La intensificación agrícola impulsada por la economía de mercado conlleva una sobreexplotación de los recursos hídricos y una mayor vulnerabilidad de los palmerales. Estos resultados subrayan la necesidad de una gestión integrada y sostenible de los recursos para preservar la viabilidad a largo plazo de los oasis en el Medio Draa.

267

1. INTRODUCTION

La dégradation des sols représente un enjeu environnemental majeur à l'échelle mondiale, menaçant la productivité biologique des sols et, par conséquent, la sécurité alimentaire (Romm *et al.*, 2011; Reynolds *et al.*, 2002). L'intensification de ce phénomène au cours des six dernières décennies est attribuée à une combinaison de facteurs, incluant la croissance démographique, des pratiques non durables d'exploitation des ressources naturelles et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques (MEA, 2005). Les populations rurales, en particulier les petites exploitations agricoles familiales des pays en développement, sont parmi les plus affectées par cette dégradation (Kpedenou, 2019). La surexploitation des terres, notamment la réduction drastique des périodes de jachère, limitant la restauration naturelle des sols, est reconnue comme un facteur causal primordial (Kpedenou, 2019).



Dans ce contexte, la vulnérabilité des sols agricoles est particulièrement préoccupante dans les régions arides et semi-arides, où les ressources en eau sont limitées et les écosystèmes sont fragiles. Le Maroc, situé à l'extrême nord-ouest de l'Afrique, illustre parfaitement cette situation. Avec 93% de son territoire classé comme aride ou désertique (Debbagh, 2001). Le pays est confronté à un défi primordial en matière de la dégradation des sols, nécessitant une attention spécifique dans l'élaboration des politiques publiques. La zone semi-aride, qui représente 15% du territoire, s'étend sur les plaines et plateaux intérieurs, au nord et à l'ouest des montagnes de l'Atlas (Badraoui, 2000). Bien que la durabilité des sols agricoles au Maroc soit une problématique qui dépasse les 9 millions d'hectares de Surface Agricole Utile (SAU), englobant également les terres pastorales, les forêts et les steppes (Laouina, 2010), les efforts de conservation des sols restent souvent limités aux espaces directement productifs, comme en témoignent les pratiques d'irrigation dans les zones oasiennes (Akdim *et al.*, 2007).

Parmi les zones les plus vulnérables au Maroc figurent les oasis, qui abritent une part significative de la population dépendant étroitement à la disponibilité en eau pour l'agriculture. Les oasis, présentes dans les grandes régions sèches du monde (Sahara, Maghreb, Moyen-Orient, Amérique latine, Asie centrale), accueillent environ 150 millions de personnes (Jouve, 2012). Au Maroc, les espaces oasiens jouent un rôle crucial tant sur le plan écologique que socio-économique (Houssni, 2023; Badraoui *et al.*, 2010; Chelleri, 2014). Ces espaces, qui font l'objet d'une stratégie nationale de développement durable (Chehbouni, 2024; Atbir, 2019), couvririaient une superficie d'environ 115 563 km² et abriteraient près de 1,7 million d'habitants (Sbaï, 2011). Ces espaces sont répartis en quatre principaux bassins: Guelmim-Tata, Draa, Ziz et Figuig (ATBIR, 2019). Malgré leur importance écologique et socio-économique, les oasis marocaines sont confrontées à des défis croissants liés à la dégradation des sols, mettant en péril leur durabilité.

Bien qu'intégrées au bassin du Draa, les oasis du Draa moyen présentent une complexité qui en fait un terrain d'étude privilégié pour les chercheurs. Les approches adoptées se répartissent principalement en trois grandes catégories: celles qui mettent l'accent sur la fragilité du milieu et la limitation des ressources, et celles qui soulignent le rôle de l'ingénierie locale dans le façonnement du territoire. La première s'intéresse à l'hydrologie et à l'hydrogéologie, soulignant la rareté et la vulnérabilité des ressources en eau. Ces études mettent en avant le rôle de la gestion de l'eau pour le développement économique et social, en analysant les causes de l'épuisement des ressources, leur lien avec la stabilité humaine et l'impact des transformations socio-économiques sur les structures sociales traditionnelles (Chamayou, 1966; Bahani, 1990; Ouhajou, 1996; Aït Hamza *et al.*, 2010; Ouhajou, 2017; Maimouni, 2018 ; Ait Taleb, 2018). La deuxième privilégie l'analyse de l'organisation de l'espace, de l'évolution des systèmes urbains et ruraux, et de la dynamique démographique, sociale et économique. Ces travaux mettent en évidence le rôle des acteurs locaux dans la production de l'espace et le développement, considérant les transformations actuelles comme le résultat de facteurs tels que les migrations (internationale et nationale), l'urbanisation et la croissance démographique (Bounar, 1993; Benattou, 2014; Benattou, 2015; Zahidi, 2022; Kersit, 2024). Enfin, la troisième adopte une approche intégrée, en étudiant la désertification et ses dimensions spatiales, environnementales, économiques et sociales. Ces études se divisent en deux courants: l'un privilégiant l'influence des facteurs climatiques, l'autre insistant sur le rôle des transformations socio-spatiales (Benmohammadi, 1995; Benmohammadi, 2000; Malaki, 2009; Elbelrhiti, 2014; Chelleri, 2014; Bentalb, 2015; Benbih, 2022; Akdim *et al.*, 2023). L'analyse critique de ces études révèle un besoin de renouvellement. Pour dépasser les limites du diagnostic classique et les glissements interprétatifs, une approche intégrée, ouverte aux autres disciplines, est indispensable, permettant de mieux appréhender la complexité des oasis actuelles et son évolution.

Cet article analyse les impacts des activités anthropiques sur la dégradation des sols et la vulnérabilité des systèmes oasiens dans le Draa Moyen, au Maroc. Trois objectifs principaux ont été définis dans ce travail. Le premier consiste à étudier la dynamique démographique de la région et ses répercussions dans un contexte de pression croissante sur des ressources naturelles limitées. Le deuxième vise à caractériser l'état des sols à travers une analyse physico-chimique menée le long d'un gradient amont-aval des oasis. Enfin, le troisième objectif porte sur l'évaluation de l'impact de l'intensification des pratiques agricoles et du développement anarchique des carrières sur l'environnement local. Afin d'atteindre ces objectifs, une approche méthodologique combinant le prélèvement d'échantillons sur le terrain, leur analyse en laboratoire, ainsi que la cartographie de l'évolution des palmeraies a été adoptée.



2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les oasis du Moyen Draa, situées dans le bassin versant du Draa (372 km^2) entre Ouarzazate (barrage Mansour Eddahbi) et M'hamid El Ghizlane (lac Iriki) et délimitées par les latitudes $29^{\circ}30' - 31^{\circ}00' \text{ N}$ et les longitudes $5^{\circ}30' - 6^{\circ}30' \text{ O}$ (figure 1), comprennent six oasis principales, disposées de l'amont vers laval: Mezguita (environ 34 km d'Agdz à Foum Tansikht), Tinzouline (48 km de Foum Tansikht vers Foum Azlak), Ternata (environ 30 km entre Foum Azlak et Foum Zagora), Fezouata (37 km entre Foum Zagora, en aval de Ternata, et Foum Takakt), Ktaoua (25 km depuis Foum Takakt vers le sud-ouest jusqu'à Foum Tidri), et enfin M'hamid El Ghizlane, marquant la fin des oasis et le début des dunes aux abords du lac Iriki (tableau 1). Ces oasis sont d'une importance capitale très riche sur le plan biodiversité, culturel, historique, patrimonial, savoir-faire et agronomique (Boudellah *et al.*, 2022). D'ailleurs elles ont été classées dans les réserves de la biosphère par l'UNESCO.

Draa moyen a une géologie complexe, résultant d'une longue histoire tectono-sédimentaire. Il est structuré par des ensembles géologiques allant du précambrien au quaternaire (Clausen *et al.*, 2014; Beraaouz *et al.*, 2017). Du point de vue structural, le Draa moyen se situe dans le domaine géologique de l'Anti-Atlas et de la chaîne du Bani. L'Anti-Atlas présente un vaste bombement anticinal d'orientation ENE-WSW, caractérisé par des affleurements de socle précambrien (terrains granitisés, magmatiques et métamorphisés) formant des boutonnières, bordées par une couverture sédimentaire paléozoïque (Robert-Charrue, 2006; Beraaouz *et al.*, 2017).

La chaîne du Bani, quant à elle, présente une structure monoclinale, séparée du noyau anti-atlasique par deux larges faijas dans les schistes (Robert-Charrue, 2006). Le substratum géologique est constitué de roches précambriennes et cambriennes (granite, rhyolite) intensément fracturées, surmontées par des massifs calcaires jurassiques dans le Haut Atlas et des basaltes triasiques intercalés (Carrillo-Rivera *et al.*, 2013). Des roches quartzitiques ordoviciennes affleurent également au Jbel Bani. La tectonique est caractérisée par des zones de distension (Ouanaimi & Lazreq, 2008). Les formations quaternaires sont constituées de dépôts qui se distinguent par leur degré de cimentation et leur taille de grain: conglomérats, alluvions détritiques, limons argilo-sableux (Chamayou, 1996). Leur façonnement et leur dynamique sont étroitement liés à l'oued Draa et à ses affluents (Benbih *et al.*, 2023). L'hydrogéologie est influencée par cette complexité géologique; les calcaires du Haut Atlas constituent un aquifère majeur, et les débits de l'oued du Draa contribuent à l'alimentation des nappes souterraines qui longent les oasis (Carrillo-Rivera *et al.*, 2013).

Du fait de sa situation géologique (appartenance à l'Anti-Atlas et au Bani) et climatique (climat aride), Draa Moyen se caractérise par une prédominance de reliefs variés, différent par leur taille et leur étendue de l'amont vers laval. Il se distingue par la dominance d'une unité montagneuse, qui constitue une extension de la chaîne de l'Anti-Atlas et du Bani, entrecoupée de dépressions de taille limitée, localement appelées «Faijas», qui sont souvent parallèles au corridor fluvial de l'oued Draa ou de ses affluents, tel que l'oued Faija.

Le régime pluviométrique présente une forte irrégularité spatio-temporelle (Lahmidi *et al.*, 2020; Amiha *et al.*, 2024), avec des précipitations annuelles variant de 20 à 220 mm entre l'amont et laval du bassin. Les données des stations d'Ouarzazate, Agdz et Zagora révèlent une forte variabilité interannuelle : les maxima pluviométriques atteignent respectivement 227,8 mm (2014), 168 mm (1995) et 129 mm (2001), tandis que les minima descendent à 18,5 mm (1983), 21 mm (2001) et 18 mm (2009). Les températures moyennes annuelles varient également, oscillant entre 10°C (janvier) et 31°C (juillet) à Ouarzazate, et entre 10°C (janvier) et 33°C (juillet) à Zagora, avec une amplitude thermique annuelle de 21°C et 23°C , respectivement. Sa situation aux latitudes $30-31^{\circ}\text{N}$ expose la région à un climat désertique.

Ce climat est également déterminé par la présence de vents chauds et secs en provenance du Sahara. Toutefois, la présence de l'oued engendre un microclimat local au cours des périodes d'écoulement. Ce microclimat se manifeste par l'apparition d'une brise locale, due au contraste thermique entre l'air plus frais au-dessus de l'eau et l'air ambiant plus chaud. Ce phénomène génère une circulation d'air horizontal, souvent ressentie en fin de journée, qui contribue à atténuer les températures élevées, notamment dans les oasis riveraines (Benbih *et al.*, 2023). La flore est adaptée à ces conditions arides, avec des plantes désertiques épineuses et des espèces arborées résistantes à la sécheresse et aux températures élevées,



telles que *Acacia radiana*, *Tamarix canariensis*, *Calotropis procera* et *Phragmites communis* (Boudellah et al., 2022; Moumane et al., 2025).

Les oasis du Draa moyen sont également caractérisées par la présence des zones dunaires d'étendues spatiales variables. Ces dunes, témoins de la phase terminale de la désertification des écosystèmes, contribuent à accélérer la dégradation des sols et de l'écosystème oasien. On distingue plusieurs unités dunaires hétérogènes, incluant des dunes d'aval de Ternata, les dunes de Fezouata (parallèles au Bani oriental et au Jebel Boujniba), les dunes d'Amezrou (situés entre le Jebel Adfane et les zones agricoles), les dunes de Tinfou (en aval de Foum Zguid et longeant les rives de l'oued Draa), les dunes de ktaoua, et enfin, les vastes ergs de M'Hamid El Ghizlane, s'étendant de Foum Tidir et le lac Iriki (Benbih et al., 2022).

Le long de la bande fluviale de l'oued Draa, entre Agdz (amont) et M'hamid El Ghizlane (aval), les populations se sont installées et ont développé une civilisation basée sur l'exploitation des terrasses fluviales. Ce savoir-faire ancestral a permis l'émergence de techniques d'ingénierie locales, assurant la pérennité de leur présence (Aït Hamza et al., 2010; Janty, 2014). Depuis longtemps, l'homme oasien a développé plusieurs formes d'adaptation et de gestion des ressources en eau à travers d'un système d'irrigation traditionnel complexe tels que les khettaras et les seguia (Laaouane, 2004; Bentaleb, 2015; Bahani, 1990; Beraaouz et al., 2022).

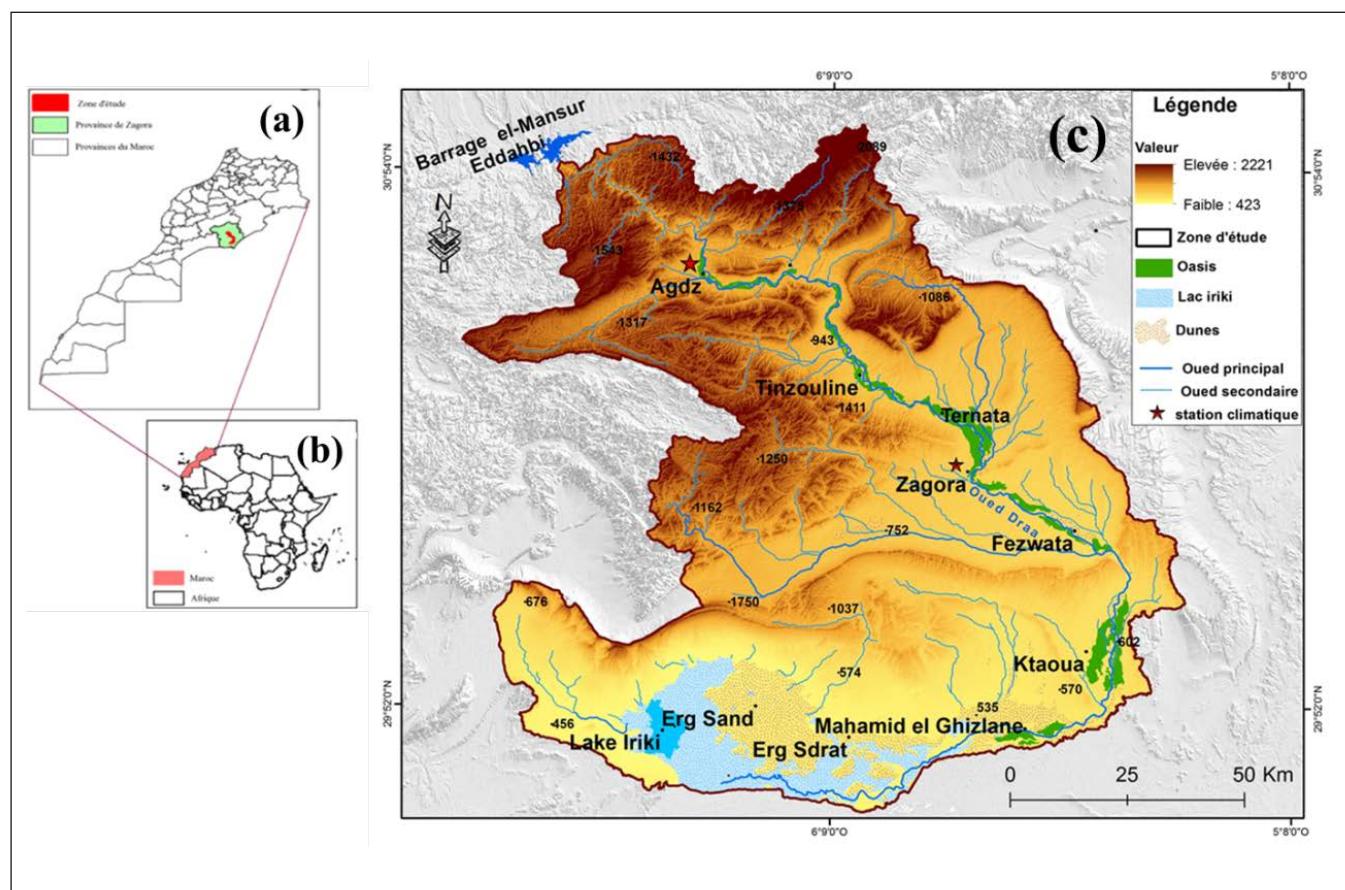


Figure 1. Positionnement de la zone d'étude au sein Maroc (a). Situation du Maroc dans la région Afrique (b). Localisation géographique de la zone d'étude (c). Source: élaboration personnelle à partir du modèle numérique d'élévation (30 m) et des images satellite de Google Earth Pro.

Tableau 1. La superficie totale et agricole des oasis du Draa moyen.

Oasis	Superficie totale (ha)	Superficie agraire (ha)
Mezguita	3596	2419
Tinzouline	5864	4015
Ternata	7831	5858
Fezouata	5581	3825
Ktaoua	11032	7770
M'Hamid El Ghizlane	3305	2231
Total	37209	26118

Source: élaboration personnelle basée sur les données du Centre Régional d'Investissement Agricole d'Ouarzazate.



3. METHODES ET MATERIELS

3.1. Caractérisation de la dégradation des sols

L'évaluation de la dégradation des sols a été réalisée grâce à une méthodologie combinant l'échantillonnage de terrain, les analyses en laboratoire, et le travail cartographique. Ces analyses, effectuées au sein des laboratoires de l'INRA à Agadir, ont permis de déterminer des paramètres clés tels que la salinité, la teneur en matière organique ainsi que le pH des sols.

La détermination de la salinité des sols a été effectuée par conductimétrie, une technique basée sur la mesure de la conductivité électrique (CE) d'un extrait aqueux préparé selon un ratio sol/eau distillée de 1:5. La CE a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (EC mètre) avec compensation de température à 25°C. La CE est un paramètre qui reflète la concentration des sels dissous et qui est utilisé comme indicateur direct de la salinité du sol (Ingvalson & Rhoades, 1971). Il est important de noter que la CE est influencée par plusieurs facteurs physico-chimiques, notamment la texture, la composition minéralogique, la porosité, l'humidité, la concentration en sels et la température. La compensation de température à 25°C est donc essentielle pour assurer la précision des mesures, étant donné que la CE varie d'environ 2.02% par degré Celsius entre 15 et 35°C (Besson *et al.*, 2008).

La quantification de la matière organique des sols a été réalisée selon le protocole classique de Walkley et Black (1934). Cette méthode repose sur l'oxydation chimique du carbone organique par une quantité connue de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), en présence d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Le dichromate de potassium non consommé est ensuite dosé par titrage, ce qui permet de déterminer la quantité de carbone organique oxydé. Les résultats sont généralement exprimés en pourcentage de matière organique, considéré comme un indicateur direct de la fertilité des sols. Toutefois, bien que largement utilisée, cette méthode ancienne présente plusieurs limites, notamment l'emploi de réactifs dangereux et une sous-estimation partielle du carbone total. Aujourd'hui, plusieurs méthodes plus récentes sont disponibles, telles que la combustion sèche (ou méthode de Dumas), reconnue pour sa précision dans la mesure du carbone organique total. Cette technique repose sur la combustion complète de l'échantillon à haute température, suivie de la détection du dioxyde de carbone (CO_2) émis, offrant ainsi des résultats fiables, reproductibles et exempts de l'usage de substances toxiques (Nelson & Sommers, 1996 ; FAO, 2020).

Pour évaluer l'acidité ou la basicité du sol, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique. La procédure a consisté à mélanger le sol avec de l'eau distillée (ratio 1:2, poids/volume) pour former une suspension. Après avoir bien agité le mélange, on a attendu que la lecture du pH se stabilise avant de relever la valeur. Cette valeur permet de déterminer si le sol est acide, neutre ou basique (Thomas *et al.*, 2018).

Six échantillons représentatifs ont été prélevés le long d'un gradient amont-aval du Draa Moyen: TS1 et TS2 (oasis de Tinzouline), TRS1 et TRS2 (oasis de Ternata), et FS1 et FS2 (oasis de Fezouata). La localisation géographique et la densité de population ont été les critères principaux guidant le choix de ces sites (tableau 2).

Tableau 2. Localisation des zones d'échantillonnage dans les oasis du Draa Moyen.

Échantillons	Code	Oasis	Coordonnées	
1	TS1	Tinzouline	30°32'45.60»N	6°7'7.57»O
2	TS2	Tinzouline	30°28'19.88»N	6°0'42.66»O
3	TRS1	Ternata	30°21'0.37»N	5°47'41.15»O
4	TRS2	Ternata	30°19'18.11»N	5°49'32.38»O
5	FS1	Fezouata	30°18'0.75»N	5°49'26.76»O
6	FS2	Fezouata	30°15'5.31»N	5°40'14.14»O

Source: élaboration personnelle basée sur les données de terrain collectées à l'aide de GPS.



3.2. Analyse de l'évolution démographique

Pour évaluer l'impact de la croissance démographique sur la durabilité des oasis, une analyse combinant données démographiques (province de Zagora, recensements de 1994, 2004 et 2014) et entretiens de terrain a été menée dans les douars d'Amezrou et de Tinfou. Ce choix est expliqué par les mutations environnementales et socio-économiques importantes qui affectent (ensablement, occupation des sols, systèmes de production), ainsi que par leur position contrastée par rapport au centre urbain de Zagora (proximité pour Amezrou, éloignement pour Tinfou).

3.3. Cartographie de la surface agricoles et le palmier dattier

Une approche cartographique a été mise en œuvre pour localiser la zone d'étude (coordonnées x, y) et analyser l'évolution spatio-temporelle des phénomènes étudiés. L'analyse repose sur l'utilisation des cartes topographiques et les images fournies par Google Earth pro. Afin de caractériser l'évolution des surfaces agricoles et de la densité des palmiers dattiers, deux zones échantillonées ont été sélectionnées. La première, située dans la zone de faija de l'oasis de Fezouata, au Nord-Ouest d'Amezrou, a été analysée sur la période 2002-2018. La seconde, localisée dans la zone d'Anagame, au Sud-Ouest de Beni Ali (partie aval de l'oasis), a été étudiée sur la période 2010-2019. Le choix de l'oasis de Fezouata se justifie par son statut de référence en matière d'évolution des pratiques agricoles à l'échelle du Draa Moyen. En complément de l'analyse spatiale, l'évolution démographique a été étudiée à partir des données des recensements de 1994, 2004 et 2014, ainsi que d'une enquête de terrain menée dans les douars d'Amezrou et de Tinfou. Cette dernière s'est fondée sur un échantillon représentatif de 60 ménages, répartis équitablement entre les deux localités (30 à Tinfou et 30 à Amezrou).

4. RESULTAT

272

Les résultats de cette étude seront présentés selon trois axes majeurs: l'analyse de la pression démographique sur les ressources limitées, l'évaluation des impacts des activités humaines sur la dégradation des sols, et l'examen de l'influence de ces activités sur la durabilité des écosystèmes oasiens. Dans ce cadre, nous concentrerons sur l'agriculture oasienne, en particulier la tension entre intensification et menaces environnementales, en mettant l'accent sur le problème des carrières non contrôlées.

4.1. Impacts de la croissance démographique sur la capacité de charge environnementale

L'étude des caractéristiques démographiques du Draa Moyen, à travers l'analyse des données issues des recensements de la population de 1994, 2004 et 2014, ainsi que d'observations de terrain, révèle une croissance démographique significative. Cette dynamique est considérée comme une manifestation des transformations économiques et sociales qui affectent ce territoire.

L'évolution démographique du Draa Moyen, se caractérise par une croissance continue, mais à un rythme modéré. La population est passée de 255 805 habitants en 1994 à 283 336 en 2004, soit un taux de croissance annuel de 1,03%, puis à 307 306 en 2014, avec un taux de croissance annuel de 0,81% (tableau 3). Le taux de croissance global sur la période 1994-2014 s'établit à 0,88%, un niveau inférieur à la moyenne nationale (1,31%) (Atiki, 2019; Kidou *et al.*, 2019), ce qui souligne la fragilité socio-économique de ce territoire. Cette population présente une répartition spatiale hétérogène, s'étendant de manière parallèle au cours des anciennes terrasses fluviales supérieures de l'oued Draa.

Les formes d'installations des populations sont différentes dans le faija et prendre une forme dispersée en raison de l'étendue des surfaces disponibles. À l'inverse, il se concentre dans les secteurs des gorges (Foum). Les populations locales réservent les zones proches de l'oued aux activités agricoles, tandis que



les parties restantes sont consacrées à l'habitat, qui coïncide souvent avec des formations rocheuses topographiquement élevées. Cependant, l'accroissement démographique récent conduit à une extension de l'habitat sur des versants montagneux adjacents, plus favorables, et des terres agricoles avoisinantes. Cette répartition est influencée par plusieurs dimensions géomorphologiques. Au premier plan, la configuration topographique générale, suivie par le facteur altitudinal. Les altitudes diminuent de l'amont vers l'aval selon une pente moyenne de 3%, avec des variations internes. Ce déterminant topo-géomorphologique engendre des disparités non seulement dans la concentration de la population, mais aussi dans la détermination de la valeur foncière de la terre.

L'analyse des taux de croissance démographique dans le Draa moyen (1994-2014) révèle une hétérogénéité spatiale significative. On observe des zones à forte croissance (Agdz, Zagora), des zones à croissance modérée (Tamegroute et Ternata), des zones à croissance faible (Aflanndra et Tassifte), et des zones en déclin démographique (Ktaoua, M'Hamid El Ghizlane, Blaidia et Aït Boudad). Cette répartition inégale, avec une croissance plus marquée à proximité de l'oued Draa et en amont du bassin, suggère une corrélation avec la dégradation des sols, exacerbée dans les zones riveraines de l'oued. Ces disparités s'expliquent par des facteurs historiques (occupation ancienne, architecture traditionnelle), géographiques (proximité de l'eau et des axes routiers), et stratégiques (politiques d'aménagement du territoire).

L'analyse densité de population révèle des disparités typiques liées aux contextes socio-économiques et environnementaux. Les communes riveraines de l'oued (oasis) présentent généralement des densités plus élevées que les autres. On peut identifier trois types de zones :

- Densités fortes: Zagora (évolution de 1454 habitants/km² en 1994 à 2226 habitants/km² en 2014, la plus forte densité du Draa moyen) et Agdz (de 294 à 534 habitants/km² sur la même période).
- Densités moyennes: Bouzeroual, Bnizouli et Fezouata, avec une densité comprise entre 40 et 80 habitants/km².
- Densités faibles à très faibles: Ternata, M'Hamid El Ghizlane et Lktaoua, étant moins de 40 habitants/km².

273

Tableau 3. Evolution de la population du Draa moyen entre 1994 et 2014.

Année	Nombre de Population	Période statistique	Croissance annuelle (%)	Croissance totale	Taux d'croissance annuel
1994	255805	1994-2004	1,03	27531	2753
2004	283336	2004-2014	0,81	23970	2397
2014	307306	1994-2014	0,88	51501	2575

Source: élaboration personnelle à partir des données démographiques (province de Zagora, recensements de 1994, 2004 et 2014).

4.2. Impacts anthropiques sur la dégradation des sols

Les analyses de salinité ont mis en évidence une variabilité des valeurs allant de 0.299 à 5.11 mS/cm, avec une valeur moyenne de 1.57 mS/cm. Ce niveau de salinité élevé témoigne d'une dégradation des sols, imputable aux épisodes de sécheresse prolongée et aux pratiques d'irrigation par submersion, qui favorisent l'évaporation et l'accumulation des sels (tableau 4). En conséquence, le recours à des amendements organiques apparaît comme une stratégie incontournable pour améliorer la fertilité des sols et atténuer les effets de la salinisation.

Les résultats mettent en évidence des valeurs moyennes de 1.33 mS/cm à Tinzouline, 0.396 mS/cm à Ternata et 2.996 mS/cm à Fezouata, traduisant une augmentation générale de la salinité le long du gradient amont-aval du Draa Moyen. Des variations significatives de la salinité sont également observées à l'intérieur des oasis, avec par exemple des valeurs allant de 0.299 à 0.493 mS/cm à Ternata et de 0.88 à 5.11 mS/cm à Fezouata.



Ces résultats indiquent que les sols du Draa Moyen présentent un niveau de salinité allant de modéré à élevé. Ce phénomène, bien que paradoxal, est étroitement lié à la gestion de l'eau: l'eau, bien qu'essentielle à la vie dans les zones arides, est un facteur majeur d'augmentation de la salinité des sols en raison d'une gestion irrationnelle (Boodt, 1993). Dans les climats désertiques, les sels sont répartis de manière relativement homogène dans les profils de sol humidifiés par les précipitations ou l'irrigation. L'évaporation intense, induite par les températures élevées, entraîne la précipitation des sels dissous à la surface du sol sous forme de croûtes blanches, conduisant à la salinisation, à la perte de fertilité et à la diminution de la productivité (Loyer, 1991; Casenave *et al.*, 1989).

La salinisation engendre une dégradation de la structure du sol et entrave l'absorption de l'eau par les plantes, pouvant provoquer leur mort. C'est pourquoi il est essentiel de souligner que la réduction de la salinité des sols passe par une compréhension approfondie de leurs propriétés physico-chimiques et par l'adoption de techniques d'irrigation modernes (Boodt, 1993). Parallèlement à l'augmentation de la salinité, une hausse du pH est également constatée le long du gradient amont-aval du Draa Moyen. Les valeurs de pH mesurées dans les oasis de Tinzouline (7.75-7.57), Ternata (7.45-7.35) et Fezouata (7.69-8.02) indiquent un caractère neutre à une tendance vers des pH basiques des sols. L'analyse aussi révèle une hétérogénéité spatiale de la teneur en matière organique, avec des valeurs variant significativement entre les oasis de Tinzouline (1.538%-1.812%), Ternata (0.609%-1.078%) et Fezouata (0.917%-1.607%). Néanmoins, ces valeurs permettent de classer globalement les sols du Draa Moyen comme pauvres à très pauvres en matière organique.

Les résultats de cette étude mettent en évidence une dégradation de des sols du Draa Moyen, caractérisée par une faible teneur en matière organique, une salinité élevée et des valeurs de pH élevées. Cette situation expose les sols à une série de risques, nécessitant des interventions pour garantir leur durabilité, en particulier dans le contexte climatiques actuelle et les changements des systèmes de production agraires, qui exacerbent ce problème (photo 1).



Photo 1. L'abondement de champs agricoles par les populations à cause de l'absence de l'eau (a). L'augmentation de la saïnitité de sols à cause de l'irrigation par la submersion (b). L'effet d'incendie sur le palmaire dataire et les champs agraires (c). Remplissages des champs agricoles par la dynamique éolienne (d). Source: photographie personnelle (14/05/2024).

**Tableau 4.** Indicateurs de la qualité des sols: Salinité, matière organique et pH dans les oasis du Draa moyen.

Échantillon	Paramètre	Résultat	Unité	Méthode	Interprétation
TR1	pH	7,45	-	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	0,299	mS/cm à 25C°	1:5	Non salin
	Matière Organique	1,078	%	Walkely-Black	Sol pauvre
TR2	pH	7,35	-	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	0,493	mS/cm à 25C°	1:5	Légèrement salin
	Matière Organique	0,609	%	Walkely-Black	Très pauvre
FS1	pH	7,69	-	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	0,883	mS/cm à 25C°	1:5	Modérément salin
	Matière Organique	1,607	%	Walkely-Black	Pauvre
FS2	pH	8,02	-	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	5,11	mS/cm à 25C°	1:5	Extrêmement salin
	Matière Organique	0,917	%	Walkely-Black	Très pauvre
TS1	pH	7,75	-	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	1,56	mS/cm à 25C°	1:5	Très salin
	Matière Organique	1,812	%	Walkely-Black	Pauvre
TS2	pH	7,57	-	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	1,117	mS/cm à 25C°	1:5	Très salin
	Matière Organique	1,538	%	Walkely-Black	Pauvre

Source: élaboration personnelle à partir de l'analyse des échantillons à l'INRA d'Agadir.

275

4.3. Impacts anthropiques sur la durabilité d'écosystème oasien

La croissance démographique exerce une pression sur l'agriculture oasienne, entraînant une intensification des pratiques agricoles qui menace la durabilité de ces écosystèmes fragiles (El Khoumsi et al., 2017).

Les oasis du Draa moyen se caractérisent par un paysage phoenicicole typique, localement désigné sous le terme jnane. Ces entités agraires se composent par des plantations denses sur des propriétés bien délimitées dans l'espace, ne dépassant généralement pas 1 hectare. Ils sont principalement localisés le long de l'oued Draa, et sont constituées par des éléments physiques, pratiques et fonctionnels en interaction. Du point de



vue économique, ces paysages jouent un rôle primordial dans le développement du paysage oasien et de ses secteurs avoisinants. Ce patrimoine végétal se caractérise également par une diversification de la production.

L'organisation du paysage phoenicole des oasis du Draa moyen tire parti du microclimat, de l'espace, de la luminosité et du vent. Cette organisation se manifeste par une superposition des cultures en trois strates agroforesteries. La strate supérieure, la plus haute, est formée de palmiers dattiers. La strate intermédiaire est constituée d'arbres fruitiers. La strate inférieure, à l'ombre, est constituée de plantes herbacées. Bien que les fellah exploitent des conditions microclimatiques favorables, l'agriculture est tributaire de l'oued Draa, source principale d'irrigation (Aït Hamza *et al.*, 2010). La superficie cultivable est limitée par la topographie, les conditions pédologiques et la présence de terrasses limoneuses d'âge actuel et subactuel.

Actuellement, une dynamique importante anime ce paysage oasien, orientée vers l'augmentation et la diversification de la production pour répondre à la demande du marché. Cette évolution, qui transforme l'agriculture oasienne de l'autoconsommation à la commercialisation, menace l'équilibre de ce secteur clé et la durabilité des ressources de l'écosystème, notamment en favorisant le déficit hydrique, la salinisation des sols et la propagation de la fusariose vasculaire (maladie du bayoud) (Ahmed *et al.*, 2024).

L'évolution de l'agriculture oasien se traduit par une diversité de processus, incluant la mécanisation de la production et l'optimisation des techniques d'extraction de l'eau (motopompes modernes), l'intégration de sources d'énergie renouvelable (énergie solaire) pour réduire les coûts, l'introduction de nouvelles cultures (pastèque), la transformation des qualités organoleptiques des produits, l'augmentation des rendements, le développement de réseaux de fournisseurs d'intrants et de techniques agricoles, et l'aménagement de bassins d'accumulation.

L'analyse cartographique diachronique de secteurs agricoles sélectionnés dans les oasis du Draa moyen révèle une évolution important de la superficie agricole utile et du nombre de champs irrigués. Cette dynamique est particulièrement visible dans les zones de Faija Fezouata, au nord-ouest d'Amezrou (2002-2018) (figure 2), et dans la zone d'Anagame, au sud-ouest de Beni Ali (2010-2019) (figure 3).

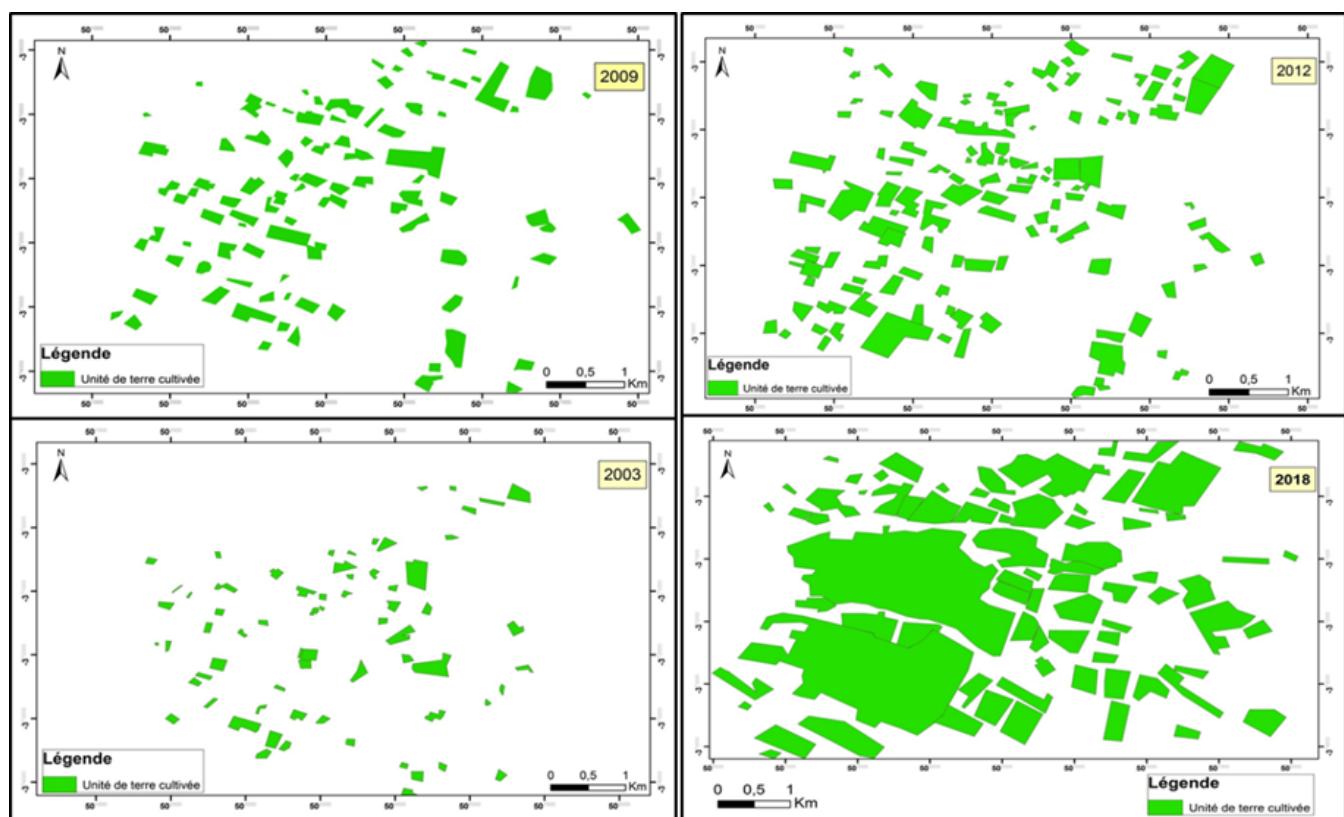


Figure 2. L'évolution de la surface agricole dans le Faija de Fezouata. Source: élaboration personnelle à partir des images de Google Earth Pro.

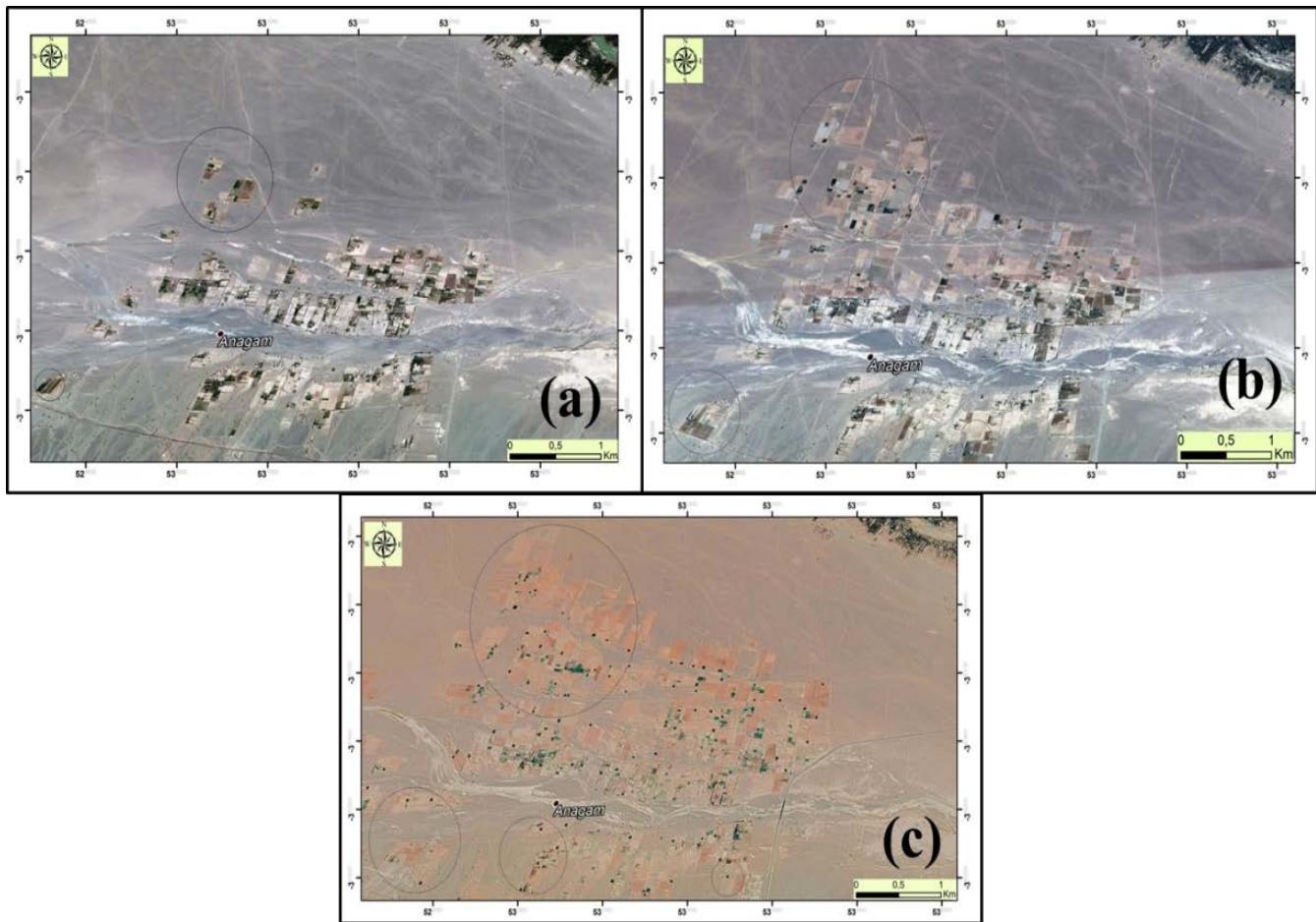


Figure 3. Evolution de la surface agricole dans Anagame, aval de Fezouata. situation de 2010 (a), situation de 2016 (b), situation de 2019 (c). Source: élaboration personnelle à partir des images de Google Earth Pro.

Ces secteurs se caractérisent par des pratiques agraires intensives et une productivité élevée, favorisées par l'adoption de techniques modernes, ainsi que par la présence de cultures fourragères alimentées par l'oued faija lors des précipitations et par une nappe phréatique peu profonde.

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*), espèce structurante des oasis du Draa moyen, assure un équilibre environnemental et socio-économique grâce à son adaptation aux conditions climatiques arides (Ben Abdallah *et al.*, 200; Ipgri *et al.*, 2005; Gros-Balthazard *et al.*, 2013) et à son interaction avec les pratiques agricoles. Sa dégradation constitue donc une menace pour la durabilité de ces écosystèmes et la pérennité des modes de vie oasiens (figure 4 a et b). L'état du palmier dattier dans les oasis du Draa moyen présente une évolution contrastée selon les zones. Le secteur de Beni Ali a connu une dégradation dominante, avec une diminution du nombre de palmiers due à leur utilisation pour la construction et la production de bois. En revanche, le secteur de Tamegrout a connu une augmentation du nombre de palmiers, principalement au Nord-Ouest et à l'Est-Ouest, grâce à un programme d'arborisation et de fixation des dunes mené par les services des eaux et forêts depuis 1979 (figure 4 c et d). Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion intégrée et durable pour préserver à long terme cette ressource essentielle.

Le paysage oasien du Draa moyen a connu également des mutations spécifiques liées à la croissance démographique, aux changements dans l'occupation des sols et à l'évolution des modes de vie. Ces facteurs ont favorisé une intensification des systèmes de production agricole, dans un contexte de sensibilité accrue aux changements globaux et aux enjeux territoriaux (Odghiri, 2023). Ces évolutions ont induit des transformations à la fois dans la forme et dans l'intensité des systèmes de production, ainsi que des changements structurels au sein des communautés oasiennes. On distingue principalement deux types de systèmes de production, caractérisés par des pratiques et des dynamiques distinctes:



- Le système traditionnel caractérise par une main-d'œuvre intensive tout au long du cycle agricole, au sein d'une structure familiale peu mécanisée. L'irrigation repose principalement sur la gravité, grâce à des khettaras (systèmes de captage des eaux souterraines) et des canaux acheminant l'eau vers les parcelles cultivées. Ce système est actuellement en déclin et perçu par les populations comme une source de vulnérabilité. La dégradation de ce patrimoine agricole millénaire est liée à la détérioration de la société patricienne (Akdim, 2009), ksour (villages fortifiés) pailleurs, les aspects religieux jouent un rôle important dans la réglementation de ces systèmes traditionnels.
- Les systèmes modernes se subdivisent en deux catégories, selon la taille des exploitations et le niveau d'intensification. D'une part, le système de mise en valeur de petites et moyennes parcelles se caractérise par une approche familiale et une mécanisation limitée, intermédiaire entre le système traditionnel et les grandes exploitations. Les agriculteurs visent une intensification et une diversification de la production, ce qui se traduit par une augmentation des prélèvements d'eau, notamment par le forage de nouveaux puits. D'autre part, le système de mise en valeur des grandes parcelles concerne les grandes exploitations, avec une mécanisation intensive et l'utilisation de techniques agricoles modernes à toutes les étapes de la production. Ce système, que l'on trouve notamment dans faija, correspond à une agriculture industrielle, avec des exploitations de l'ordre de 60 à 90 hectares.

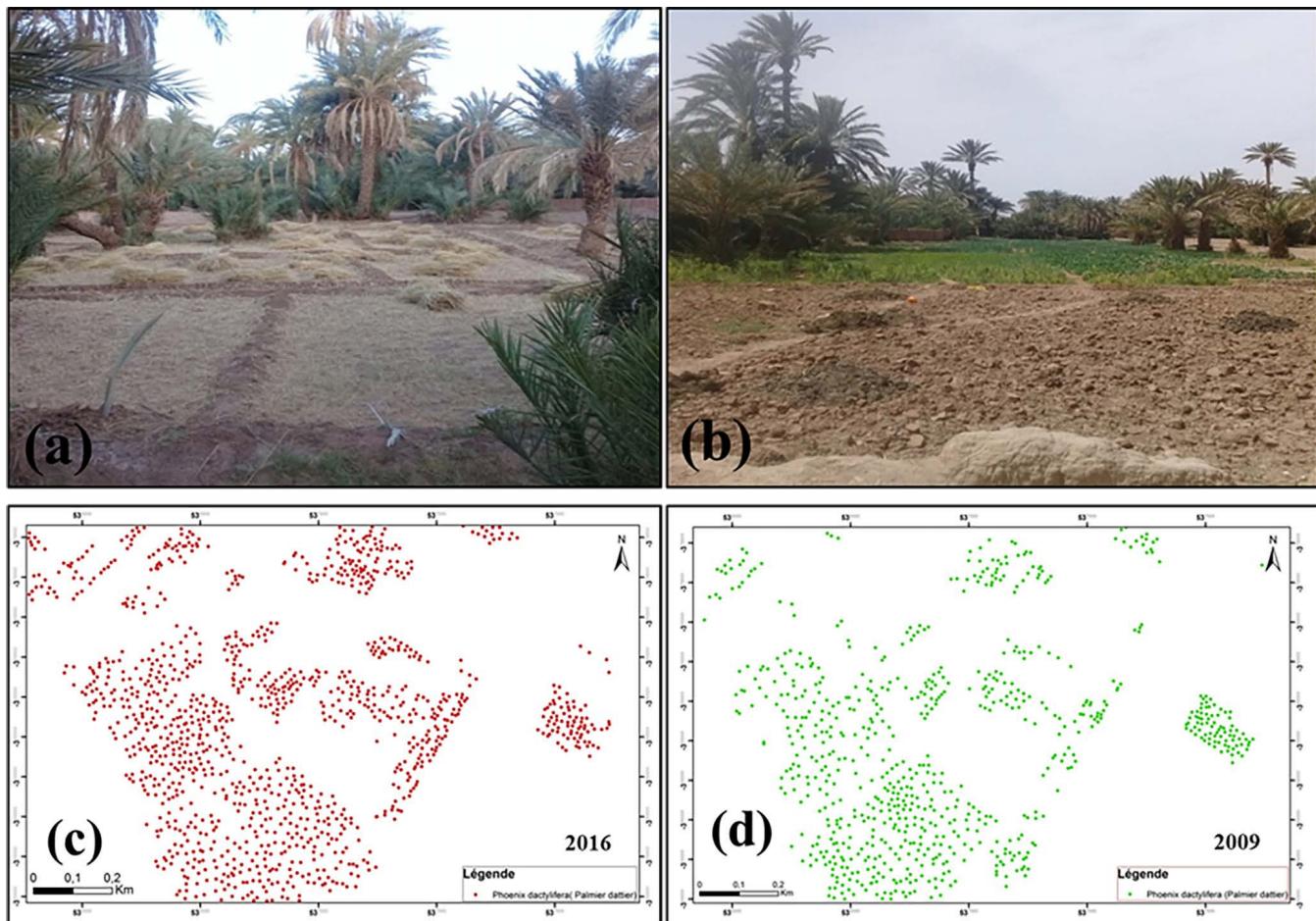


Figure 4. Evolution du palmier dattier dans le Tamgrout. Source: élaboration personnelle basée sur les images de Google Earth Pro et les photographies personnelles (05/12/2022).



4.4. Augmentation aléatoire des carrières et ses impacts environnementaux

Le Draa Moyen est marqué par la présence de nombreuses carrières informelles d'extraction des sables, en plus de quelques carrières autorisées. L'exploitation de ces carrières dépasse souvent la capacité de restauration des nappes alluviales, avec des impacts multiples: perturbation du bilan sédimentaire, dégradation du paysage (notamment près des zones touristiques comme Zagora (contamination de la qualité paysagère visuelle) et perturbation du régime hydrologique de l'oued en réduisant le volume des sables des terrasses fluviatiles du cours d'eau (lis mineur, moyen et majeur). Bien que l'exploitation des carrières puisse avoir des effets négatifs, certains résidents locaux estiment que les carrières informelles situées à proximité des puits contribuent à la recharge de la nappe phréatique (photos 2).

L'impact de l'exploitation des carrières dépasse la simple altération du paysage géomorphologique et s'étend aux différentes composantes de l'écosystème oasien. Parmi les atteintes observées, on peut citer la pollution potentielle des eaux souterraines due au rejet de déchets (huiles de moteur, emballages plastiques) et la dégradation de la végétation naturelle des berges de l'oued Draa, compromettant ainsi la stabilité de ces dernières et favorisant les phénomènes d'érosion. L'extraction intensive de sable, largement utilisée dans le secteur du bâtiment et des travaux publics.

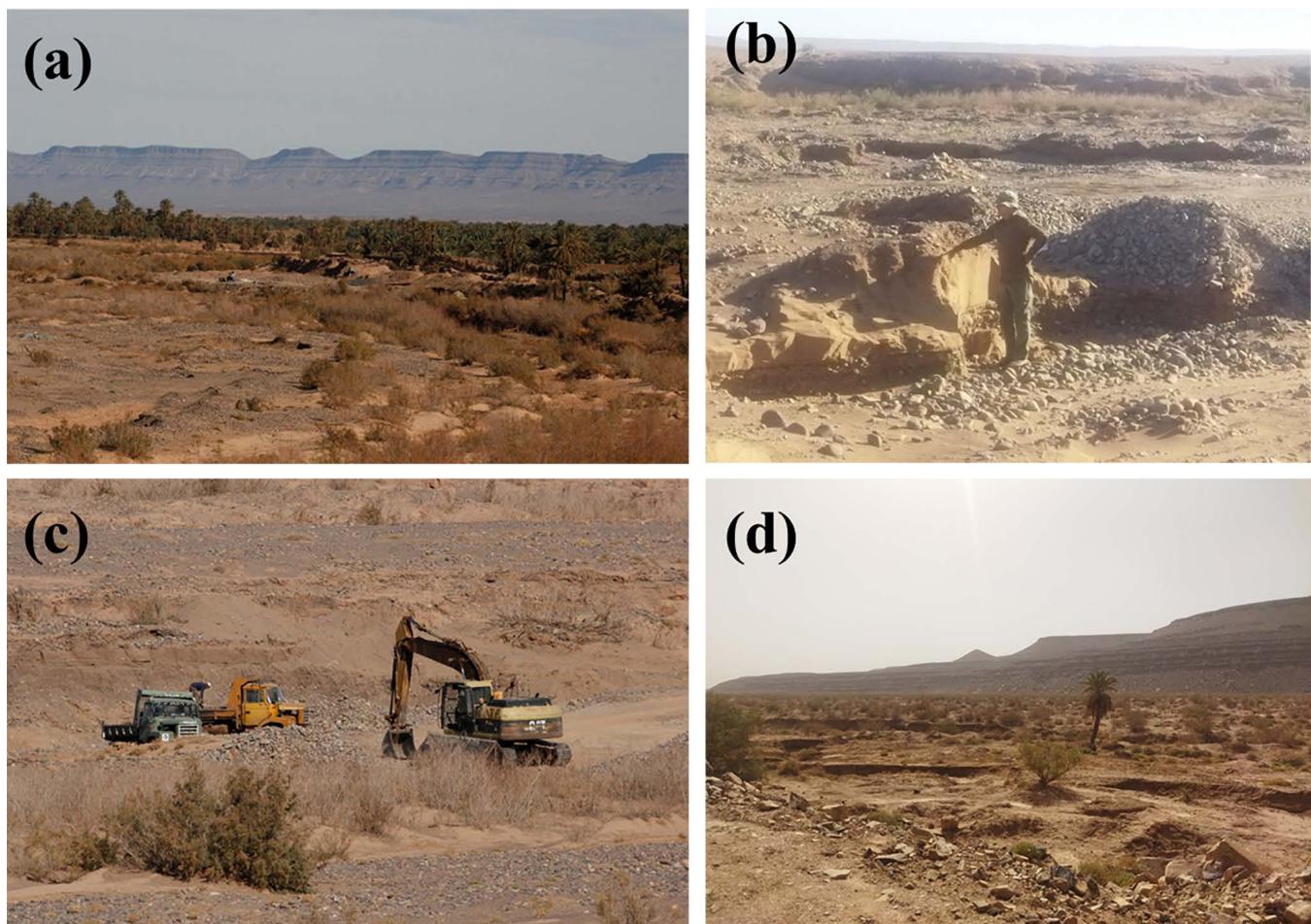


Photo 2. L'effet de l'exploitation des carrières sur la morphologie fluviale de l'oued Draa (a). L'effet de la carrière sur la terrasse actuelle (b). Carrière récente (c). Ancienne carrière (d). Source: cliché Benbih Mahjoub (16/05/2024).



5. DISCUSSION

Les oasis du Draa Moyen, comme d'autres écosystèmes arides du monde, subissent des pressions environnementales et socio-économiques particulières dues à une pression démographique modérée mais croissante (0,88% de croissance annuelle entre 1994 et 2014), exerce une pression croissante sur les ressources hydriques et pédologiques limitées. Cette tendance observée aussi dans les oasis d'Asie centrale (Karthe *et al.*, 2015), engendre une intensification de l'agriculture et une surexploitation des nappes phréatiques. Et par conséquences, des problématiques environnementale comme la dégradation des sols et l'exploitation informelle des ressources, exacerbent la vulnérabilité de ces écosystèmes, à l'instar des défis rencontrés dans les oasis du Tafilalet (Khaldi *et al.*, 2024).

L'analyse de la salinité des sols a montré des niveaux relativement élevés, en particulier dans l'oasis de Fezouata, où les pratiques d'irrigation par submersion et les sécheresses prolongées ont contribué à une forte accumulation de sels. Cette salinisation des sols est une caractéristique commune des oasis arides, et elle est exacerbée par des techniques agricoles peu adaptées aux contextes climatiques locaux (Lahlou *et al.*, 2002). L'intensification des pratiques agricoles entraîne des modifications importantes de la structure du sol, affectant sa fertilité et sa capacité à retenir l'eau. Ce phénomène est également observé dans d'autres oasis, notamment en Tunisie et en Égypte, où l'exploitation excessive des sols pour l'agriculture commerciale a provoqué la dégradation des sols, la perte de biodiversité et une diminution des rendements agricoles (Fargette *et al.*, 2019). L'introduction de techniques modernes, telles que la mécanisation et l'utilisation de pompes à motopompes, représente un défi supplémentaire pour la durabilité des écosystèmes. Bien que ces pratiques augmentent la productivité agricole, elles entraînent également une surexploitation des ressources naturelles, en particulier l'eau et les sols. En comparaison, dans les oasis du Moyen-Orient, comme celles du Yémen et de l'Arabie Saoudite, des études ont révélé que l'adoption de techniques d'irrigation plus durables, telles que l'irrigation goutte-à-goutte, a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau tout en réduisant les risques de salinisation (El-Rawy *et al.*, 2023).

L'exploitation des carrières informelles dans le Draa Moyen, bien que souvent considérée comme une source de revenus pour les habitants, présente des risques environnementaux considérables. L'exploitation excessive du sable perturbe le bilan sédimentaire, modifie le paysage géomorphologique et affecte la recharge des nappes phréatiques, en plus d'introduire des déchets polluants dans l'environnement (Besser *et al.*, 2021). L'impact de ces carrières informelles est comparable à celui observé dans d'autres régions désertiques, telles que l'Algérie et la Libye, où l'exploitation non régulée des ressources naturelles a entraîné des changements irréversibles dans la stabilité des écosystèmes (Lamara *et al.*, 2024 ; Ghodbani *et al.*, 2015).

L'état des lieux environnemental du Draa Moyen, comparé à celui d'autres oasis arides, révèle que la pression démographique, l'intensification agricole et l'exploitation des ressources naturelles sont des facteurs clés de la dégradation de ces écosystèmes fragiles. Par conséquent, une approche intégrée est essentielle pour garantir la durabilité de ces oasis, englobant à la fois l'adoption de pratiques agricoles durables, le renforcement de la gestion de l'eau et la régulation de l'exploitation des ressources naturelles.

6. CONCLUSION

L'approche combinée, associant l'analyse des données de recensement (1994-2014), les analyses pédologiques (salinité, pH, matière organique) et l'évaluation des pratiques agricoles, offre de nouvelles perspectives pour étudier l'impact des activités humaines sur l'environnement oasien du Draa Moyen. Les résultats obtenus dans cette étude révèlent une augmentation de la population du Draa moyen, mais à un rythme inférieur à la moyenne nationale, ce qui souligne la fragilité socio-économique de cette zone. La répartition de cette population est hétérogène, concentrée le long de l'oued Draa et influencée par des facteurs géomorphologiques tels que la topographie et l'altitude. L'extension de l'habitat, induite par la croissance démographique, empiète sur les terres agricoles et les versants montagneux adjacents, accentuant la pression sur l'environnement.



L'évaluation de l'état des sols; de salinité, de pH et de matière organique révèlent une dégradation dominante des sols du Draa Moyen. La salinité, en particulier, présente une variabilité importante et une augmentation le long du gradient amont-aval, liée aux pratiques d'irrigation et à l'évaporation intense. La faible teneur en matière organique et le pH élevé contribuent à la vulnérabilité des sols. Cette dégradation est une conséquence directe des activités anthropiques et des changements dans les systèmes de production agricole.

L'intensification de l'agriculture oasienne, motivée par la transition de l'autoconsommation à la commercialisation, menace aussi la durabilité de l'écosystème. L'augmentation des prélèvements d'eau, l'introduction de nouvelles cultures et la mécanisation de la production conduisent à un déficit hydrique, à la salinisation des sols et à la propagation de maladies (bayoud) affectant les palmiers dattiers. Bien que certains programmes de reboisement soient mis en œuvre, la dégradation de l'état des palmiers dattiers dans certaines zones souligne la nécessité d'une gestion plus intégrée.

L'évolution des systèmes de production, du système traditionnel (en déclin) aux systèmes modernes (intensifs), accentue cette pression sur les ressources. De plus, L'exploitation non contrôlée de carrières de sable informelles perturbe le bilan sédimentaire, dégrade le paysage et modifie la distribution des éléments hydrologiques. Ainsi, elle contribue à la pollution des eaux souterraines et à la dégradation de la végétation riveraine de l'oued Draa. Face ces menaces qui altèrent le fonctionnement de l'écosystème oasien, une gestion intégrée et durable est impérative.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M. Jamal Halam, professeur chercheur à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Agadir, que nous remercions vivement pour sa contribution à l'analyse des échantillons de sol.

281

Responsabilités et conflits d'intérêts

Les auteurs s'engagent à divulguer tout conflit d'intérêts existant ou potentiel en relation avec la publication de cet article. En outre, les contributions des auteurs concernés sont présentées comme suit:

- Mahjoub Benbih : Méthodologie, Logiciel, Investigation, Rédaction.
- Abderrahman Ouammou : Supervision, révision et édition, Validation.
- M'hamed Nmiss, Abdourrahmane Boukdoun, Hassan Nait-si: Analyse des données, Rédaction – révision et édition.

RÉFÉRENCES

- Ahmed, A.A.A., & Daoud, M. (2024). Dynamique agricole et enjeux hydrauliques dans la Moyenne vallée de Draa (Maroc) cas de l'oasis de Mezguita et ses marges. *Geomaghreb*, (20), 1-16.
- Aït Hamza, M., El Faskaoui, B., & Fermin, A. (2010). Les oasis du Drâa au Maroc: Rupture des équilibres environnementaux et stratégies migratoires. *Hommes & migrations*, (1284), 56-69. <https://doi.org/10.4000/hommes.migrations.1241>.
- Ait Taleb, A. (2018). *Étude des ressources en eau et de leur rôle dans le développement spatial des oasis du Drâa moyen à l'aide des systèmes d'information géographique et de la télédétection: Cas de l'oasis de Mezguita*. [Thèse de doctorat], Université Hassan II, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Mohammedia.
- Akdim, B., Laaouane, M., Tribak, A., Amyay, M., & Obda K. (2007). *La Khettara et le Faïd: enjeux et perspectives des techniques traditionnelles de mobilisation des eaux dans le Moyen et Bas Rhéris, dans GCES au Maroc*. Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 103-112.



- Akdim, M., Akdim, H., Sabiri, A., & Alami, A. (2023). Land-use change and sustainability in the south-eastern oases of Morocco. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, (59), 95-109. <https://doi.org/10.12775/bgss-2023-0007>
- Amiha R., Kabbachi B., Ait Haddou M., Hamma K., Bouchriti Y., & Gougueni H. (2024). Climate vulnerability and adaptation strategies in the Zagora Oasis, southern Morocco: a time series analysis and projection to 2050. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 9767-9781. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05213-0>
- Atbir, H. (2019). Les facteurs de dégradation de l'espace oasien dans la province de Guermim, Sud-Ouest Marocain. *Cinq Cont*, 9, 103-124.
- Atiki, N. (2019). *Dynamique des dunes de sables dans le Souss-Massa: Formes d'intervention humaine, enjeux environnementaux et impacts socio-économiques*. [Thèse de doctorat en Géographie], Université Ibn Zohr, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Agadir.
- Badraoui, M., Agbani, M., & Soudi, B. (2000). *Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'*, Rabat, Maroc, 2-3.
- Bahani, A. (1990). *Les structures agraires et les systèmes d'irrigation dans la palmeraie de Fezouata (le Draâ moyen, Maroc)*. [Thèse de doctorat], Rouen.
- Ben Abdallah, A., Stiti, K., Du Jardin, P., & Lepoivre, P. (2000). Identification de cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) par l'amplification aléatoire d'ADN (RAPD). *Cahiers Agricultures*, 9(2).
- Benattou, M. (2014). Nouveaux Aspects Démographiques Au Regard Du Développement Dans Le Pré-Sahara Marocain: Cas Du Darâa-Tafilalt. *Rev. Af Maroc*, (12), 14.
- Benattou, M. (2015). La petite ville présaharienne entre «militarisation» de l'espace urbain, tribalisme et planification: le cas de Bouizakarne dans le Sud du Maroc. *Revue AFN Maroc N*, 17, 18.
- Benbih, M., Laaouane, M., & Ouammou, A. (2022). Etat du lieu environnemental et Evolution d'habitat dans les zones arides oasiennes: cas de Fezouata, moyen Draa (Maroc). *Revue de Geomaghreb*, (18), 32-42.
- Benbih, M., Laaouane, M., Ouammou, A., Akonad, H., & Nmiss, M. (2022). *Dynamique des systèmes dunaires et devenir des unités pheoniciculture de Fezouata, Moyenne Draa, Maroc*. Conférence, Colloque International: Les risques hydroclimatiques et géomorphologiques: typologie, cartographie et gestion. Oujda les 14 et 15 juin 2022.
- Benmohammadi, A., Benmohammadi, L., Ballais, J. L., & Riser, J. (2000). Analyse des inter-relations anthropiques et naturelles: leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc (vallée de Drâa et vallée de Ziz). *Sécheresse*, 11(4), 297-308.
- Benmohammadi, L.B., (1995). *Désertification et ensablement dans la vallée moyenne du Dra: étude géomorphologique des formations dunaires (sud marocain)*. [Thèse de doctorat], Université Joseph Fourier.
- Bentaleb, A. (2015). Vulnérabilité Oasienne: valorisation et développement territorial dans les zones arides marocaines. Cas: Oasis du Drâa moyen. In *XIV th Annual International Conference of Territorial Intelligence «Sustainable development of vulnerable territories»*.
- Beraaouz, M., Abiou, M., Hssaisoune, M., & Martínez-Frías, J. (2022). Khettaras in the Tafilalet oasis (Morocco): contribution to the promotion of tourism and sustainable development. *Built Heritage*, 6(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s43238-022-00073-x>
- Beraaouz, M., Macadam, J., Bouchaou, L., Ikenne, M., Ernst, R., Tagma, T., Masrour, M. (2019). An Inventory of Geoheritage Sites in the Draa Valley (Morocco): a Contribution to Promotion of Geotourism and Sustainable Development. *Geoheritage*, 11, 241-255. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0256-x>
- Bertrand, G., & Tricart, J. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 39(3), 249-272. <https://doi.org/10.3406/rgps.1968.4553>
- Besser, H., & Hamed, Y. (2021). Environmental impacts of land management on the sustainability of natural resources in Oriental Erg Tunisia, North Africa. *Environment, Development and Sustainability*, 23(8), 11677-11705. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01135-9>
- Besson, A., Cousin, I., Dorigny, A., Dabas, M., & King, D. (2008). The temperature correction for the electrical resistivity measurements in undisturbed soil samples: Analysis of the existing conversion models and proposal of a new model. *Soil Science*, 173(10), 707-720. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318189397f>
- Boodt, M. D. (1993). Soil conditioning, a modern procedure for restoring physical soil degradation. *Pedologie (Belgium)*, 43(1).



- Bouabid, R., Rouchdi, M., Badraoui, M., Diab, A., & Louafi, S. (2010). Assessment of land desertification based on the MEDALUS approach and elaboration of an action plan: The case study of the Souss River Basin, Morocco. *Land degradation and desertification: Assessment, mitigation and remediation*, 131-145. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0_10
- Boudellah, A., El Moustaine, R., Maliki, A., Moutaouakil, S., El Gharmali, A., Boulanouar, M., El Hachimi, Y., & Ghamizi, M. (2022). Impacts of Anthropogenic Factors on the Groundwater Ecosystem of Fezouata in South-East of Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, 23, 30-43. <https://doi.org/10.12911/22998993/146678>
- Bounar, A. (1993). *L'urbanisation dans un milieu d'oasis présahariennes: (la vallée du Draâ et le pays de Ouarzazate)*. [Doctoral dissertation] Poitiers.
- Carrillo-Rivera, J.J., Ouysse, S., & Hernández-Garcia, G.J. (2013). Integrative approach for studying water sources and their vulnerability to climate change in semi-arid regions (Drâa Basin, Morocco). *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 3(1), 26-36.
- Casenave, A., & Valentin, C. (1989). *Les états de surface de la zone sahélienne: influence sur l'infiltration*. Orstom.
- Chamayou, J. (1966). *Hydrogéologie de la vallée du Dra moyen*. [Thèse], Université de Montpellier Faculté des Sciences.
- Chehbouni, J., Tlemçani, N.E.B., Daadaoui, L., & Harrouri, C. (2024). Le tourisme, alternative pour la durabilité des écosystèmes oasiens au Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 12(4), 313-326.
- Chelleri, L., Minucci, G., Ruiz, A., & Karmaoui, A. (2014). Responses to drought and desertification in the Moroccan Drâa Valley Region: Resilience at the expense of sustainability? *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*, 5(2), 17. <https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v05i02/37199>
- Clausen, S., Álvaro, J. J., & Zamora, S. (2014). Replacement of benthic communities in two Neoproterozoic-Cambrian subtropical-to-temperate rift basins, High Atlas and Anti-Atlas, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 98, 72-93. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.03.025>
- Debbarh, A., & Badraoui, M. (2001). Irrigation et environnement au Maroc: situation actuelle et perspectives. In *Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irriguisés) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation* (pp. 14-p). Cirad-IRD-Cemagref.
- El Khoumsi, W., Hammani, A., Kuper, M., & Bouaziz, A. (2017). La durabilité du système oasien face à la détérioration des ressources en eaux souterraines: cas de la palmeraie de Tafilalet. *Revue Marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires*, 5(1), 41-51.
- Elbelrhiti, H., Kamal, S., Elbelrhiti, K., Amimi, T., Ennouali, Z., Benmohammadi, A., & Chao, J. (2023). Sand Dunes and Sand Encroachment in Moroccan Atlantic Sahara, Current Situation, Threat and Perspective. In *Sand Dunes of the Northern Hemisphere: Distribution, Formation, Migration and Management* (pp. 20-33). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003290629-3>
- El-Rawy, M., Batelaan, O., Al-Arif, N., Alotaibi, A., Abdalla, F., & Gabr, M. E. (2023). Climate change impacts on water resources in arid and semi-arid regions: a case study in Saudi Arabia. *Water*, 15(3), 606. <https://doi.org/10.3390/w15030606>
- FAO. (2020). *Soil Organic Carbon Mapping Cookbook, 3rd edition*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/ca7471>.
- Fargette, M., Loireau, M., Sghaier, M., Raouani, N., & Libourel, T. (2019). The future of oases in North Africa through the prism of a systemic approach: towards which type of viability and coviability. In *Coviability of Social and Ecological Systems: Reconnecting Mankind to the Biosphere in an Era of Global Change*. Vol. 2: *Coviability Questioned by a Diversity of Situations*, (pp. 19-59). https://doi.org/10.1007/978-3-319-78111-2_2
- Ghodbani, T., Milewski, A., & Bellal, S. A. (2015). Un écosystème littoral fragile menacé sur la rive sud de la Méditerranée. La région côtière de Terga et ses zones humides (ouest de l'Algérie). Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography*, (125), 153-164. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.8104>
- Gros-Balthazard, M., Newton, C., Ivorra, S., Pintaud, J. C., & Terral, J. F. (2013). Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). État de l'art et perspectives d'étude. *Revue d'éthnoécologie*, (4). <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.1524>
- Houssni, M., Kassout, J., El Mahroussi, M., Chakkour, S., Kadiri, M., Ater, M., & Petrisor, A. I. (2023). Evaluation and structuring of agrodiversity in oases agroecosystems of southern Morocco. *Agriculture*, 13(7), 1413. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.1524>
- Ingvalson, R.D., & Rhoades, J.D. (1976). Correlation of Alfalfa Yield with Various Index of Salinity. *Soil Science*, 122(3), 145-153. <https://doi.org/10.1097/00010694-197609000-00004>



- Ipgri, I., Inram, I., & FEM, P. (2005). *Descripteurs du Palmier dattier (Phoenix dactyliferaL)*. Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie.
- Janty, G. (2013). Capacité d'adaptation des pratiques traditionnelles de gestion et de partage de l'eau dans l'oasis de Figuig (Maroc). *Autrepart*, 65(2), 129-150. <https://doi.org/10.3917/autr.065.0129>
- Jouve, P. (2012). Les oasis du Maghreb, des agro-écosystèmes de plus en plus menacés. Comment renforcer leur durabilité. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 62(62), 113-122.
- Karthe, D., Chalov, S., & Borchardt, D. (2015). Water resources and their management in central Asia in the early twenty first century: status, challenges and future prospects. *Environmental Earth Sciences*, 73, 487-499. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3789-1>
- Kersit, F., Chérif, H., & Noureddine, B.T. (2024). La permaculture une nouvelle alternative pour la planification des villes oasiennes de la vallée du Drâa. *African & Mediterranean Journal of Architecture & Urbanism (AMJAU)*, 6(2).
- Khardi, Y., Taleb, Z. Z., Imache, A., Kuper, M., Bouarfa, S., Hammani, A., & Taky, A. (2024). *Penser la gestion de l'eau à l'échelle territoriale dans les oasis du Maroc: le cas de Ferkla*. Alternatives Rurales.
- Kidou, B., Tnourji, H., & Atiki, N. (2019). *Dynamics and transformations of the Moroccan immigration in the world: a synthetic overview*.
- Kpedenou, K. D., & Koumoi, Z. (2019). Cartographie et analyse spatiale de la dégradation des terres dans le sud-est du Togo: une approche basée sur la télédétection. *Annales de l'Université de Parakou, Série Science Naturelle et Agronomie*, 9(1), 67-78. <https://doi.org/10.56109/aup-sna.v9i1.64>
- Lahlou, M., Badraoui, M., Soudi, B., Goumari, A., & Tessier, D. (2002). Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. In *Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation* (pp. 19-p).
- Lahmudi, S., Lagnaoui, A., Bahaj, T., El Adnani, A., & Fadli, D. (2020). First inventory and assessment of the Geoheritage of Zagora province from the project Bani Geopark (South-Eastern Morocco). *Proceedings of the Geologists' Association*, 131(5), 511-527. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2020.05.002>
- Lamara, M., Chiker, T., Amara, S., & Gueddouda, M. K. (2014). *Protection de l'environnement à travers la valorisation du sable de dune dans les régions arides*. Actes du Colloque International du CBE, 27-28 Mai 2014, (pp. 1-10).
- Laouina, A. (2010). Conservation des eaux et des sols au Maroc: prise en compte de la diversité géographique. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (214), 85-99. <https://doi.org/10.4000/norois.3156>
- Loyer, J. Y. (1991). Classification des sols salés: les sols Salic. *Cah. ORSTOM Série Pédologie*, 61, 51-61.
- Maimouni, B. (2018). *Impact des changements climatiques et des transformations socio-spatiales sur la gestion des ressources en eau dans les oasis du Drâa moyen*. [Thèse de doctorat en Géographie], Université Hassan II, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Mohammedia.
- Malaki, A., Wartiti, M.E., & Ghannouchi, A.E. (2009). Sand dunes evolution and desertification in southeastern Morocco: a new approach to an old problem. In *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data: Training Workshop on Mapping Desertification* (pp. 199-206). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8937-4_17
- MEa, M.E.A. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment, World Resources Institute.
- Moumane, A., Bahouq, T., Karmaoui, A., Laghfiri, D., Yassine, M., Karkouri, J.A., & Youssef, A.A. (2025). Lake Iriqui's Remarkable Revival: Field Observations and a Google Earth Engine Analysis of Its Recovery After over Half a Century of Desiccation. *Land*, 14(1), 104. <https://doi.org/10.3390/land14010104>
- Nelson, D. W., & Sommers, L.E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, (pp. 961-1010). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Odghiri, M. A. (2023). *Les mutations sociospatiales dans le Maroc présaharien: Entre identité tribale et mondialisation*.
- Ouanaimi, H., & Lazreq, N. (2008). *The 'Rich'group of the Drâa Basin (Lower Devonian, Anti-Atlas, Morocco): an integrated sedimentary and tectonic approach*. <https://doi.org/10.1144/SP297.22>
- Ouhajou L, (1996). *Espace Hydraulique et société au Maroc cas des systèmes d'irrigation dans la vallée du Drâa*. Publication de la faculté des lettres et sciences humaines Agadir Université Ibn Zohr, Série thèses et mémoires n° 7, 343 p.



- Ouhajou, L., Jadaoui, M., & El Mahdad, E.H. (2017). La gestion de l'eau et le changement climatique dans les oasis marocaines. *Hespéris-Tamuda LII* (1) 193-218.
- Reynolds, M. P., Trethowan, R., Crossa, J., Vargas, M., & Sayre, K. D. (2002). Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field crops research*, 75(2-3), 139-160. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00023-0)
- Robert-Charrue, C. G. (2006). Géologie structurale de l'Anti-Atlas oriental, Maroc. [Doctoral dissertation] Université de Neuchâtel.
- Romm, H., Wilkins, R. C., Coleman, C. N., Lillis-Hearne, P. K., Pellmar, T. C., Livingston, G. K., & Prasanna, P. G. (2011). Biological dosimetry by the triage dicentric chromosome assay: potential implications for treatment of acute radiation syndrome in radiological mass casualties. *Radiation research*, 175(3), 397-404. <https://doi.org/10.1667/RR2321.1>
- Sbaï, L. (2011). *Oasis du Maroc: Cadre Juridique et Institutionnel*. IUCN: Gland, Switzerland.
- Talbi, M. (1997). Action anthropique et dégradation de l'environnement aride: la désertification en Tunisie du Sud-Est. *Méditerranée*, 86(1), 25-31. <https://doi.org/10.3406/medit.1997.2986>
- Thomas, G.W., (2018). Soil pH and Soil Acidity. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loepert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, & M.E. Sumner, (Eds.), *SSSA Book Series. Soil Science Society of America* (pp. 475–490). American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16>.
- Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37, 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Zahidi, M., & Ayegou, J. (2022). The Organization of the Date Sector in Morocco: A Lever for Valorization and Local Development. The Case of the Ziz Valley in the Tafila-Let Region of Morocco. *Regional and Sectoral Economic Studies*, 22(1), 37-60.