

# Cartographie et évaluation qualitatif de l'érosion au haut bassin versant de Guir. Un appui à la prévention contre l'envasement du barrage Kadoussa (Sud-est Maroc)

Mapping and Qualitative Assessment of Erosion in the Upper Guir Watershed. Supporting Measures to Prevent Siltation of the Kadoussa Dam (South-East Morocco)

Lahcen Ouiaboub <sup>\*1</sup>, Abdelhak Limam <sup>\*\*2</sup>, Hanifa El Motaki <sup>\*\*\*3</sup>, Khalid El Hairchi <sup>\*\*\*\*4</sup>, Mohcine Batchi <sup>\*\*\*\*\*5</sup> et Zakariae Amhani <sup>\*\*\*\*\*6</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

<sup>2</sup> FSHDM, USMBA – Fez, Morocco

<sup>3</sup> Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

<sup>4</sup> FPK, USMS – Beni Mellal, Fez, Morocco

<sup>5</sup> Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

<sup>6</sup> Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

## Résumé

L'étude a pour objectif de cartographier, évaluer et spatialiser le risque d'érosion potentiel dans l'impluvium du barrage Kadoussa, une étape cruciale d'appui à la prévention contre l'envasement et la préservation de sa retenue. La méthodologie adoptée est basée sur l'utilisation d'une approche d'estimation d'érosion PAP/CAR, et consiste à l'établissement d'un zonage qualitatif de la susceptibilité à l'érosion. Les résultats obtenus montrent que le haut bassin versant de Guir, impluvium du barrage, est exposé à une érosion active et apparente avec des formes d'érosion diversifiées, du simple décapage aréolaire aux griffes, rigoles et ravins profonds généralisés, et que les classes des terrains à érodibilité très forte et forte à moyenne occupent 48% de la superficie du bassin et que 52% de la superficie montre des terrains à érodibilité faible à très faible. Les constats tirés de l'étude attestent que la préservation de l'envasement passe par une lutte contre le détachement des particules, elle est recommandée dans les zones les plus sensibles, notamment les têtes des torrents et les ravins au niveau de Jbel Mesrouh, et par une rupture du transit sédimentaire vers la retenue du barrage, via la construction de deux édifices collinaires sur les principales artères du bassin Oued Guir et Oued Asefti. Les résultats tirés de cette étude sont peu coûteux

Cadernos de  
**Geografia**

doi : [https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623\\_52\\_4](https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_52_4)

Reçu en :  
11 avril 2025  
Acceptée en :  
24 octobre 2025

---

\*Email : lahcen.ouiaboub@uit.ac.ma  
\*\*Email : limameabdelhak@gmail.com  
\*\*\*Email : hanifa.elmotaki@uit.ac.ma  
\*\*\*\*Email : khalid.elhairchi@usmba.ac.ma  
\*\*\*\*\*Email : Mohcine.batchi@uit.ac.ma  
\*\*\*\*\*Email : Zakaria.amhani@uit.ac.ma

et facilement transposables à l'étude de l'érosion et l'envasement des retenues de barrages dans des conditions similaires.

*Mots-clés* : Barrage Kadoussa. Envasement. Érosion. PAP/CAR. Cartographie.

## Abstract

The study aims to map, assess, and spatialize the potential erosion risk in the Kadoussa dam catchment area, a crucial step in supporting the prevention of siltation and preserving its reservoir. The adopted methodology is based on the PAP/CAR erosion estimation approach and consists of establishing a qualitative zoning of erosion susceptibility. The results obtained show that the upper Guir watershed, which forms the dam's catchment, is exposed to active and visible erosion with diverse forms ranging from simple sheet erosion to rills, gullies, and widespread deep ravines. The study also reveals that terrains with very high to medium erodibility classes cover 48% of the basin area, while 52% of the area is characterized by low to very low erodibility. The findings of the study confirm that preventing siltation requires measures against particle detachment, which are particularly recommended in the most sensitive areas, such as torrent heads and ravines in the Jbel Mesrouh region, along with disrupting sediment transport towards the reservoir by constructing two hillside structures on the main tributaries of the basin, Oued Guir and Oued Asefti. The results of this study are low-cost and easily transferable to erosion and siltation assessments of other dam reservoirs under similar conditions.

*Keywords*: Kadoussa dam. Siltation. Erosion. PAP/CAR. Mapping.

## 1. Introduction

Les barrages marocains, dont celui de Kadoussa, font l'ossature de la politique d'aménagement hydroagricole et de développement depuis le début des années soixante (Abdellaoui et al., 2002 ; Jouve, 2006), et constituent un choix stratégique pour le stockage et la régularisation des eaux de surface (Mouden, 2017). La majorité de ces édifices sont soumis à un envasement préoccupant (Lahlou, 1994 ; Mouden, 2017 ; Remini. et al., 2003). Un phénomène qui limite de manière significative leurs capacités de stockage et la durée de vie de leur exploitation ainsi que la durabilité des projets socioéconomiques lancés à leurs avals (Boumaza, 2023 ; Merzouki, 1992 ; Remini et al., 2003 ; Tadrict et al., 2016).

Le phénomène d'envasement est lié aux apports solides qui proviennent de l'érosion des terrains dénudés de leurs impluviums (Azzioui & Essoussi, 2021 ; Bassairate et al., 2021 ; Bouiss et al, 2024 ; Faleh & Maktite, 2014 ; Mouden, 2017 ; Sadkaoui et al, 2003 ; Tadrict et al., 2016 ; Tahouri et al., 2021). Ainsi, la prévention contre ce phénomène passe par une bonne connaissance de l'état d'érosion dans les bassins versants principaux fournisseurs de la charge sédimentaire (Azzioui et Essoussi, 2021 ; Boumaza, 2023). Cet état d'érosion est déclenché et aggravé par plusieurs facteurs, dont la lithologie, les pentes, le couvert végétal et l'agressivité des précipitations mais aussi par certaines pratiques anthropiques et mutations dans les formes d'utilisation des terres (Al karkouri, 2003 ; Boumaza, 2023 ; Mesrar et al., 2015 ; Tribak, 2000).

Au sud du Haut Atlas oriental marocain, le barrage Kadoussa situé sur l'Oued Guir est doté d'une retenue de 220Mm<sup>3</sup> destinée pour alimenter un périmètre oasien tra-

ditionnel de 825ha, des extensions de palmeraie moderne de 4175ha et pour protéger son aval des risques d'inondations (Mahboub et al., 2020 ; Oufkir, 2019 ; Ouiaboub, 2021). Le barrage, par sa situation topographique et le contexte lithologique et bioclimatique, au piedmont de la chaîne atlasique axiale, est menacé par l'envasement, lié aux débits solides charriés depuis les versants pentus et les interfluves dénudés et érodés de son bassin versant (Ayt Hssain, 1983 ; Ouiaboub, 2021).

La présente étude a pour objectif, de cartographier et évaluer d'une façon qualitative, par la méthode du Programme d'Actions Prioritaires Au Centre d'Activités Régionales (PAP/CAR), le degré d'érosion au niveau du haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa (PAP/CAR, 1998 in El Moutkine et al., 2024 et Limam et al., 2024). Elle constitue un appui à la prévention contre l'envasement du barrage et permettra de mettre en évidence et de spatialiser les zones à différentes classes potentielles d'érosion, fournisseuses de sédiments, sources d'envasement. Les résultats peuvent servir à établir la priorisation des zones à aménager, à protéger, à corriger ou à conserver.

## 2. Contexte géographique, problématique et objectifs

### 2.1. Cadre physique

Le haut bassin versant de Guir, impluvium du barrage Kadoussa, se situe dans le Haut Atlas oriental et couvre une superficie de 1832 km<sup>2</sup> (Figure 1). Il empiète sur deux unités topographiques distinctes, nord et sud (Ayt Hssain, 1983 ; El Korchi, 1996 ; Ouiaboub, 2021). L'unité nord couvre la chaîne montagneuse axiale accidentée, caractérisée par ses hauts sommets supérieurs à 2000m (jbel Mesrouh culmine 2243m), par ses vallées profondes et par ses versants raides pentus. L'unité sud couvre la zone sub-atlasique formée de deux chaînons de petites montagnes caractérisées par de faibles altitudes, par des versants aux pentes modérées, séparées par deux larges cuvettes à fonds plats. La première cuvette sépare la chaîne axiale, jbel Mesrouh, jbel Bouchaabane au nord du premier chaînon d'Assamer n'Oudade, Assamer n'Baknou et jbel Bouarous au centre de la zone. La deuxième cuvette sépare le premier chaînon du deuxième situé au sud et formé des raides de jbel Boutchrafine, jbel Tamalout et jbel Ighil n'Kadoussa.

Sur le plan géologique (Figure 2), l'unité septentrionale s'inscrit dans la zone atlasique axiale, correspondant à une série de plis anticlinaux faillés et chevauchants (El kochri, 1996). L'unité méridionale couvre deux larges synclinaux évidés tapissés de buttes témoins et séparés par des anticlinaux étroits faillés séparés par des cluses taillées par Oued Guir et Oued Asefti (Ayt Hssain, 1983). La stratigraphie de la zone s'échelonne du Paléozoïque au Jurassique Moyen, et est recouverte par des formations superficielles quaternaires (Ayt Hssain, 1983 ; Choubert et al., 1956). La lithologie est représentée par un matériel schisteux du paléozoïque, les argiles rouges et les basaltes doléritiques du trias, les calcaires et dolomies massifs du lias inférieur, des calcaires lités et calcaires marneux du lias moyen, les marneux-calcaires du lias supérieur, les marnes et les marneux – calcaires du bajocien et les calcaires corniches du bathonien (Choubert et al., 1956). Le matériel détritique quaternaire couvre une grande surface et tapisse les versants, les fonds des vallées et les dépressions, il est

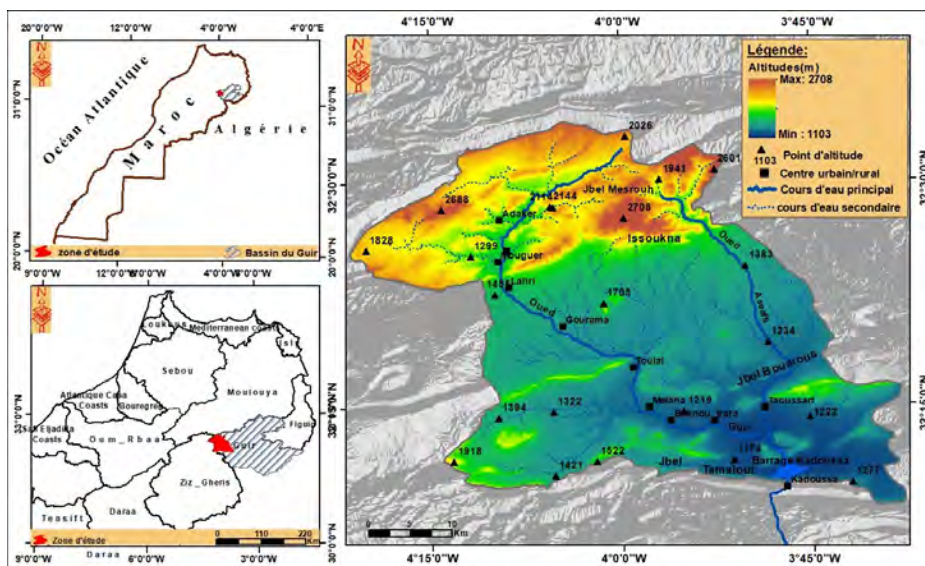


Fig. 1. Carte de situation du haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

formé de colluvions et d'alluvions qui modèlent les cônes de déjection, les glacis et les terrasses fluviales (Ayt Hssain, 1983 ; Ouiaboub, 2021).

Sur le plan bioclimatique, la zone est marquée par des précipitations rares et très irrégulières dans le temps et dans l'espace, les pluies annuelles sont généralement faibles, mais peuvent dépasser parfois 300mm et sont accompagnées d'un enneigement non négligeable en hiver (Ayt Hssain, 2010 ; Oufkir, 2019 ; Ouiaboub, 2021). L'essentiel de sa végétation se concentre le long des cours d'eaux, en dehors desquels, elle est clairsemée et discontinue et ne permet pas la protection du sol contre l'érosion. On y trouve essentiellement un faciès à base de Steppe graminéenne à *Stipa tenacissima*, des espèces essentiellement xérophytiques pérennes et annuelles qui épousent les tracés des écoulements sur les glacis, dans les ravins des versants de la petite montagne, des espèces ripicoles, le long des lits des oueds qui s'individualisent en cordons de ripisylve de tamarix et de lauriers rose (Ouiaboub, 2021 ; Oufkir, 2023).

Le réseau hydrographique dans le haut bassin de Guir, dans l'ensemble, montre une forme dendritique, dans le détail, son organisation dépend de la structure géologique ; les pentes guident le sens d'écoulement essentiellement du Nord vers le Sud (El Korchi, 1996 ; Ayt Hssain, 1983 ; Ouiaboub, 2021). Les principales artères hydrographiques du bassin versant prennent leur naissance de cette zone ; elles jouent un rôle crucial dans l'hydrologie et l'hydrogéomorphologie du bassin, elles sont considérées comme les berceaux des crues chargées de sédiments (Ouiaboub, 2021). Dans l'unité nord, ces chevelues hydrographiques sont composées de petits ravins et torrents perpendiculaires au cours principal. Dans l'unité sud, elles sont aussi majoritairement perpendiculaires aux versants et deviennent, aux fonds des cuvettes, relativement parallèles au cours principal. La densité de drainage du réseau hydrographique est de 0.72Km/Km<sup>2</sup> dans la partie amont et de 0.91Km/Km<sup>2</sup> vers l'aval, alors que la somme des longueurs des chevelues d'ordre inférieur à 3, selon la classification de

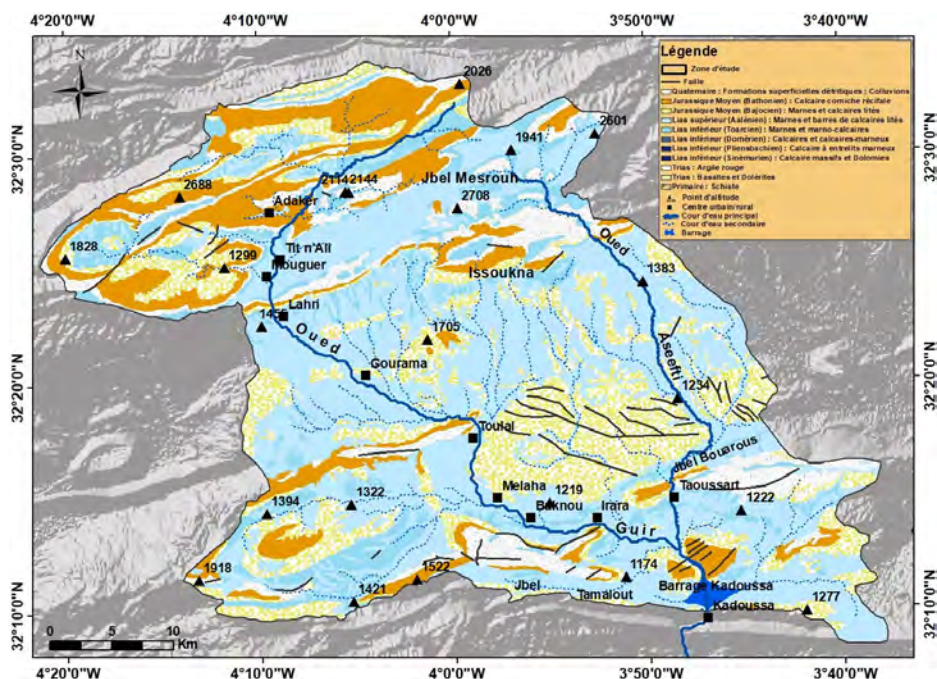


Fig. 2. Carte géologique simplifiée du haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

Source de données : Choubert et al., 1956.

Strehler (Strahler, 1957 in Ouiaboub, 2021), représente environ 94% de la longueur total du réseau hydrographique dans l'unité amont du bassin et environ 88% vers l'aval (Ouiaboub, 2021). La densité de drainage du réseau hydrographique relativement forte et la dominance des ordres inférieurs (1, 2 et 3) sont cruciales pour l'évacuation de la charge solide, notamment en suspension, de la totalité de l'impluvium du barrage.

## 2.2. Cadre socio-économique

Administrativement, la zone d'étude appartient à la région de Draa-Tafilalt, couvre trois communes, celles de Gourrama et de Guir qui font partie de la province de Midelt et la commune d'Oued Naam rattachée à la province d'Errachidia. La majorité de sa population est encore rurale 59% en 2014 (Oufkir, 2023). La zone est reconnue par sa fragilité socio-économique où l'agriculture oasienne représente la principale source de revenu et fait travailler la majeure partie de la population rurale active (Oufkir, 2019). Elle est pratiquée, dans l'ensemble, dans des petits périmètres traditionnels irrigués par les eaux des sources, des khetaras et des prélèvements par dérivation des principaux affluents de Guir (Oufkir, 2023 ; Ouiaboub, 2021). Les parcelles sont caractérisées par leurs faibles superficies, et constituent des micropropriétés, dont la superficie moyenne est inférieure à 1 ha ; près de 98% de ces exploitations ont une superficie inférieure ou égale à 5 ha (Oufkir, 2019 et 2023). Une activité fragile est soumise aux conditions hydro-climatiques de sécheresse et d'inondations, cas de 2008, (Hssain, 2014 ; Idrissi, 2010 ; Ouiaboub, 2021).

Dans le cadre de développement socio-économique de la zone, l'aval du barrage Kadoussa a été sujet d'une mise en valeur de petite, moyenne et grande hydraulique des terres collectives depuis 2003. Des projets qui s'intègrent dans la mise en valeur des terrains collectifs et s'inscrivent dans le cadre du Programme d'Extension de l'Irrigation «PEI», un programme établi en 2010 entre l'Etat et les organisations professionnelles pour le développement de la filière des dattes, qui prévoit la plantation de 5000 à 6000 Ha dans la province d'Errachidia (Oufkir, 2019 ; Mahboub et al., 2020). Des centaines de projets d'extension de petite hydraulique de 3 à 5 Ha et de grande hydraulique de plus de 500 Ha ont été implantés en dehors des périmètres traditionnels et ont été subventionnés depuis 2008 dans le cadre du Programme Maroc Vert (PMV 2008 – 2020) et du Programme Génération verte (PGV 2020 – 2027) et ont bénéficié d'un projet de développement de l'irrigation et d'adaptation de l'agriculture irriguée aux changements climatiques (PDIAAI-CC) financé par l'Agence Française de Développement (AFD), le Fonds Vert pour le Climat (Green Climate Fund – GCF) et le gouvernement du Maroc (Mahboub et al., 2020). Ce dernier projet est destiné à promouvoir la gestion rationnelle et durable des ressources en eau du barrage Kadoussa au profit du développement agricole et socioéconomique de la zone (Oufkir, 2023 ; Mahboub et al., 2020).

Dans ce contexte, le barrage Kadoussa qui s'inscrit dans le plan directeur d'aménagement et de gestion intégrée des ressources en eau (PDAIRE) du bassin Guir-Ziz-Rheris (PDAIRE, 2008 in Mahboub et al., 2020), a été conçu pour protéger l'aval, basse vallée de Guir à Boudenib, contre les inondations. Avec une retenue de 220 Mm<sup>3</sup>, la construction du barrage vise régulariser un volume annuel de 33Mm<sup>3</sup> dont 30Mm<sup>3</sup> est destinée pour l'irrigation de 5000 Ha des plaines situées à l'aval, 825 Ha de périmètres oasiens traditionnels, 3120ha d'extension de moyenne et grande hydraulique des investisseurs, 1055 Ha d'extensions de palmerai des ayant, et les 3Mm<sup>3</sup> restants sont destinés pour l'alimentation en eau potable des communes limitrophes (Mahboub et al., 2020).

### 2.3. Contexte problématique et objectifs

Le contexte topographique et lithologique ainsi que l'agressivité et l'irrégularité des précipitations déclenchent une érosion intense des terrains dénudés en amont du barrage. Les matériaux détachés sont charriés des versants et des interfluves par le réseau hydrographique dense pour finir dans le réceptacle du barrage. L'étude d'impact menée par l'Agence du bassin hydraulique Guir Ziz Rheris (ABHGZR) estime une perte annuelle d'1Mm<sup>3</sup> de la retenue du barrage par le problème d'envasement (ABHGZR, 2017 in Ouiaboub, 2021).

En absence des aménagements de prévention et de protection contre l'érosion, ce risque d'envasement peut s'amplifier et limiter la capacité de stockage du barrage. La diminution de la retenue affecte la durée de l'exploitation de l'ouvrage et la durabilité des projets d'irrigation lancés à son aval, selon le chiffre indiqué des pertes annuelles, les 30 Mm<sup>3</sup> des eaux destinées à l'irrigation sera envasée dans les 30 années prochaines.

La préservation du barrage contre ce fléau, et sa durabilité, passent par la lutte contre le phénomène de l'érosion en amont. Toutefois, la grande superficie de l'impluvium drainé (1832km<sup>2</sup>) et le coût de l'aménagement de toute la superficie s'avère coûteuse. La priorisation des zones d'interventions et le choix de techniques convenables de lutttes contre l'érosion, de conservation des terrains et la correction des zones impactées doivent être fondée sur des études d'évaluation et de spatialisation du risque potentiel d'érosion.

L'objectif de ce travail est de fournir une cartographie de l'état de l'érosion potentiel, la spatialisation et la quantification des superficies selon le degré de leur vulnérabilité. La finalité est de produire un document d'appui à la prise de décision d'orienter les priorités d'intervention et d'aménagement du bassin versant du haut Guir en amont du barrage Kadoussa contre l'érosion et l'envasement. Cette cartographie constituera un outil indispensable, pratique peu coûteux et transposable aux contextes similaires.

### 3. Méthodologie, matériel et méthode

La prévention de l'envasement consiste à identifier les zones les plus susceptibles à l'érosion et potentiellement pourvoyeuse de sédiments, zones prioritaires à l'aménagement et aux interventions conservatrices, préventives et correctives (Bassairate et al., 2021 ; Faleh & Maktite, 2014 ; Mouden, 2017 ; Sadkaoui et al, 2023 ; Tadrist et al., 2016). La spatialisation et l'évaluation de la sensibilité à l'érosion de ces zones repose sur plusieurs méthodes cartographiques qualitatives et quantitatives, parmi les plus adoptées dans la littérature géographique, la méthode du Programme d'Actions Prioritaires Au Centre d'Activités Régionales (PAP/CAR) (PAP/CAR, 1998 in Hmamouchi et al., 2020 ), la méthode Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier et Smith, 1978 in El Aroussi et al., 2013) ; la méthode Universelle des Pertes en sol Révisée RUSLE, (Renard et al., 1991 in Amhani & Tribak, 2021) et la Méthode d'Erosion Potentiel EPM (Gravilovic et al., 2006 in Zahnoun & Al Karkouri, 2020 ; Limam et al., 2024).

Pour effectuer ce travail, on s'est référé à l'approche PAP/CAR. La méthode a été adoptée en 1988 par le Programme d'Actions Prioritaires Au Centre d'Activités Régionales PAP/CAR du Plan d'action pour la Méditerranée du Programme des Nations unies pour l'environnement PNUE, en collaboration avec la direction générale de la conservation de la nature (DGCONA) du ministère espagnol de l'environnement et la Division de la mise en valeur des terres et des eaux de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (Ousmana et al., 2017 ; Ziadi et al., 2003). Elle est adoptée au Maroc par plusieurs études, parmi eux, celles de (Bouiss et al., 2024 ; El Moutkine et al., 2024 ; Faleh & Maktite, 2014 ; Fartas et al., 2021 ; Laaoudi et al., 2024 ; Tahouri et al., 2021 ; Ziadi et al., 2003).

Elle s'agit d'une méthode qualitative de classification des zones potentielles à l'érodabilité à travers le croisement des facteurs naturels déclencheurs de l'érosion (PAP/CAR, 1998 in Ziadi et al., 2003), la lithologie, la pente et le couvert végétal. La lithologie détermine le degré de résistance ou de susceptibilité au détachement des particules. Le degré de pente est le paramètre qui favorise la compétence de

l'écoulement ainsi que l'évacuation des particules détachées. Le type et la densité du couvert végétal déterminent le degré de protection des terrains, qui seront de plus en plus érodables en absence de cette protection. La validation des résultats de ces croisements est confirmée par la répartition spatiale des différentes formes d'érosion représentant chacune l'état témoin du degré d'avancement de l'érosion et par conséquent le degré de fourniture des matériaux d'envasement.

Les données utilisées dans cette étude sont issues de la carte géologique du Maroc, 1/200000, feuille de Rich-Boudenib (Choubert et al., 1956), le modèle numérique de terrain (MNT), provenant d'images radar Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflexion Radiometre Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) de 30m de résolution, (téléchargé à partir du site web Earth explorer : <https://earthexplorer.usgs.gov>) ; les images de Sentinel 2, 2018, les images de Google Earth 2025. L'utilisation des outils de télédétection et du SIG nous a permis le traitement de ces données, la réalisation des cartes thématiques et leur superposition pour calculer les superficies occupées par chaque classe pour les différents facteurs étudiés.

La méthode adoptée (PAP/CAR, 1998 in Ziadi et al., 2003) est répartie sur trois phases ; prédictive, descriptive et intégrative, organisées en neuf étapes élaborant chacune une carte thématique (Figure 3).

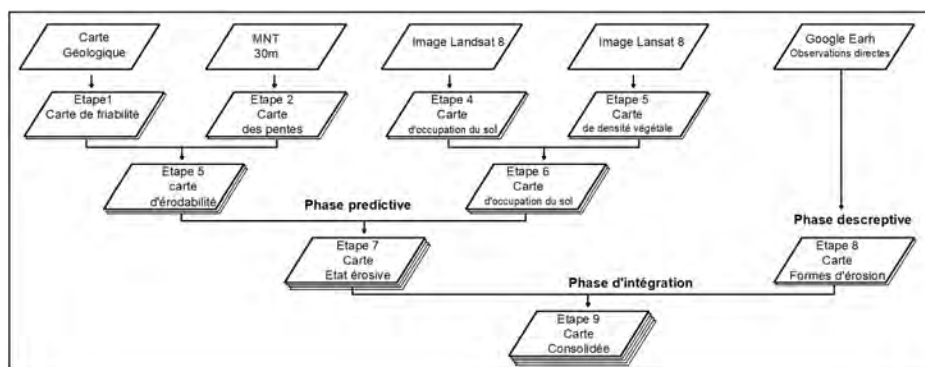


Fig. 3. Schéma illustrant les phases et les étapes de la méthode PAP/CAR.

Source : PAP/CAR, 1998 in Ousmana et al., 2021.

**La phase prédictive** à finalité de produire une carte d'état érosive, elle passe par sept étapes.

- Etape 1 : production de la carte des classes de friabilité lithologique, élaborée à partir de la classification du degré de la résistance (du plus friable au plus résistant) de la lithologie tirée de la carte géologique du Maroc 1/200000, feuille de Nord Ksarsouk – Boudenib.
- Etape 2 : élaboration de la carte des classes de pentes, synthétisée par SIG à l'aide du modèle numérique de terrain (MNT) à partir des images Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) de 30 mètres de résolution.

- Etape 3 : établissement d'une carte du degré d'érodibilité, elle part du constat que l'érosion dépend de la combinaison de la prédisposition d'un substrat à fournir du matériel meuble, mobilisable par l'érosion et une pente favorisant son déplacement, ainsi elle est élaborée par croisement des cartes des classes de degré de friabilité et la carte des classes de pentes.
- Etape 4 : élaboration de la carte d'occupation du sol identifiant soit le type de couvert végétal (matorral claire ou dense, forêt, reboisement...soit le type de culture (arboriculture, culture sèche, culture intensive ...), élaborée à l'aide d'un logiciel de télédétection, de l'imagerie Sentinel-2A, prise le 12/09/2024 à haute résolution spatiale, a servi à une classification supervisée, ainsi qu'à des travaux de terrain afin d'établir la carte d'occupation du sol de la zone.
- Etape 5 : production de la carte de la densité de recouvrement, réalisée en se basant sur l'indice de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est en traduisant chaque intervalle de NDVI par une classe de densité du couvert végétal.
- Etape 6 : élaboration de la carte de protection des sols, réalisée à partir de la superposition et le croisement de la carte d'occupation des sols et celle des classes de densités de recouvrement par le couvert végétal.
- Etape 7 : production de la carte des états érosifs, obtenue par superposition et croisement de la carte des classes du degré d'érodibilité et de la carte des classes du degré de protection des sols.

**La phase descriptive**, constitue l'étape 8, une phase de validation sur le terrain des classes d'état érosive par cartographie descriptive des formes d'érosion réelles. Elle est élaborée à partir des sorties de terrain et par appui de l'imagerie Google earth 2025. Cette étape permet de consolider ou de rectifier l'étape de diagnostic prédictif.

**La phase d'intégration** constitue l'étape 9 de la méthode et consiste à une superposition de la carte des classes d'état érosive et de la carte des formes d'érosion réelles. C'est à la fois une combinaison consolidée de la prédiction modélisable et de la réalité descriptive du terrain.

## 4. Résultats

### 4.1. Etat d'érodabilité des terrains en amont du barrage Kadoussa

#### 4.1.1. Répartition des classes de degré de friabilité lithologique

Les résultats tirés de la classification du degré de friabilité selon la nature lithologique (pétrographie, cohésion, friabilité) des terrains de l'impluvium du barrage Kadoussa montre la répartition suivante (Tableau 1 et Figure 4).

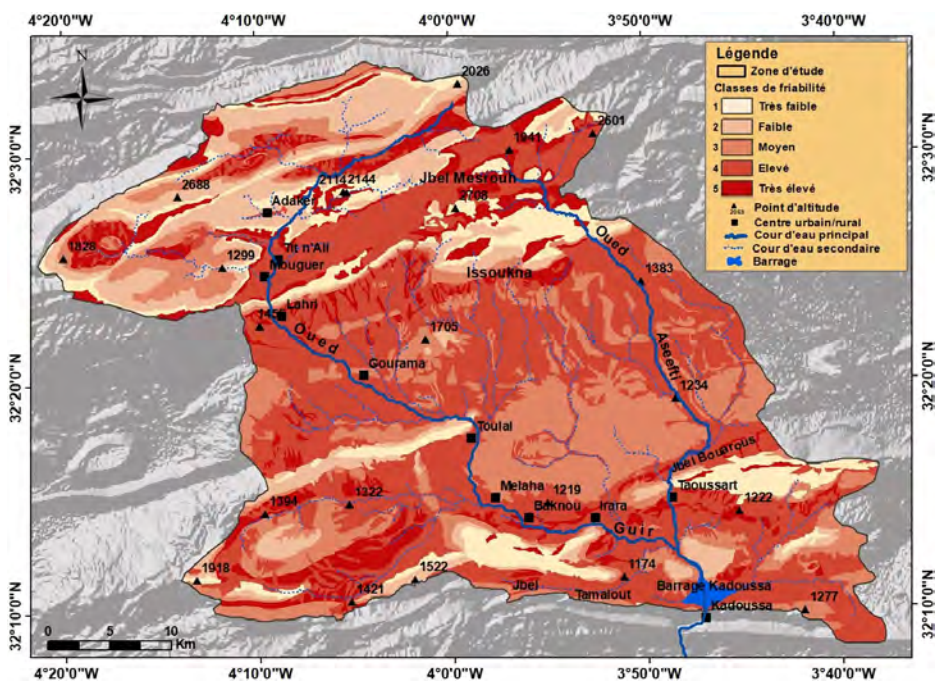
En termes de représentativité et de la répartition spatiale des classes dans le bassin versant du barrage Kadoussa (Figure 4), il s'avère que la classe lithologique à friabilité très forte occupe 11% de la superficie du bassin versant. Cette classe est répartie partout dans le bassin avec une nette concentration dans la partie amont ou

**Tab. 1.** Répartition de la lithologie en fonction de la classe de friabilité dans le haut bassin de Guir en amont du barrage Kadoussa

| Classe | Degré de friabilité | Lithologie   |
|--------|---------------------|--|
| 5      | Très forte          | Marne et Marno-calcaire ; Marne et barres de calcaires litées ; Argile rouge |
| 4      | Forte               | Colluvions et Alluvions ; Schiste  |
| 3      | Moyenne             | Calcaire et Calcaire-marneux   |
| 2      | Faible              | Calcaire à entre-lits marneux ; Calcaire corniche récifale                   |
| 1      | Très faible         | Calcaire massif et Dolomie ; Basalte doléritique                             |

affleurent les argiles du Trias sur les versants de la vallée de Guir et dans la partie médiane, notamment les versant des reliefs résiduels du jurassique moyen où affleures les terrains marneux et dans la partie amont ou affleurent les argiles rouges du trias.

La classe à friabilité forte occupe 43% de la superficie du bassin, elle est représentée par les schistes du primaire qui affleurent essentiellement dans la boutonnière amont du bassin suivant une forme allongée sud-ouest, nord-est ; et par les colluvions et les alluvions détritiques du quaternaire généralisés spatialement partout dans le bassin versant et accumulés essentiellement sur les bas de versants, dans les fonds des dépressions et le long des terrasses emboîtées de l'Oued Guir et ses affluents.



**Fig. 4.** Carte de répartition des classes du degré de friabilité de la lithologie du haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

La classe à friabilité modérée occupe 24% de la superficie du bassin versant. Elle est représentée par les terrains à consistance calcaire et calcaire marneux du lias moyen. Ces terrains se répartissent de façon linéaire et constituent les versants des chaînons de petites montagnes qui séparent les deux dépressions.

La classe à friabilité faible occupe 13% de la superficie et représentée par les terrains calcaires à lits marneux et par les corniches calcaires. Les premiers sont d'âge lias inférieur et se situe spécialement dans versants de la chaîne axiale et aussi sur les versants des petits chaînons. Les seconds sont d'âge Bathonien et forment les parties sommitales résistantes des reliefs résiduels qui tapissent les dépressions du bassin. La classe à friabilité très faible n'occupe que 10% de la superficie du bassin.

Elle correspond aux terrains formés des calcaires massifs et dolomies du lias inférieure et par les basaltes doléritiques massifs du paléozoïque. Les premiers forment l'ossature de la chaîne axiale et des chaînons de la petite montagne. Les seconds sont limités dans la partie amont du bassin aux bordures de jbel Masroh.

#### 4.1.2. Répartition des classes des pentes

La représentativité et la répartition spatiale des classes de pentes, adoptés selon la méthode PAP/Car, en amont du barrage Kadoussa montrent une inégalité de superficies occupées et de situation géographique (Figure 5). La classe des pentes situées entre 0 et 3%, considérée comme pente très faible, et la classe des pentes situées entre 3% et 12%, considérée comme pente faible, occupent respectivement 46% et 33% de la superficie du bassin versant soit environ 79% au total. Spatialement on trouve ces terrains essentiellement dans la partie médiane et aval du bassin versant, ou s'allonge les dépressions à fonds plats, et sur les glacis et les cônes glacis. Dans la partie amont cette classe est restreinte aux quelques surfaces résiduelles du plateau de Zentour à l'extrême nord-ouest et au fond de la vallée de Guir à Mouguer et Tit n'Ali.

Les autres classes (12% – 20%) (20% – 35%) et (35%<) sont considérés respectivement comme moyenne, forte et très fortes pentes. Ils occupent respectivement 13%, 9% et 1% de la superficie du bassin versant soit au total 23%. Spatialement, ces classes s'organisent sous forme de paliers orientés WSW-ENE sur les versants de la chaînes axiales dans la partie amont du bassin versant et des chaînons de la petite montagne, et des butes témoins isolées dans la partie médiane et avale.

#### 4.1.3. Répartition des classes d'érodabilité des terrains

L'érodabilité exprime le degré de susceptibilité du terrain à être érodé et elle est obtenue de la conjugaison du degré de la friabilité lithologique et le degré de pente (Tableau 2).

Les résultats exprimés en carte des classes d'érodabilité (Figure 6), dévoile la représentativité de chaque classe d'érodabilité en pourcentage de la superficie du bassin, ainsi que leurs répartitions spatiales. Les constats tirés de cette représentation montrent que les classes d'érodabilité très faible et faible occupe la majorité de la superficie du bassin versant, environ 73%, et occupent chacune respectivement 52% et 21%. Sur le plan spatiale, les deux classes se répartissent largement partout dans le bassin versant.

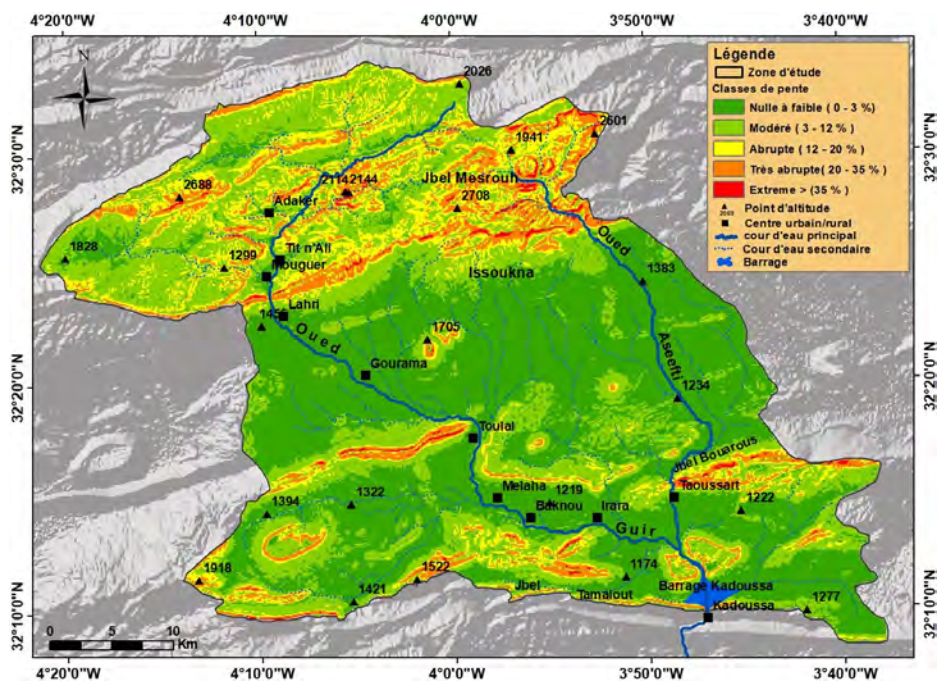


Fig. 5. Carte de répartition des classes de pentes du haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

Les classes des terrains à érodabilité moyenne, forte et très forte n’occupent que 27% de la superficie du bassin versant en amont du barrage Kadoussa, il correspond chacun d’entre eux respectivement à 18%, 6% et 3%. Sur le plan spatiale ces classes se concentre nettement dans la partie amont du bassin versant le long des chaînes principales de la haute montagne qui s’organise parallèlement selon la direction WSW-ENE, avec une nette concentration dans le massif de jbel Mesrouh. Vers la partie aval, ces classes se rencontrent dans les chaînons de jbel Boutchrafine, jbel Bouarous, jbel Mdour et, plus vers le sud, dans jbel Tamalout et jbel Kadoussa.

Tab. 2. Matrice des classes de pentes et des classes de degré de friabilité de la lithologie

| Classes de pentes | Classe de degré de friabilité de la lithologie |       |       |       |       |
|-------------------|--|-------|-------|-------|-------|
|                   | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1                 | 1(EN)  | 1(EN) | 1(EN) | 1(EN) | 2(EB) |
| 2                 | 1(EN)  | 1(EN) | 2(EB) | 3(EM) | 3(EM) |
| 3                 | 2(EB)  | 2(EB) | 3(EM) | 4(EA) | 4(EA) |
| 4                 | 3(EM)  | 4(EA) | 4(EA) | 5(EX) | 5(EX) |
| 5                 | 4(EA)  | 4(EA) | 5(EX) | 5(EX) | 5(EX) |

Légende : Très élevé (EX), Élevé (EA), Moyenne (EM), Faible (EB) et Très faible (EN).

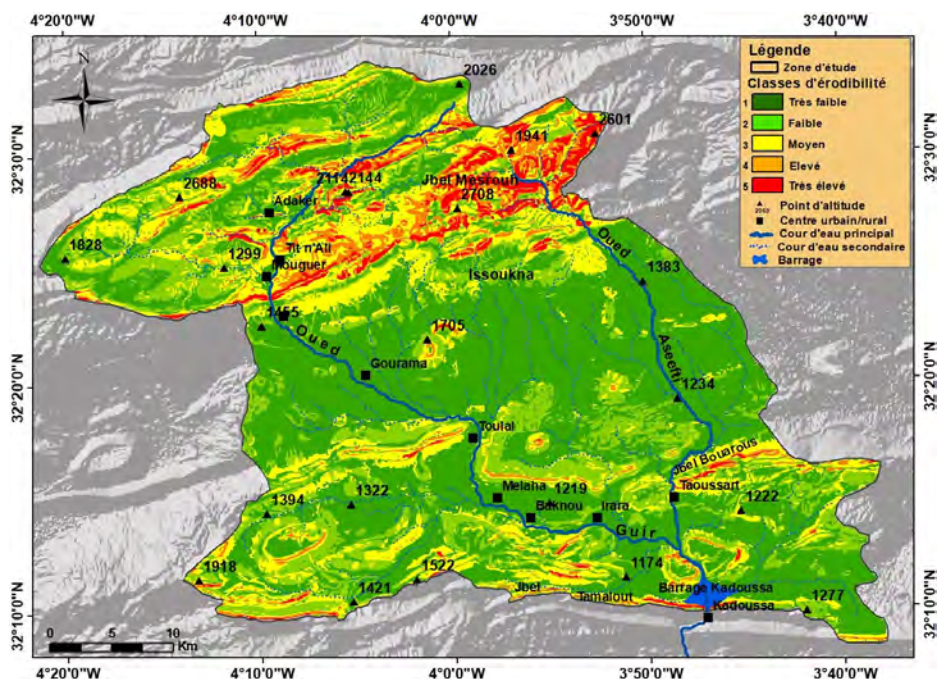


Fig. 6. Carte de répartition des classes de l'érodabilité des terrains du bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

## 4.2. Etat de la protection du sol en amont du barrage Kadoussa

### 4.2.1. Formes d'occupation du sol

Les formes d'occupation du sol en amont du barrage Kadoussa se caractérise par une généralisation, sur plus de 99% de la superficie totale, des terrains nus de pâturage occupé par une végétation de xérophytes éparses annuelles (Figure7) et par du matorale formé de quelques arbustes épars de jujubier *Ziziphus spina-christi*. Les zones arborées restreintes à la culture d'olive situés essentiellement dans les périmètres irrigués traditionnel le long de l'Oued Guir, associés à la végétation naturelle développée près des cours d'eau sous forme de cordons de ripisylve des berges ou de quelques coussinets isolés sur les plaines alluviale ou les talwegs des affluents, elle ne représente qu'environ 1% de la superficie totale, actuellement certaines extensions agricoles modernes se prolifèrent de plus en plus grâce aux subventions de l'état .

### 4.2.2. Répartition des classes de la densité du couvert végétal

La répartition des classes de densité du couvert végétal en amont du barrage Kadoussa montre une dominance des très faibles et faibles densités (88% environ de la superficie ; Figure8). Les classes à moyenne et à forte densité sont localisés spatialement au niveau des périmètres agricoles irrigués le long de la plaine alluviale de l'Oued Guir et ponctuellement de ses affluents et occupent environ 12%.

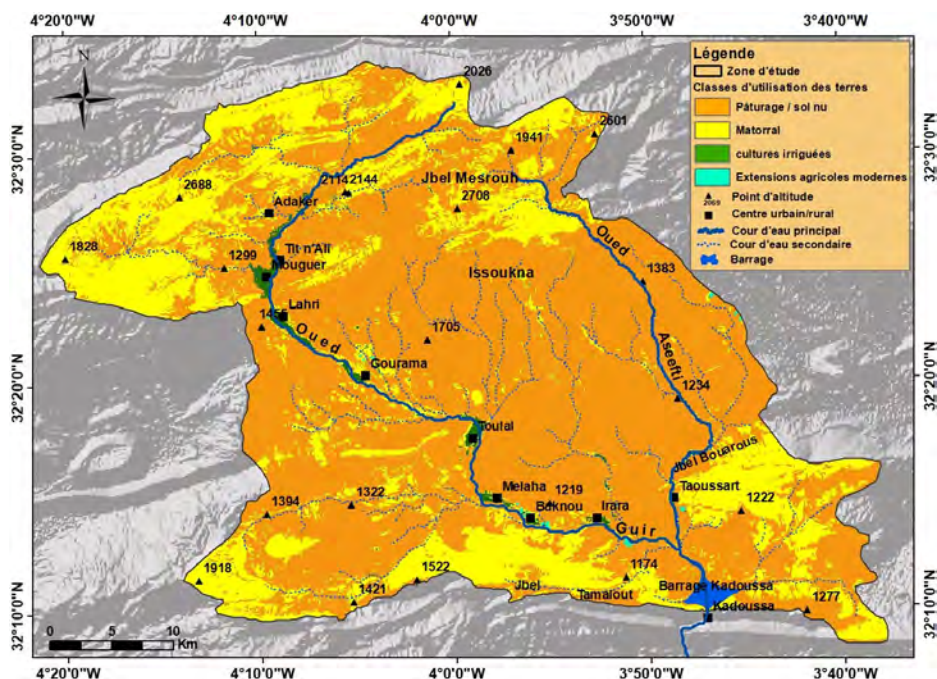


Fig. 7. Carte de répartition des classes de l'occupation du sol au haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

#### 4.2.3. Répartition des classes du degré de protection du sol

Le croisement des répartitions des classes d'occupation du sol et de la densité détermine la répartition en pourcentage (Tableau 3) ont permis de spatialiser les classes de degré de protection du sol (Figure9).

Tab. 3. Matrice des classes d'occupation du sol et des classes de densité du couvert végétal

| Occupation du sol | Degré de couvert végétal |       |       |       |
|-------------------|--------------------------|-------|-------|-------|
|                   | 1                        | 2     | 3     | 4     |
| 1                 | 5(MB)                    | 5(MB) | 4(B)  | 4(B)  |
| 2                 | 5(MB)                    | 5(MB) | 4(B)  | 3(M)  |
| 3                 | 3(M)                     | 2(A)  | 1(MA) | 1(MA) |
| 4                 | 4(B)                     | 3(M)  | 2(A)  | 1(MA) |
| 5                 | 5(MB)                    | 4(B)  | 3(M)  | 2(A)  |

Légende : Très élevé (MA), Élevé (A), Moyenne (M), Faible (B) et Très faible (MB).

Les constats tirés de ces résultats dévoilent une très faible protection des terrains en amont du barrage Kadoussa. Seulement 1% de la superficie présente des terrains à une protection très élevée ou élevée : ils correspondent essentiellement aux plaines alluviales de l'Oued Guir aménagées et plantées pas des petits périmètres d'oasis traditionnels irriguées. Le reste de la superficie du bassin est occupés par des terrains

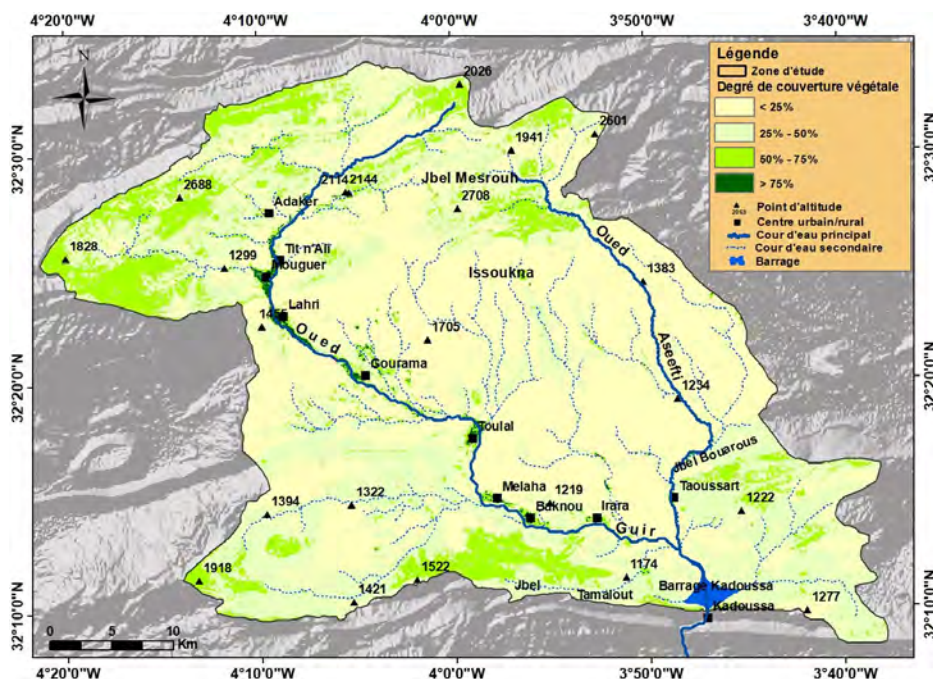


Fig. 8. Carte de la répartition des classes de la densité du couvert végétal du haut bassin versant de Guir en amont du Barrage Kadoussa.

à très faible et faible protection ; ils s'agissent de larges terrains dénudés des versants et des interfluves du Guir.

### 4.3. Etat d'érosivité des terrains en amont du barrage Kadoussa

La carte de l'état érosif potentiel est établie par la superposition et le croisement des classes de degré d'érodibilité avec ceux du degré de protection végétal du sol (Tableau 4).

Tab. 4. Matrice des classes de degré de protection des sols et des classes de degré d'érodibilité

| Degré de protection des sols | Degré d'érodibilité |       |       |       |       |
|------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 1(EN)               | 2(EB) | 3(EM) | 4(EA) | 5(EX) |
| 1(MA)                        | 1                   | 1     | 1     | 2     | 2     |
| 2(A)                         | 1                   | 1     | 2     | 3     | 4     |
| 3(M)                         | 1                   | 2     | 3     | 4     | 4     |
| 4(B)                         | 2                   | 3     | 3     | 5     | 5     |
| 5(MB)                        | 2                   | 3     | 4     | 5     | 5     |

Légende : Très élevé (EX), Élevé (EA), Moyenne (EM), Faible (EB) et Très faible (EN).

Le résultat obtenu (Figure 10) laisse apparaître la répartition spatiale et le pourcentage d'occupation en surface des cinq classes représentant le degré potentiel

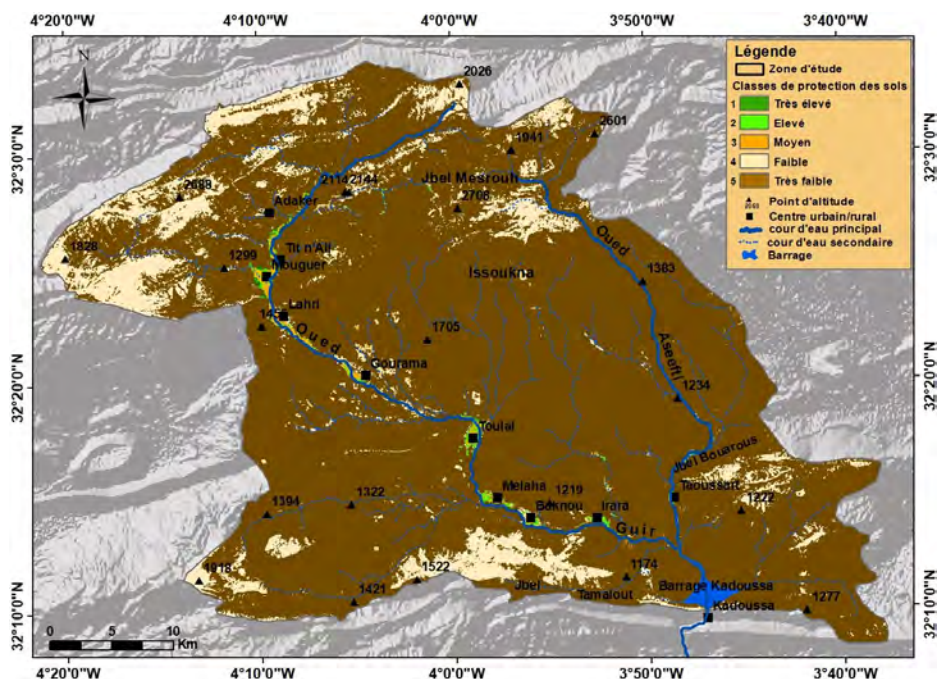


Fig. 9. Carte de la répartition des classes de la protection des sols au haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

d'érosion. De point de vue de l'occupation en superficie, les pourcentages obtenus témoignent la vulnérabilité des terrains à l'érodibilité. Les classes des terrains à très forte, forte et moyenne susceptibilité à l'érosion occupent respectivement 9%, 3% et 36% soit en somme 48% de la superficie totale. Les classes des terrains à faible et très faible susceptibilité à l'érosion occupent respectivement 51% et 1%, soit ensemble 52% de la superficie du bassin versant en amont du barrage. De point de vue de la répartition spatiale des cinq classes, il apparait une nette concentration des premiers dans la partie amont aux versants de la chaîne axiale notamment le massif de Mesrouh. Ils correspondent aux terrains où la pente est forte, le terrain est de faible résistance et à faible protection végétale. Les classes des terrains à faible et très faible susceptibilité à l'érosion se concentrent essentiellement dans la partie moyenne et aval du bassin versant. Elles se montrent organisés le long des deux dépressions et aussi au fond des vallées étroites de la partie amont. Ces terrains correspondent en gros aux terrains plats mais plus précisément recouverts de végétations anthropique.

#### 4.4. Typologie et spatialisation des formes d'érosion en amont du barrage Kadoussa

L'approche descriptive réalisée en une seule étape, la 8<sup>ème</sup> de la méthode PAP/-CAR, donne une image réelle des différents types de formes d'érosion existant dans la zone d'étude ainsi que leur répartition spatiale comme elles sont identifiées sur les images Google earth et approuvées par les visites de terrain. Chaque type de forme

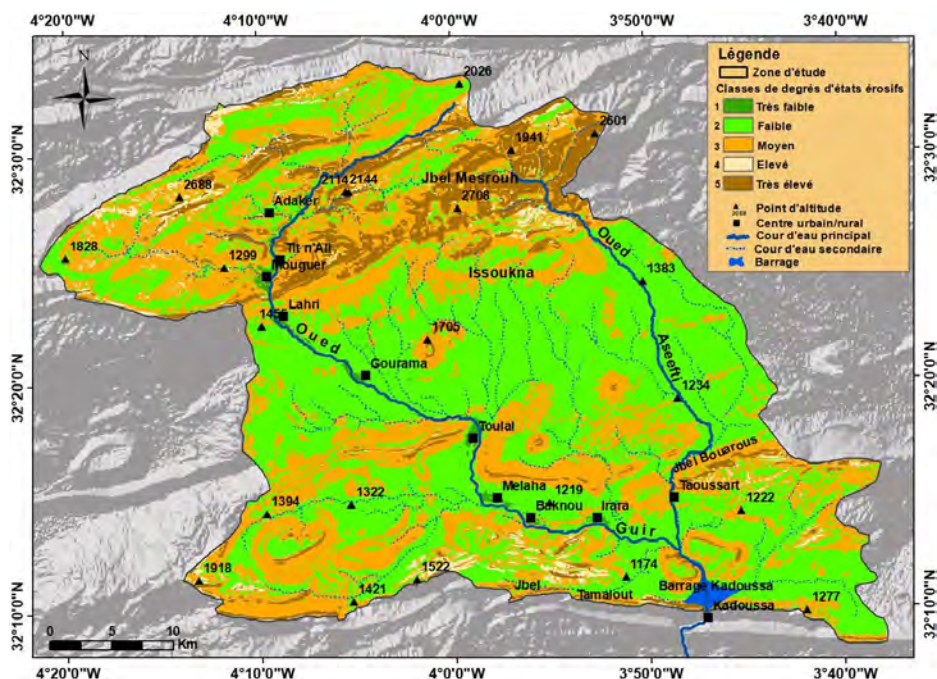


Fig. 10. Carte de la répartition des classes de l'état de l'érosion potentiel au haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

témoigne le degré de dégradation par l'érosion et par conséquent donne une idée sur l'ampleur de la fourniture sédimentaire.

Les résultats obtenus dévoilent quatre types de formes d'érosion dans le bassin d'étude. Les formes les moins prononcées correspondent au décapage aréolaire dit aussi en nappe, qui se transforme avec l'accentuation de l'érosion en griffes et rigoles. Par endroit l'accentuation atteint le stade de ravine, pour atteindre l'état de *bad land* comme forme extrême de l'érosion généralisée dans de rares aires. Deux types de formes ou plus peuvent jouer successivement ou conjointement dans le temps, sur une même surface, dans ce cas, la répartition spatiale établie, admet une représentation de la forme et ainsi le processus le plus avancé.

La répartition spatiale des formes observées dans le haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa (Figure 11 et Tableau 5) montre des terrains peu affectés par l'érosion dans la majorité de la partie amont du bassin, sur l'ossature des chaînons de la petite montagne et sur les corniches qui couvrent les butes résiduelles aux centres des dépressions.

Les terrains affectés par l'érosion en nappe ou aréolaire occupent la majorité du bassin versant, ils sont relativement généralisés aux fonds des deux dépressions allongées E-W du bassin ; cette forme généralisée constitue le stade initial de l'érosion qui décape les particules superficielles les plus fines, les sables fins, les limons et les argiles facilement transportés sous forme de charge en suspension, les plus facile au transport pour de longues distances et qui finissent décantés dans la retenue du barrage.

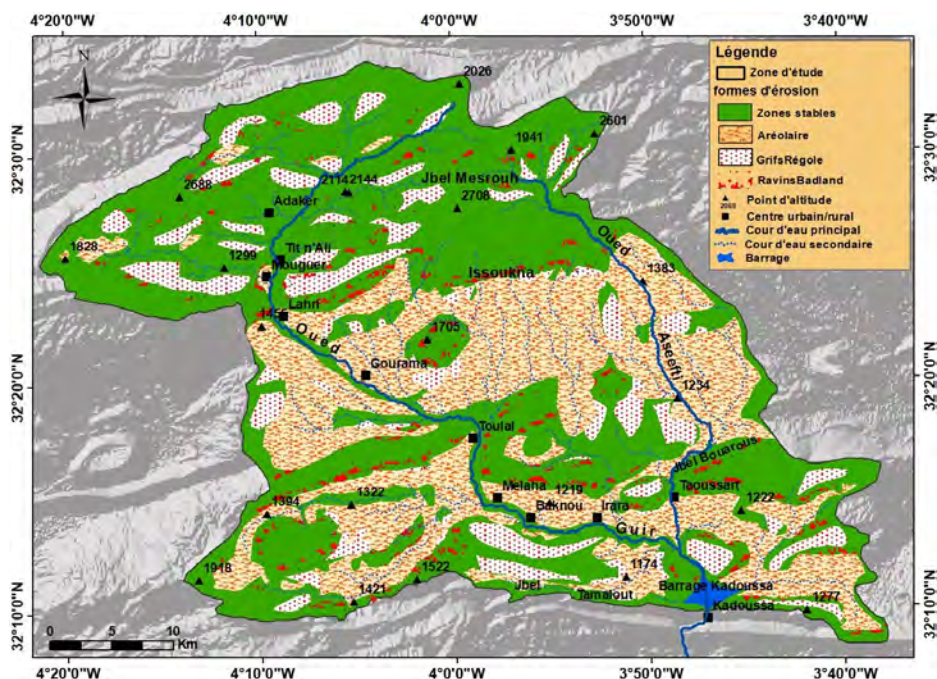


Fig. 11. Carte de la répartition des formes de l'érosion au haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa.

Les autres formes avancées telles que les griffes, les rigoles et les ravines très peu profondes, se localisent notamment sur les versants marneux, sur les glacis et les cônes glacis au piedmont de la chaîne axiale, de certains piedmonts des versants de la petite montagne. Les ravinements généralisés évolués en bad-lands sont très peu représentés dans le bassin versant ; ils sont limités ponctuellement sur les versants argileux et marneux et forment les têtes des torrents


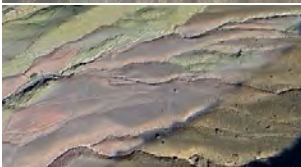

L'écoulement concentré responsable de ces formes avancées est capable de détacher et de charrier sur les versants les particules les plus grossières formées de sables, graviers, cailloux et quelques blocs tapissant les fonds des lits et transportés lentement par les crues en charriage vers la retenue du barrage.

#### 4.5. L'intégration prédictive et descriptive de l'érosion

La phase d'intégration, la dernière étape de la méthode, permet de confronter et consolider les résultats obtenus lors de la phase prédictive par les données descriptives tirées de la réalité du terrain (Figure 12). Elle reflète à la fois le potentiel d'érosion et les formes qui lui sont associées et par conséquent l'interprétation du processus en origine.

Les résultats obtenus de cette confrontation montrent une coïncidence des zones à forte état érosive, dans la totalité des cas, avec les formes avancées de l'érosion, ravins et ravinement généralisé. Cette combinaison est observée sur les versants de Mesrouh et des autres versants de la chaîne axiale, et sur les versants des chaînons de la petite montagne. Ces terrains correspondent aux zones les plus vulnérables

**Tab. 5.** Exemples d'état et formes d'érosion correspondant au haut bassin versant de Guir en amont du barrage Kadoussa

| État d'érosion       | Forme d'érosion sur Image Google Earth (2025)                                     | Situation et description  |
|----------------------|---|---|
| Très faible à faible |  | Érosion en nappe aréolaire sur les formations détritiques colluviales et alluviales d'un glacis au piedmont du jbel Boubhaaban, au nord de la dépression de Gourrama. |
| Moyen                |  | Érosion en griffes, rigoles et ravines sur les argiles des versants nord du jbel Bouchaabane.   |
| Fort                 |  | Érosion en ravins profonds et généralisés sur les versants marneux du jbel Mdaouar, à l'ouest de Toulal.  |

des versants, où la lithologie marneuse friable non protégée est facilement érodée par l'écoulement concentré des chevelures hydrographiques et les torrents favorisés notamment à cause de la présence des classes de pentes fortes.

Les zones à érosion potentiellement modérée sont marquées sur le terrain par les formes linéaires griffes et rigoles longitudinaux. Elles correspondent notamment aux glacis et les cônes glacis ou les formations superficielles détritiques alluviales et colluviales sont facilement incisées par le ruissellement concentré favorisé par les pentes relativement modérées au piedmont des versants.

Les zones où le potentiel d'érosion est faible coïncident avec les terrains où est observée l'érosion aréolaire en nappe. Ces terrains correspondent notamment aux parties planes aux fonds des larges dépressions. Le processus d'érosion ici est lié au ruissèlement diffus, aréolaire et en nappe.

Les zones restantes où l'érosion est relativement très lente et peu perceptible correspondent aux affleurements rocheux calcaires et dolomies massives ainsi que le basalte doléritiques ; ces affleurements se situent majoritairement dans la zone axiale de la chaîne et au cœur des anticlinaux faillés étroits, et constituent l'ossature des chaînons des petites montagnes.

## 5. Discussion

L'envasement des barrages provient de la production de la charge solide au niveau du bassin versant et de son transport vers les retenues par les cours d'eau (Azzoui & Essoussi, 2021, Bassairate et al., 2021 ; Boumaza, 2023 ; Faleh & Maktite, 2014 ; Lahlou, 1994 ; Mouden, 2017 ; Tadrict et al., 2016). Ainsi, il s'avère que la lutte

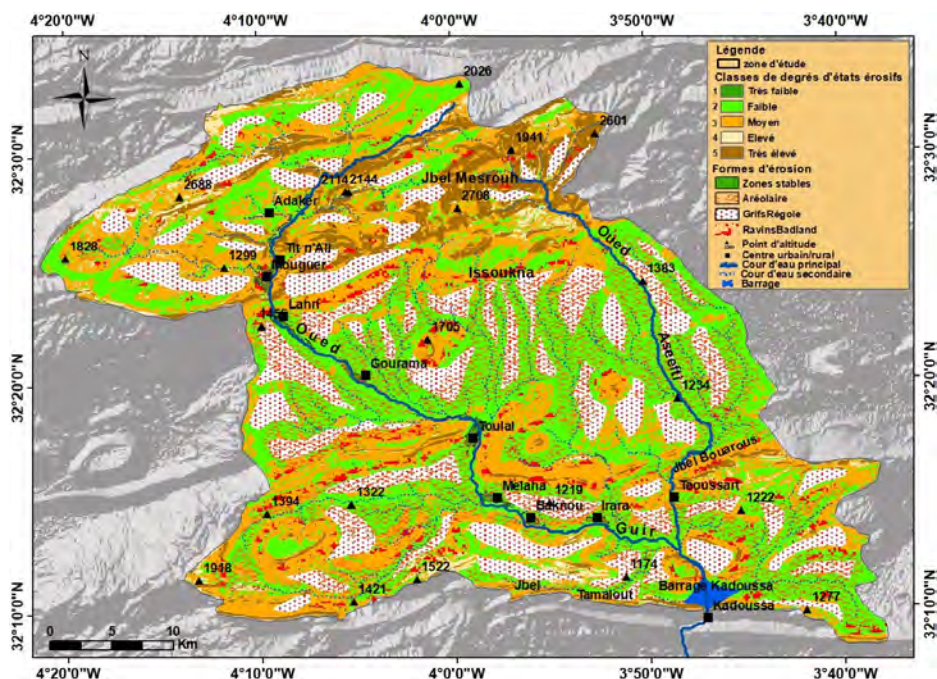


Fig. 12. Carte intégrée de la répartition des classes de l'état d'érosion potentiel et des formes de l'érosion au haut bassin versant de Guir en amont du Barrage Kadoussa.

contre l'envasement du barrage Kadoussa passe par la diminution des apports solides qui atteint sa retenue, soit par réduction de leur production primaire au niveau des versants et des interfluves, soit par l'interruption de leur transit dans le réseau hydrographique.

Les résultats tirés de l'évaluation qualitative de l'érosion et la production potentiel de la charge solide, par méthode (PAP/CAR) en amont du barrage, révèle une forte vulnérabilité du bassin versant à l'érosion ; 48% de la surface du bassin versant est soumise à une érosion moyenne, forte à très forte. Les trois facteurs intégrés dans l'étude, la lithologie, les pentes et le couvert végétal interviennent et réagissent avec des degrés différents dans la production de la charge solide, comme le montre la répartition des classes de chaque facteur. La retenue du barrage Kadoussa est ainsi exposée au risque d'envasement important, par conséquent et pour comme les autres barrages, il peut limiter drastiquement sa capacité et donc la durée de son exploitation (Lahlou, 1994 ; Mouden, 2017 ; Tadrist et al., 2016).

D'une part, la lutte contre l'envasement du barrage par réduction de la production de la charge solide passe par la réduction de l'incidence des facteurs déclencheurs (la lithologie, la pente et le couvert végétal). La lithologie du bassin versant est essentiellement détritique (formations superficielles, marnes et argiles) ce qui influence sur le degré de friabilité et de la production de la charge solide, notamment celle fine transportée en suspensions ou en charriage dans les cours d'eau. Toutefois, ce facteur lithologique est une donnée physique structurelle qui est invariable à l'échelle de l'intervention humaine.

Le couvert végétal dans le bassin versant montre un caractère clairsemé, ce qui réduit le degré de protection significative de la surface des terrains contre le détachement par splash (l'énergie des gouttes de pluie) ou par ruissellement. Dans la lutte contre l'érosion, intervenir et développer le couvert végétal par reboisement peut augmenter la protection de la surface (Bassairate et al., 2021 ; Rey et al., 2004), néanmoins, les conditions climatiques semi arides à arides de la zone d'étude (Ouiaboub, 2021) ne favorisent pas l'appel à ce choix de protection. Les pentes fortes favorisent la vitesse de ruissellement et par conséquent accentuent le pouvoir d'arrachage et la compétence du balayage et du transport des particules (Faleh & Maktite, 2014 ; Tribak, 2000). Ce facteur à l'échelle de bassin versant montre une généralisation des classes à pentes moyennes, fortes et très fortes (22% de la surface totale du bassin). Dans la littérature géographique marocaine, la correction des pentes par les aménagements structurels, gabions, banquettes et terrasses artificielles est largement discutée et adoptée notamment au haut atlas et au prérif (Al Karkouri, 2003 ; Faleh et Maktite, 2014 ; Roosé et al., 2012 ; Tribak, 2002). Néanmoins, le caractère étendu des terrains accidentés à fortes pentes et le pourcentage élevé qu'ils occupent en termes de surface du bassin versant rend cette intervention couteuse et peu praticable en amont du barrage Kadoussa.

Les zones les plus susceptibles, où se croisent les classes de pentes fortes, les classes lithologiques à friabilité élevée et à faibles protections végétales, s'imposent par contre comme des zones prioritaires à l'intervention et l'aménagement. Les aménagements proposés consistent essentiellement à la rupture des pentes au niveau des torrents et des ravins les plus développés à travers l'installation des aménagements de correction des ravins, des cordons de pierres, des banquettes ou de petites terrasses qui serviront pour le piégeage des particules grossières. D'autre part, les particules détachées sont acheminées depuis les versants et les interfluves à travers les chevelures élémentaires et les principales artères hydrographiques denses ( $0,72\text{km}/\text{km}^2$ ) du bassin versant (Ouiaboub, 2021). Ces matériaux transportés par suspension ou par charriage finissent dans le collecteur principal du Guir qui les déverse dans la retenue du barrage Kadoussa. Ainsi, la rupture du transit des matériaux dans les cours principaux vers la retenue permettra de diminuer les taux de la charge accumulée dans le barrage. Dans ce cadre, la construction de deux barrages collinaires sur les deux principaux artères Oued Guir et Oued Asefti s'impose comme mesure ponctuelle, ciblée et efficace qui éliminera, par décantation des particules en suspension et le piégeage des particules grossières en charriage, l'arrivée d'une grande partie des vases vers la retenue du barrage Kadoussa et peut réduire le chiffre estimé de  $1\text{Mm}^3/\text{an}$  de perte de cette retenue.

## 6. Conclusion

La présente étude a pour objectif d'évaluer et spatialiser l'érosion potentiel en amont du barrage Kadoussa, une étape cruciale d'appui à la prévention contre l'invasement et la préservation de la retenue du barrage. La méthodologie adoptée se réfère aux directives de la méthode PAP/CAR ; une méthode d'évaluation et de cartographie simple, peu couteuse et largement utilisée pour déterminer les zones vulnérables

potentiellement productrices des sédiments et pour la priorisation des interventions de leur aménagement et stabilisation.

Les résultats obtenus montrent que le haut bassin versant de Guir, impluvium du barrage Kadoussa, est exposé à une érosion active et apparente avec des formes d'érosion diversifiées, du simple décapage aréolaire aux rigoles, griffes et ravins profonds généralisés. La spatialisation des classes d'érosion potentiel montre que 48% de la superficie du bassin présente une érodibilité très forte, forte à moyenne et que les 52% restante de la superficie montre des terrains à érodibilité faible à très faible. L'analyse des facteurs régissant le déclenchement de l'érosion sont particulièrement la lithologie détritique, la forte pente des terrains dénudés à couvert végétale très peu évolué.

Les constats tirés de l'étude montrent que la préservation de l'envasement passe par une lutte contre le détachement et le transport des particules vers le réceptacle du barrage. Toutefois, l'aspect généralisé du phénomène entrave les interventions couteuses. Une priorisation et ponctualisation des interventions est recommandé au niveau des ravins de têtes des torrents au niveau des versants de la chaîne axiale, et des versants des petites montagnes. La rupture du transit des sédiments vers la retenue du barrage s'impose comme choix déterminant, efficace et praticable ; la construction de deux barrages collinaires ou de seuils sur les deux artères du bassin Oued Guir et Oued Asefti est une mesure déterminante dans la protection de la retenue du barrage par rupture de la transition de la charge solide notamment en charriage. Les résultats tirés de cette étude sont peu couteux et facilement transposables à l'étude de l'érosion sur les roches mères et servir pour la détermination des zones productrices de sédiments, le choix et l'orientation des aménagements de luttes contre l'envasement des retenues de barrages dans des conditions similaires.

## Références bibliographiques

- Abdellaoui, B., Merzouk, A., Aberkan, M., & Albergel, J. (2002). Bilan hydrologique et envasement du barrage Saboun (Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 15(4), 737-748.
- Al Karkouri, J. (2003). *Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif central-Maroc) : analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale* [thèse de doct., Université Mohamed V, Faculté des Lettres, Rabat].
- Amhani, Z., & Tribak, A. (2021). Cartographie de l'utilisation des sols et de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Lahdar (Pré-oriental-Maroc) : Utilisation des données de la télédétection et du modèle RUSLE. *Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia*, (171), 4-20.
- Ayt Hssain, A. (1983). *La dépression de Gourrama et ses bordures (Haut Atlas oriental Maroc) : Étude géomorphologique* [thèse de doct., Université de Toulouse le Mirail].
- Ayt Hssaine, A. (2010). Éléments sur l'hydrologie de la partie atlasique de l'oued Guir (Maroc sud-oriental) et sur l'inondation catastrophique du 10 octobre 2008. *Physio-Géo*, 8, 337-354.
- Azzioui, S., & Essoussi, B. (2021). Envasement du barrage Yacoub El Mansour (Ouirgane – Haut Atlas–Maroc) : Ampleur et dynamique. *Revue Marocaine de Géomorphologie*, 5, 25-35.

- Bassairate, O., Chikhaoui, M., Naimi, M., & Sabir, M. (2021). Effets de la dynamique de la végétation sur l'envasement et la disponibilité de l'eau dans le barrage Makhazine (Maroc). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(4), 553-561.
- Bouiss, C. E., El Assaoui, N., Sadok, A., & Abbach, J. (2024). Modeling and Mapping Water Erosion Risk via GIS, Remote Sensing, and the PAP/RAC Model — Case of Tamdrost Watershed, Morocco. *Iraqi Geological Journal*, 57(2A), 32-46.
- Boumaza, T. (2023). Problème d'envasement des barrages : quels apports de la télédétection dans l'étude et le suivie : cas du barrage Mohamed V sur la Moulouya, Maroc oriental.
- Choubert, G., Dubar, G., & Hindermeyer, J. (1956). Carte géologique du Haut Atlas au nord de Ksar es Souk et de Boudenib au 1/200000 : Feuilles de Rich et Boudenib [Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, n° 81].
- El Aroussi, O., El Garouani, A., & Jabrane, R. (2013). Modelling and mapping of soil erosion on the Oued El Malleh catchment using remote sensing and GIS. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(2), 302-307.
- El Kochri, A. (1996). *Géométrie et mécanismes de la déformation du Haut Atlas centro-oriental (Maroc)* [thèse de doct., Université Mohamed V, Rabat].
- El Moutkine, K., Tabyaoui, H., El Hammichi, F., El Hassani, F., & Benabdelhadi, M. (2024). Assessing Water Erosion Vulnerability in the Lower Ziz Watershed : Integrating PAP/RAC methodology with Remote Sensing and GIS. *BIO Web of Conferences*, 115, 01002.
- Faleh, A., & Maktite, A. (2014). Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode PAP/CAR et SIG en amont du barrage Allal El Fassi, Moyen Atlas (Maroc). *Papeles de Geografía*, 59-60, 71-82.
- Fartas, N., El Fellah, B., Mastere, M., Benzougagh, B., & El Brahimi, M. (2021). Evaluation of water erosion using the PAP/RAC method in the Prerif of Ouazzane. *Eco. Env. & Cons.*, 27, S339-S350.
- Hmamouchi, M., El-Fengour, A., El-Fengour, M., & Houari, A. (2020). The assessment of erosion in Aoulai watershed (central Rif mountains, Morocco) based on the PAP-RAC guidelines application. *Territorium*, 27.
- Janati Idrissi, A. H. (2010). Situations pluviométriques extrêmes et impacts engendrés au Maroc : Cas de l'année 2008-2009. *Géomaghreb*, (6), 105-119.
- Jouve, A. M. (2006). Les trois temps de l'eau au Maroc. L'eau du ciel, l'eau d'État, l'eau privée. *Confluences Méditerranée*, (58), 51-61.
- Laaouidi, R., Roudani, S., Batchi, M., & Amhani, Z. (2024). PAP/CAR-Based Water Erosion Analysis in the Oued Lakhdar Watershed : A GIS and Remote Sensing Approach. In *Remote Sensing and GIS Techniques in Hydrology* (p. 259-269). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-9651-3.ch010>
- Lahlou, A. (1994). *Envasement des barrages au Maroc*. Edition WALADA.
- Limam, A., El Hairchi, K., Hanchane, M., Elkhazzan, B., & Ouiaboub, L. (2024a). Assessment and mapping of water erosion by integration of the Graviilovic EPM model in the MENA region : case study of the Admer–Ezem sub-watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 97, 40.
- Limam, A., El Hairchi, K., Hanchane, M., & Ouiaboub, L. (2024b). Modeling and mapping the risk of water erosion through the application of GIS and PAP/CAR directives. *Revue Géomatique et Gestion des Territoires*, 1(1), 17-34.
- Mahboub, A., Slimani, M., El Ghazzali, F. Z., & Kamsa, D. (2020). Impact économique et social du nouveau périmètre agricole Meski-Boudnib (Sud-Est Marocain). *En-*

- vironmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence, 4(4), 495-513.
- Merzouki, T. (1992). Diagnostic de l'envasement des grands barrages marocains. *Revue Marocaine du Génie Civil*, 38, 46-50.
- Mesrar, H., Sadiki, A., Navas, A., Faleh, A., Quijano, L., & Chaouan, J. (2015). Modélisation de l'érosion hydrique et des facteurs causaux : cas de l'Oued Sahla, Rif Central, Maroc. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59(4), 495-514.
- Mouden, A. (2017). *Quantification de l'érosion hydrique via l'envasement des barrages*. Presses Académiques Francophones.
- Oufkir, M. A. (2019). *Changements socio-économiques et recompositions territoriales dans le bassin du Guir (Sud-Est marocain)* [thèse de doct., Université Paul Valéry Montpellier 3 & Université Mohammed V].
- Oufkir, M. A. (2023). *L'émergence du pays du Guir (Maroc)*. L'Harmattan.
- Ouiaboub, L. (2021). *Hydrogéomorphologie de l'Oued Guir en amont de Ain Chouater* [thèse de doct., USMBA Fès].
- Ousmana, H., El Hamidi, A., Essahlaoui, A., Bekri, H., & El Ouali, A. (2017). Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et directives PAP/CAR. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 39, 103-119.
- Remini, B., Kettab, A., & Avenard, J. M. (2003). *L'envasement des barrages*. CEDOC.
- Rey, F., Ballais, J. L., Marre, A., & Rovéra, G. (2004). Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Comptes Rendus Géoscience*, 336(11), 991-998.
- Roosé, E., Sabir, M., Arabi, M., Morsli, B., & Mazour, M. (2012). Soixante années de recherches sur l'érosion hydrique au Maghreb. *Physio-Géo*, 6, 43-69.
- Sadkaoui, D., Benzougagh, B., Amine, A., Aassoumi, H., Lakhili, F., & Mihraje, A. (2023). Mapping of Zones Vulnerable to Water Erosion Using PAP/CAR and GIS : Upper Aït Moulay Hmad Dam. *Iraqi Geological Journal*, 56(1B), 181-197.
- Tadrist, N., Debauche, O., Remini, B., Xanthoulis, D., & Degré, A. (2016). Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages et la recharge des nappes côtières. *Bio-technologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20(4), 453-467.
- Tahouri, J., Sadiki, A., Karrat, L. H., Johnson, V. C., Chan, N. W., Fei, Z., & Te Kung, H. (2021). Using a modified PAP/RAC model and GIS for mapping water erosion and causal factors. *International Soil and Water Conservation Research*, 10, 254-272.
- Tribak, A. (2000). *L'érosion hydrique en moyenne montagne du Prérif Oriental (Maroc)* [thèse de doct., Université Chouaib Doukkali, El Jadida].
- Tribak, A. (2002). Stratégies et techniques de lutte antiérosive dans les montagnes du Prérif oriental (Maroc). *Bulletin du Réseau Érosion*, (21), 45-55.
- Zahnoun, A., Allah, A., & Al Karkouri, J. (2020). Estimation and cartography of water erosion by the EPM model in Oued Tleta. *European Journal of Scientific Research*, 155(3), 265-278.
- Ziadi, K., Barakat, A., El Aloui, A., Ouayah, M., & Namous, M. (2023). Modelling and mapping of soil erosion risk based on PAP/RAC guidelines in the watershed of Tassaoute. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 24, 65-83.