



HAL
open science

Étude de la dynamique de l'érosion hydrique et évaluation de l'efficacité des banquettes anti-érosives dans le bassin versant de Sbaihia (Zaghouan, Tunisie)

Samar Amri

► **To cite this version:**

Samar Amri. Étude de la dynamique de l'érosion hydrique et évaluation de l'efficacité des banquettes anti-érosives dans le bassin versant de Sbaihia (Zaghouan, Tunisie). Sciences de l'environnement. 2023. hal-04849799

HAL Id: hal-04849799

<https://hal.inrae.fr/hal-04849799v1>

Submitted on 19 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Tunis
Faculté des Sciences Humaines et
Sociales de Tunis



Université de Carthage
Institut National de la Recherche en
Génie Rural, Eaux et Forêts



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master
en Géomorphologie et Environnement

ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DE L'ÉROSION HYDRIQUE ET ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES BANQUETTES ANTIÉROSIVES DANS LE BASSIN VERSANT DE SBAIHIA (ZAGHOUAN, TUNISIE)



Élaboré par : Samar AMRI

Dirigé par : M. Noômène FEHRI et Mme. Abir BEN SLIMANE

Année universitaire : 2022-2023

Dédicace

À mon père RAFIK et ma mère KARIMA

À ma sœur CHAIMA et mon petit frère YOUSSEF

À ma grande mère TOUNES

Remerciement

Profitant de cette occasion, je tiens à témoigner ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de mon mémoire de Master.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon encadrant M. **Noômène FEHRI**, maître de conférences à FLAH - Université de la Manouba pour la confiance qu'il m'a accordée et le solide encadrement académique. Je le remercie également pour ces qualités humaines inestimables.

Je suis très reconnaissante envers mon encadrante Mme. **Abir BEN SLIMANE**, maître assistante à l'Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF), pour son écoute attentive, ses remarques avisées et ses lectures assidues, ainsi qu'à sa capacité de me rassurer pendant les moments de stress, contribuant ainsi à l'achèvement de ce travail.

Ce travail a bénéficié aussi du co-encadrement de M. **Damien RACLOT**, chargé de recherches à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) à l'UMR LISAH - Montpellier, via une convention de co-encadrement signée entre l'INRGREF et l'IRD. Je le remercie vivement pour le temps qu'il a consacré à discuter de mes idées malgré ces engagements. Ces conseils, ces critiques et ces corrections ont été primordiales pour l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie également Mme. **Houda REBAÏ**, maître assistante à l'Université de Jendouba, pour son aide scientifique inestimable et sa gentillesse. Elle n'a jamais hésité à partager ses connaissances ou son expérience, ce qui a permis l'enrichissement permanent de ma réflexion.

Ce travail a bénéficié également d'un soutien financier, accordé par le laboratoire mixte international LMI-NAILA ainsi que du Programme d'Encouragement des Jeunes Chercheurs 2020 (20PEJC), que je remercie vivement. Leur contribution a été cruciale pour la réussite de ce travail et j'en suis très reconnaissante.

J'adresse mes remerciements aussi à M. **Bechir TARCHI** le responsable à l'arrondissement CES de Zaghouan pour son accueil et son esprit coopératif et pour tous les documents qu'il m'a fournis.

Je ne pourrais terminer sans remercier tous ceux qui m'ont accompagnée lors de mon travail sur terrain : M. **Hassan** le chauffeur et Mlle. **Inès** la technicienne de l'INRGREF. Je remercie les habitants de la zone de l'oued Sbaihia en particulier **Ghezala** qui m'a facilité l'intégration avec les habitants de Ouled Alaya durant l'enquête socio-économique.

Je suis redevable à tous mes professeurs de géographie à la faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis qui ont contribué à ma formation universitaire.

Je remercie ma famille qui m'a toujours offert un soutien inconditionnel.

J'adresse mon respect aux membres du jury pour leur temps et leur expertise.

Résumé

En Tunisie, l'érosion hydrique des sols touche plus de la moitié de la surface agricole utile, faisant de la protection de la ressource en eau et en sol un enjeu stratégique pour le développement agricole. Dans cette perspective, les principaux objectifs de ce travail étant i) d'évaluer l'évolution du comportement érosif entre 2010 et 2022 sur le bassin versant de Sbaihia (357 ha, Zaghouan) et d'identifier les principaux facteurs explicatifs, ii) d'analyser l'efficacité des aménagements antiérosifs, et iii) de caractériser la perception de l'érosion hydrique et des banquettes par les acteurs locaux. La méthodologie déployée s'est basée sur des analyses cartographiques combinées à des relevés de terrain et une enquête socio-économique. Les résultats ont montré une diversité des manifestations actuelles de l'érosion hydrique, qui souligne l'importance de ce phénomène en tant que source principale de dégradation des sols dans le bassin versant. D'autre part, l'évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022, a montré une sensible progression affirmant le rôle prépondérant des banquettes dans la lutte contre l'érosion hydrique, en faveur des autres facteurs tels que la pente, la lithologie, les pluies ou l'occupation des sols. Toutefois, la réussite de ces aménagements antiérosifs a des limites, et les dysfonctionnements des banquettes peuvent représenter un risque favorable au développement des processus d'érosion hydrique. En effet, nos résultats ont montré que l'activité humaine et l'absence d'intervention des services publics sont les principaux moteurs de ce dysfonctionnement, bien que les acteurs locaux enquêtés, perçoivent les facteurs naturels comme la cause directe de ce problème. D'où la nécessité d'une sensibilisation des populations locales et une bonne coordination entre les différentes parties prenantes.

Mots clés : érosion des sols – manifestations de l'érosion hydrique – dysfonctionnement des banquettes - perception locale- bassin versant Sbaihia

Abstract

In Tunisia, water erosion affects more than half of the usable agricultural area, making water and soil resource protection a strategic issue for agricultural development. From this perspective, the main objectives of this work are i) to evaluate the evolution of erosive behavior between 2010 and 2022 in the Sbaihia catchment (357 ha, Zaghouan) and to identify the main explanatory factors, ii) to analyze the efficiency of anti-erosion measurements, and iii) to characterize water erosion and benches perception by local actors. The methodology deployed was based on cartographic analyses combined with field and socio-economic surveys. The results showed a diversity of current water erosion manifestations, highlighting the importance of this phenomenon as the main source of soil degradation in the catchment. Moreover, the gully network evolution between 2010 and 2022, has shown a slight increase affirming the preponderant role of contour benches in the water erosion prevention, in favor of other factors such as slope, lithology, rainfall, or land use. However, the success of these anti-erosion facilities has limits, and contour benches dysfunctions can represent a favorable risk for the development of water erosion processes. Indeed, our results showed that human activity and the lack of intervention by public services are the main drivers of this dysfunction, although the local actors surveyed perceive natural factors as the direct cause of this problem. Hence, the need for a local population raise-awareness, and good coordination between the various stakeholders.

Keywords: Soil erosion – water erosion manifestations – contour benches dysfunctions – local perception – Sbaihia catchment.

في البلاد التونسية، يؤثر الانجراف المائي للتربة على أكثر من نصف المساحة الجمليّة الصالحة للزراعة. مما يجعل حماية التربة والموارد المائية من التحديات الإستراتيجية للنهوض بالقطاع الفلاحي. وفي هذا السياق، فإن الأهداف الرئيسية لهذا العمل تتمثل في تقييم تطور الانجراف بين عامي 2010 و2022 في حوض 'الصبايحية' (357 هكتار، زغوان) مع تحديد العوامل الرئيسية المفسرة لذلك، ودراسة فعالية منشآت مكافحة التعرية، ثم تحديد التمثل السائد للانجراف المائي للتربة من قبل الفاعلين المحليين. استندت المنهجية المستخدمة إلى تحليل الخرائط مشفوع بعمل ميداني وباستبيان اجتماعي واقتصادي لعينة من الفاعلين. أظهرت النتائج مجموعة متنوعة من المظاهر الحالية للانجراف المائي للتربة، مما يبرز أهمية هذه الظاهرة كمصدر رئيسي لتدهور التربة في حوض 'الصبايحية'. ويبيّن تطور طول شبكة الأودية بين عامي 2010 و2022، زيادة طفيفة بفضل الدور المهم للطوابي الكنتورية في مكافحة الانجراف المائي للتربة، على حساب عوامل أخرى مثل الانحدار، طبيعة الصخور، الأمطار أو استخدام الأراضي. ومع ذلك، فإن نجاح هذه المنشآت المكافحة للتعرية يبقى محدودا. ويمكن أن يمثل اختلال وظائف الطوابي الكنتورية خطرا محفزا لعمليات الانجراف المائي للتربة. في الواقع، أظهرت نتائجنا أن النشاط البشري وعدم تدخل الأطراف العمومية لتعديها، هما المحركان الرئيسيان لهذا الخلل الوظيفي. وذلك على الرغم من أن الفاعلين المحليين الذين شملهم الاستبيان يعتبرون أن العوامل الطبيعية هي السبب المباشر لهذه المشكلة. ومن هنا تأتي الحاجة إلى زيادة الوعي بين السكان المحليين والتنسيق الجيد والمشارك بين مختلف الأطراف.

الكلمات المفاتيح: انجراف التربة – مظاهر الانجراف المائي للتربة – اختلال وظائف الطوابي الكنتورية – التمثل المحلي – حوض سفحي الصبايحية

Sommaire

<i>Dédicace</i>	i
<i>Remerciement</i>	ii
<i>Résumé</i>	iii
Sommaire	vi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE : LES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU BIOPHYSIQUE ET HUMAIN DANS LE BASSIN VERSANT DE SBAIHIA ET MÉTHODE DE TRAVAIL	4
1. Cadre général de bassin versant de Sbaihia.....	5
1.1. Aperçu sur les données du milieu naturel.....	5
1.2. Aperçu sur l'intervention humaine dans le bassin versant	11
2. Méthode de travail.....	18
2.1. Données utilisées.....	18
2.2. Données produites et analyse cartographique	19
Conclusion de la première partie.....	23
DEUXIÈME PARTIE : CARACTÉRISTIQUES ET ÉVOLUTION DE L'ÉROSION HYDRIQUE.....	25
1. Étude de l'érosion hydrique	26
1.1. Cartographie des manifestations de l'érosion hydrique des sols en 2022	26
1.2. Caractérisation de l'évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022	34
2. Analyse des facteurs explicatifs de l'évolution de l'érosion ravinaire	36
2.1. Facteurs naturels.....	36
2.2. L'évolution de l'occupation du sol : dégradation de couvert végétal	37
2.3. L'aménagement antiérosif en banquettes	44
Conclusion de la deuxième partie	49
TROISIÈME PARTIE : DIAGNOSTIC APPROFONDI DU DYSFONCTIONNEMENT DES BANQUETTES ANTIÉROSIVES	51
1. Typologie et causes des dysfonctionnements des banquettes	52
1.1. Le comblement total du talus amont des banquettes en 2022	52
1.2. Les dysfonctionnements au niveau du bourrelet de banquettes.....	54

2. Les facteurs fragilisant le fonctionnement des banquettes	61
2.1. Les pratiques peu attentives établies par l'agriculteur sur le système de banquettes	61
2.2. Le suivi et l'entretien des banquettes	63
3. Recommandations issues du retour d'expérience des interventions antiérosives sur le bassin versant de Sbaihia.....	67
3.1. Recommandations en lien avec l'entretien des banquettes existantes.....	67
3.2. Recommandations en lien avec de futures interventions antiérosives.....	69
CONCLUSION GÉNÉRALE	71
Références Bibliographiques.....	73
Table des figures	76
Table des Photos.....	78
Table des tableaux	79
Table des matières	80
ANNEXES	82

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Contexte général de l'étude et problématique

L'érosion hydrique est une des principales causes de la dégradation accélérée des sols et des infrastructures de mobilisation des eaux de surface et des terres. Elle représente ainsi une menace majeure pour un large éventail de fonctions écosystémiques fournies par le sol.

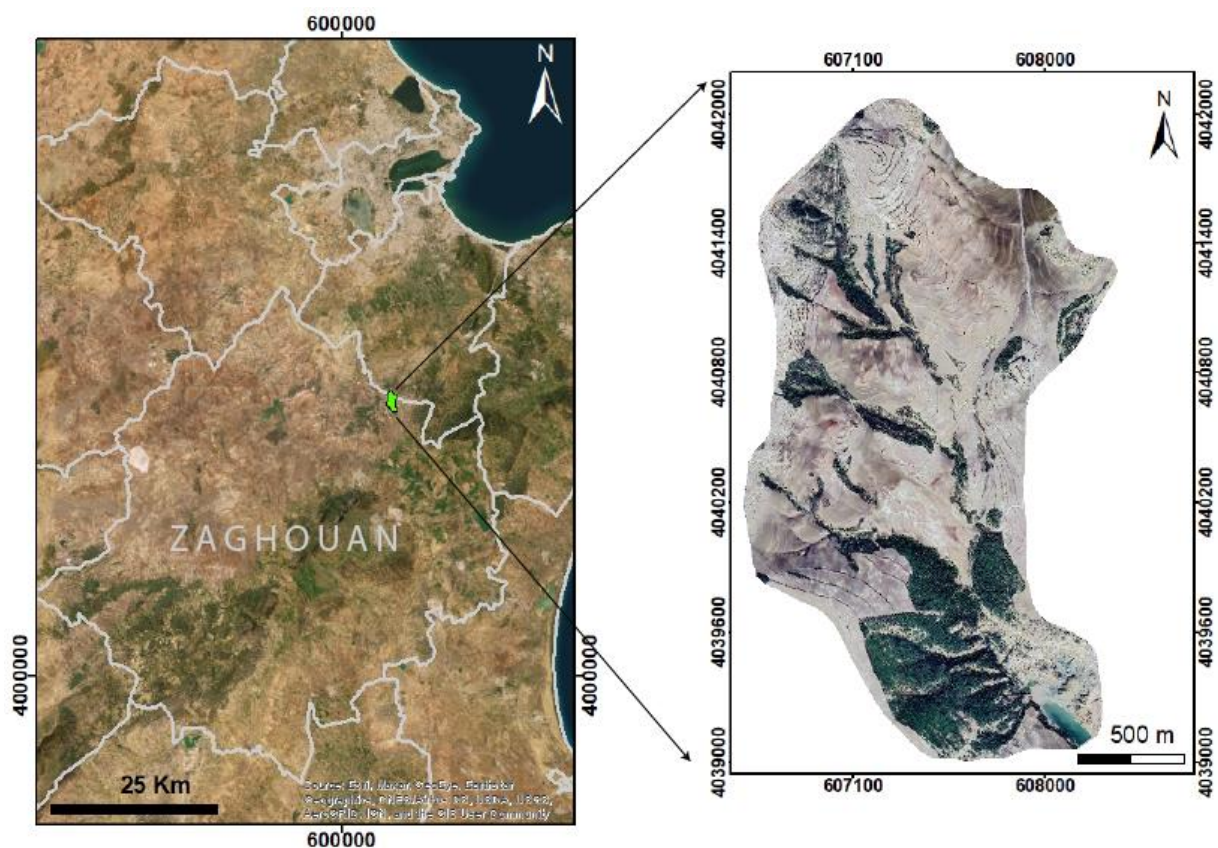
Plusieurs pays méditerranéens sont fortement touchés par l'érosion hydrique des sols (Bou Kheir et *al.*, 2001). En Tunisie, ce phénomène de dégradation des sols touche plus de la moitié de la surface agricole utile (Cherif et *al.*, 1995). En effet, l'érosion hydrique y représente en effet un fléau qui limite la production agricole, gêne le développement rural à long terme (Al Ali et *al.*, 2008) et entrave la sécurité alimentaire. C'est pour cela que la protection de la ressource en eau et en sol représente un enjeu stratégique pour l'agriculture tunisienne. Dans la Dorsale tunisienne semi-aride, les bassins versants sont très sensibles à l'érosion et les réservoirs construits pour mobiliser les eaux de ruissellement sont rapidement envasés (Nasri, 2002a).

Un tel contexte justifie le recours à des aménagements antiérosifs dont l'objectif est la restauration de l'équilibre écologique et la bonne gestion des ressources en eau (Cherif et *al.*, 1995). Parmi ces ouvrages de lutte contre l'érosion, les banquettes antiérosives sont largement déployées dans les zones semi-arides. En Tunisie par exemple, plus d'un million d'hectares de terres agricoles ont été aménagées par ces moyens depuis les années 1960 (Nasri, 2002b). Ainsi, ce sont les techniques de conservation des eaux et des sols (CES) les plus répandues dans la Dorsale tunisienne (Hermassi et *al.*, 2013)

Cependant, après plus de soixante années de recours à cette pratique, de nombreuses zones aménagées souffrent encore du risque d'érosion hydrique. Toutefois, les travaux menés pour évaluer l'efficacité des banquettes sont relativement peu nombreux (Raclot, 2021). Dans ce contexte, il est intéressant de faire un retour d'expérience sur des cas concrets de mise en œuvre, pour essayer d'en déduire des enseignements sur les facteurs physiques ou humains qui conduisent à cette situation.

Dans ce travail, nous avons choisi d'étudier le bassin versant de Sbaihia (357 ha) qui se trouve au nord de la Dorsale tunisienne dans le gouvernorat de Zaghuan, au niveau du secteur *Jimla*

(Fig. 1). Ce site d'étude est fortement aménagé en banquettes depuis les années 1980. De plus, il présente l'avantage d'avoir déjà été documenté grâce aux suivis de terrain, notamment celui mené en 2009 par Rebai (2017). Malgré les aménagements dont il a fait l'objet, l'érosion hydrique représente encore le risque de dégradation des sols le plus spectaculaire sur ce site d'étude. Les principales zones productrices de sédiments, siège d'une importante perte de la couche arable fertile, sont bien souvent constituées de secteurs issus de la conversion récentes de terres forestières en zones agricoles, notamment en amont du bassin versant. Une fois détachés, les sédiments se déplacent sous formes d'apports solides, traversant le bassin et arrivent pour la plupart dans le lac collinaire construit en 1993 avec une capacité initiale de stockage de $135\ 100\ m^3$, où ils s'y retrouvent piégés sous forme de dépôts (DG/ACTA et I.R.D., 2002). Ces derniers, menacent la durabilité de la retenue collinaire en diminuant sa capacité de rétention d'eau. De ce fait, cette dynamique d'érosion hydrique, qui persiste malgré les aménagements anti-érosifs, entraîne des retombées environnementales, agronomiques et socio-économiques très néfastes pour la zone d'étude.



Auteur : AMRI. S. (2022)
Sources: Extrait d'image Google Earth (2021) et World Imagery

Fig. 1- Localisation et vue aérienne de la zone d'étude

Enjeux et objectifs

a. Les enjeux

Le principal enjeu de ce travail est d'établir un retour d'expérience concernant l'efficacité et la perception des moyens de lutte antiérosive à travers des banquettes dans le bassin versant de Sbaihia, afin d'orienter l'implémentation future des mesures de conservation des eaux et des sols avec le souci de trouver un juste équilibre entre la protection des ressources naturelles et le maintien de conditions socio-économiques acceptables pour les acteurs locaux.

b. Les objectifs

Face à cet enjeu, les principaux objectifs de cette étude sont :

- de faire un diagnostic du comportement érosif actuel (en 2022) du bassin versant de Sbaihia à travers la caractérisation des différentes manifestations de l'érosion hydrique.
- d'évaluer l'évolution de l'érosion ravinante entre 2010 et 2022 et de rechercher les principaux facteurs explicatifs de cette évolution, en lien notamment avec les aménagements et l'occupation des sols.
- de quantifier l'efficacité des aménagements en matière de protection des terres à travers une comparaison de la dynamique érosive entre les zones aménagées et les zones non aménagées du site d'étude.
- de caractériser la perception de l'érosion hydrique et des aménagements en banquettes par les acteurs locaux.
- d'identifier les raisons du bon ou mauvais fonctionnement des aménagements anti-érosifs de banquettes à travers une caractérisation de leur état actuel et des dysfonctionnements en lien avec les conditions locales.

**PREMIÈRE PARTIE : LES CARACTÉRISTIQUES DU
MILIEU BIOPHYSIQUE ET HUMAIN DANS LE
BASSIN VERSANT DE SBANHIA ET MÉTHODE DE
TRAVAIL**

1. Cadre général de bassin versant de Sbaihia

1.1. Aperçu sur les données du milieu naturel

1.1.1. Cadre topographique

Sbaihia est un petit bassin versant d'une superficie de 357 ha. Le relief y culmine à 473 m dans sa partie septentrionale qui fait partie du Jebel Bou Khouf, alors que l'altitude est de 220 m à son exutoire. Avec une dénivellation de 253 m sur une distance de 500 m, la zone d'étude est caractérisée par un relief assez fort (Fig. 2).

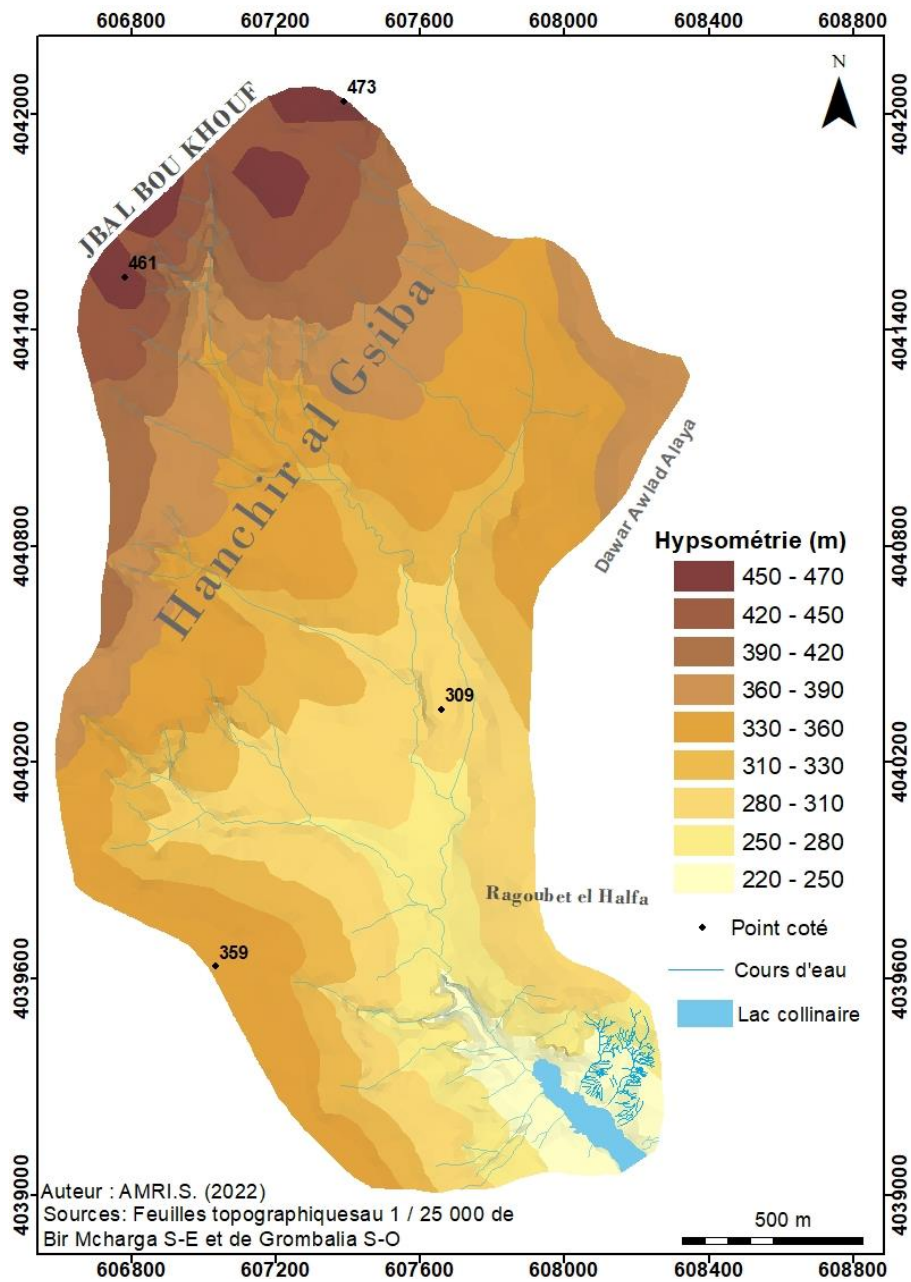


Fig. 2- Carte hypsométrique du bassin versant Sbaihia

Les valeurs de pente (Fig. 3), calculées à partir du MNT illustré en Fig. 2, varient de 0 à plus de 90%. Dans le but de faciliter leur analyse, nous les avons regroupées en 5 classes : les pentes très faibles inférieures à 5%, les pentes faibles entre 5% et 10%, les pentes moyennes entre 10% et 15%, les pentes fortes entre 15% et 25% et les pentes très fortes au-delà de 25%. En contrôlant l'énergie cinétique du ruissellement, l'inclinaison de la pente est un des principaux facteurs de contrôle de l'érosion hydrique. D'après Roose (1994), l'énergie cinétique du ruissellement devient prépondérante sur l'énergie cinétique des pluies dès que les pentes dépassent 15%. La répartition générale des pentes dans le bassin versant de Sbaihia montre que 60% de la superficie totale du bassin a des pentes supérieures à 15%. Ces pentes fortes à très fortes sont principalement situées, d'une part, dans les parties septentrionales de bassin versant, et d'autre part au niveau des versants qui se trouvent autour du lac collinaire (Fig. 3).

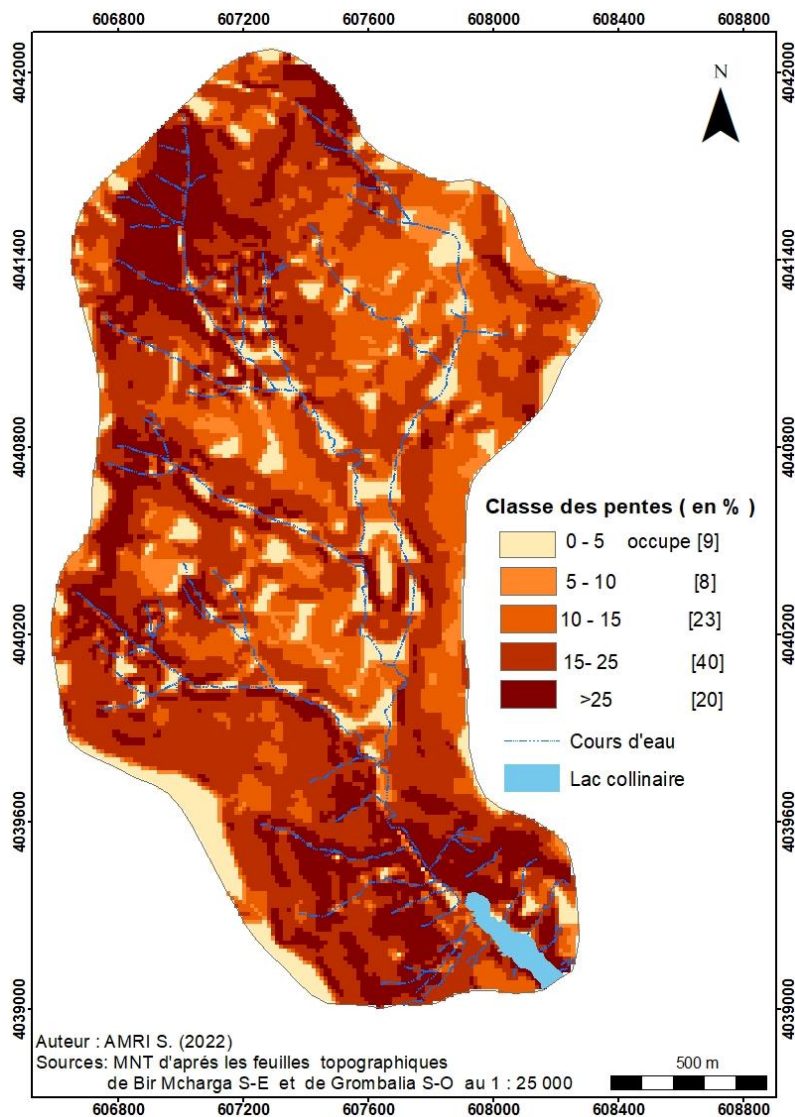


Fig. 3- Carte des pentes (en %) dans le bassin versant Sbaihia (les valeurs entre crochets dans la légende indiquent le pourcentage de surface du bassin correspondant à chaque classe).

1.1.2. Cadre géologique

Selon Attia et *al.* (2005) le bassin versant de Sbaihia est inscrit dans un cadre géologique d'un plissement serré disloqué par des failles longitudinales qui font partie d'un faisceau de failles de direction NW-SE (Fig. 4). La série géologique est formée par six unités allant du Crétacé supérieur au Quaternaire mais elle est incomplète.

Les formations lithologiques qui en découlent sont caractérisées par la présence de couches dures calcaires et de couches tendres marneuses. Dans le bassin étudié, les couches tendres occupent environ 57 % de la superficie et se trouvent dans la partie centrale du bassin versant. Le reste du bassin est couvert par des alternances plus ou moins resserrées de formations tendres (marnes) et dures (calcaires). Ces zones d'intercalations entre roches dures et roches tendres sont connues pour avoir une sensibilité à l'érosion ravinatoire aussi élevée que les zones représentées par des couches tendres (Rebai et *al.*, 2013). Ce constat a été confirmé par Ben Rhouma et *al.* (2018) qui a classé comme : i) très fortement sensibles à l'érosion les Marnes Santoniens supérieurs et Campanien inférieur et les alternances de marnes grises et de calcaire marneux argileux ii) fortement sensibles à l'érosion les marnes grises verdâtres avec intercalation de calcaire ; iii) peu sensibles les marnes calcaires et calcaires massifs qui occupent les sommets septentrionaux du bassin versant.”

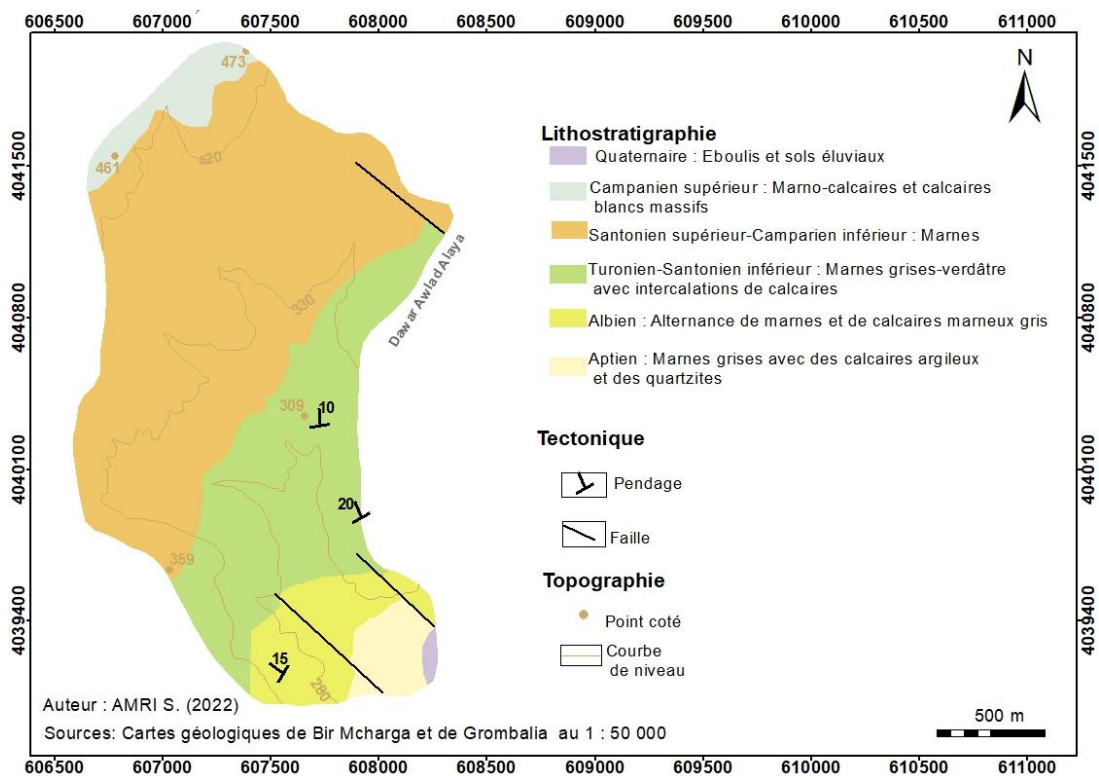


Fig. 4- Carte des affleurements géologiques dans le bassin versant Sbaihia

1.1.3. Cadre pédologique

Selon Baccari (2008), les types de sols existants dans le bassin versant de Sbaihia sont exclusivement de la classe des sols calcimagnésiques, bruns calcaires, rendzines, à encroûtement calcaire ou lithosols sur calcaire en banc massif.

Attia et *al.* (2005) différencient trois types de sols en fonction de leur texture :

“ - les sols limono-argileux dans la partie amont des versants et du bassin versant, en rive droite et en rive gauche ;

- les sols argilo-limoneux dans la partie centrale du bassin, à mi-versant

- les sols argileux dans les thalwegs et dans la partie aval du bassin sur substratum marneux et calcaires argileux.”

1.1.4. Cadre géomorphologique

Dans le bassin versant de Sbaihia, le réseau ravinaire est souvent de direction N.O – S. E. Cependant, cette direction est dans le sens contraire de pendage des couches géologiques. Ceci nous permet de dire qu'ils sont des ravins de type anaclinal. Ces derniers sont limités par des berges, dont leurs formations sont liées à la dynamique hydrique. (Fig. 5)

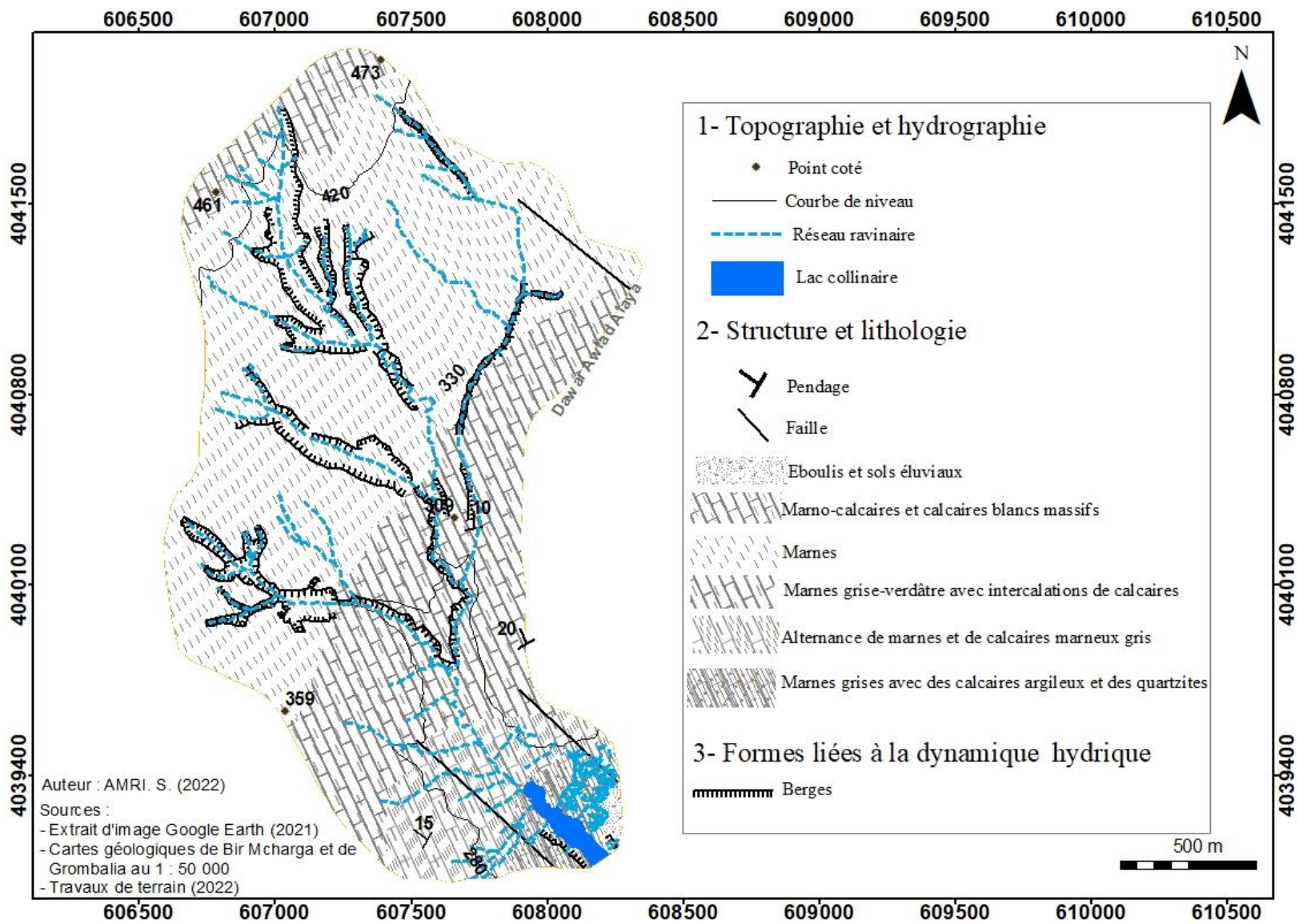


Fig. 5- Croquis géomorphologique du bassin versant Sbaihia

1.1.5. Aperçu sur les données pluviométriques

- Irrégularité interannuelle

Le bassin versant de Sbaihia fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride supérieur. Dans le but de déterminer les caractéristiques climatiques qui règnent sur le bassin versant de Sbaihia, nous avons exploité les données pluviométriques journalières de la station ONAGRI à Zaghouan, qui se situe à environ 13.5 km du site d'étude. Ainsi, la pluviométrie annuelle moyenne, calculée par année hydrologique (dite agricole aussi) commençant au 1er septembre, est égale de 413 mm durant la période étudiée (i.e. du 01/09/2010 au 31/08/2022). Cependant, l'allure en dents de scie des hauteurs de pluies annuelles illustre une irrégularité interannuelle importante, avec un minimum annuel de 176 mm enregistré pendant l'année hydrologique 2021-2022 et un maximum annuel de 640 mm atteint lors de l'année 2011-2012 (Fig. 6).

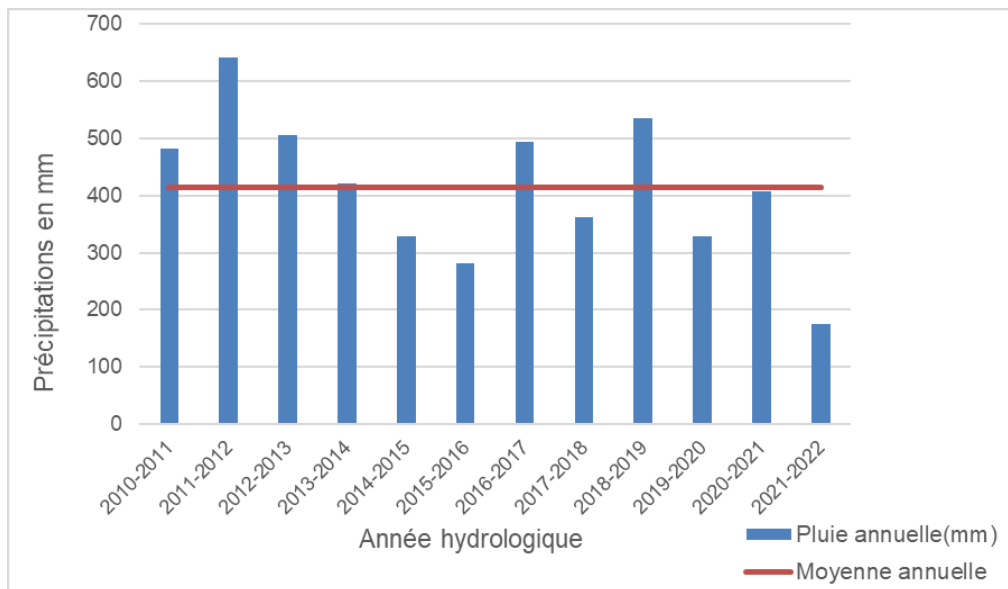


Fig. 6- Variation interannuelle de la pluviométrie à la station ONAGRI de Zaghouan pour la période 2010-2022 (source : ONAGRI)

- Irrégularité saisonnière et mensuelle

L'analyse de la distribution mensuelle moyenne des précipitations entre 2010 et 2022 (Fig. 7) montre une forte irrégularité. Le mois le plus pluvieux est le mois d'octobre avec un pic de 70 mm, suivi par mars (60 mm) et décembre (58 mm). Sans surprise, l'été (juin à août) est la saison la plus sèche avec des moyennes mensuelles qui ne dépassent pas les 20 mm.

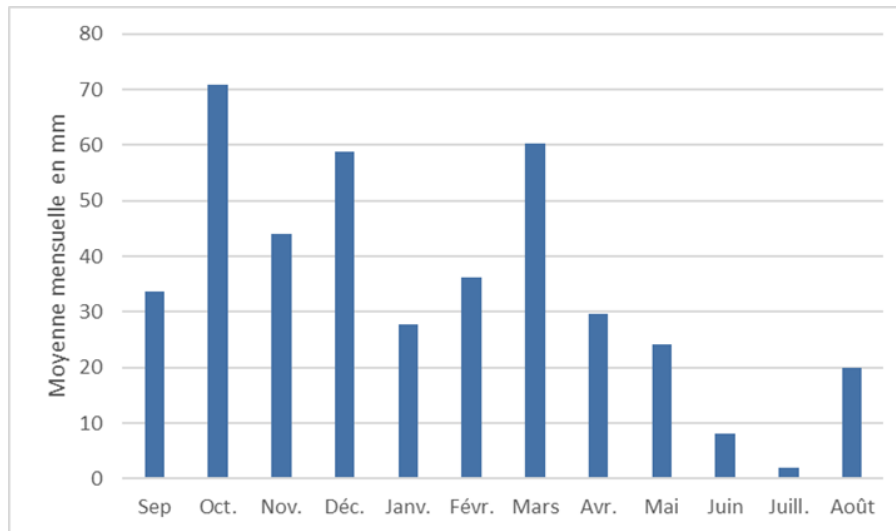


Fig. 7- Variations des moyennes mensuelles de précipitation pour la période 2010-2022 à la station ONAGRI de Zaghouan (source : ONAGRI).

1.1.6. La végétation naturelle

Dans le bassin versant de Sbaihia, le domaine forestier naturel (Rebai, 2017 ; Ben Rhouma et *al.*, 2018) représente 27,66 % de la superficie totale du bassin en 2022. La formation végétale est essentiellement formée d'un matorral qui se diversifie en sous classes selon la hauteur et la densité de la végétation. Le matorral le plus haut est généralement constitué de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et de quelques Thuyas de Berbérie (*Tetraclinis articulata*). Dans son étage bas, le matorral est principalement formé de romarin (*Rosmarinus officinalis*), d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), de thym (*Thymus vulgaris*), avec des genévriers et le diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) près des oueds. Selon Ben Khelifa et *al.* (2017), il existe également d'autres espèces comme *Erica multiflora*, *Phillyrea angustifolia* ou *Cistus salvifolius*, que nous n'avons pas vues lors de nos visites terrain.

1.2. Aperçu sur l'intervention humaine dans le bassin versant

1.2.1. L'importance de l'activité agricole

Notre site d'étude illustre l'exemple d'un bassin versant qui appartient à une zone rurale. Dans ce sens, la présence humaine s'articule principalement autour d'un cadre agricole. En 2022, les terres agricoles marquent le paysage sur plus de 50% de la surface. Il s'agit principalement des cultures annuelles avec 45% de la surface totale (céréales, légumineuses et fourragères) et 6% pour des arboricultures (les oliviers en premier lieu puis les amandiers). Notons également la présence des parcours qui représentent environ 18% de la zone d'étude et qui sont

souvent des secteurs issus du défrichement de l'espace forestier. Ces parcours sont éparpillés sur la totalité de la superficie du bassin, avec une concentration plus forte cependant dans la partie septentrionale du bassin versant.

Par ailleurs on peut noter que la totalité des terres du bassin versant d'étude est la propriété d'un seul agriculteur. On peut également relever qu'il n'y a pas de constructions d'habitation au sein même du bassin versant, mais qu'il en existe dans les zones limitrophes du site. Finalement, la seule construction au sein du bassin versant est un entrepôt de matériel.

1.2.2. Les aménagements antiérosifs

- **Les banquettes antiérosives à rétention partielle**

Ce type d'ouvrage est formé d'un bourrelet de terre en remblai associé à un fossé évasé en amont (Fig. 8). Son édification est faite perpendiculairement au sens de la pente du terrain, parallèlement aux courbes de niveau. Le recours à ce type d'ouvrage a pour but essentiel de capter le ruissellement et augmenter l'infiltration des eaux sur les versants (Hamza, 1988 ; Nasri, 2007), d'empêcher la concentration de ruissellement ainsi que la dégradation des sols par érosion hydrique (Heusch, 1986) tout en préservant sa fertilité (Khlifi, 2008).

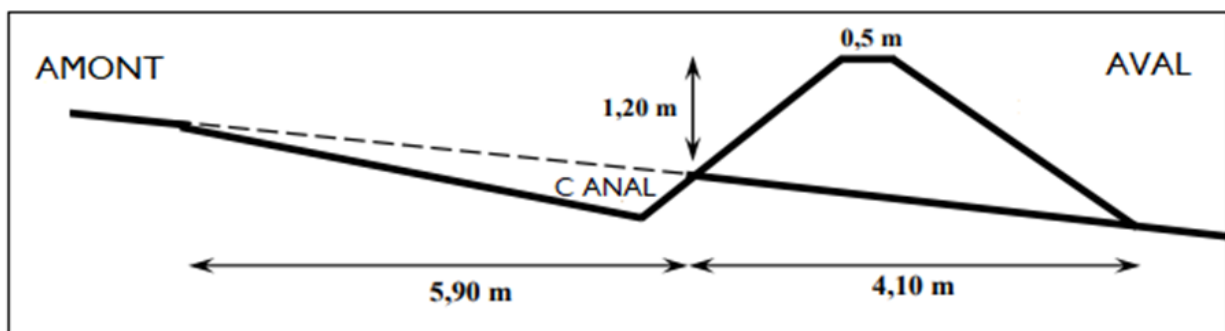


Fig. 8- Profil type d'une banquette anti-érosive à rétention partielle avec un profil trapézoïdal (D'après El Ali, 2017 [modifié])

L'implantation des banquettes sur un versant se fait généralement sous la forme d'un ensemble de banquettes en cascade (photo1). L'espace inter-banquettes correspond alors à la surface entre les banquettes consécutives (c'est-à-dire, entre l'aval d'une banquette et l'amont d'une autre). Il représente l'impluvium en amont de chaque banquette. Lors de forts événements, seule une partie du ruissellement est captée, et des voies d'eau sont généralement conservées afin d'évacuer le surplus de ruissellement sans endommager les banquettes.

Sur le bassin versant de Sbaihia, ce type d'aménagements concerne actuellement environ 42% de la superficie totale.



Photo 1- Aménagement des banquettes en cascade dans le bassin versant Sbaihia (AMRI S., juillet 2022)

- **Aperçu sur l'historique de leur adoption en Tunisie**

L'utilisation des banquettes antiérosives sous une forme non traditionnelle débute dans les années quarante en Tunisie, lors de l'instauration des politiques de conservation des eaux et des sols modernes. Cette technique fait partie d'un éventail de techniques inspirées des expériences faites en Algérie (Côte, 1964). Mais, les interventions à cette période n'ont pas encore une grande ampleur. Après l'indépendance, avec le soutien financier américain, il y a eu une adoption de la méthode américaine de lutte antiérosive de Conservation des Eaux et des Sols (Cherif et *al.*, 1995) ceci dans le cadre des « *chantiers de lutte contre le sous-développement* » (Côte, 1964). Les banquettes constituent alors la technique la plus utilisée sur les versants (Fehri, 2007). À cette période, les actions de CES ont une grande importance sociale, motivée en partie par le souci de l'Etat depuis l'Indépendance de diminuer le taux de chômage. Plus tard, surtout depuis les années quatre-vingt-dix, le but de l'aménagement antiérosif est davantage motivé pour « *faire face à l'aggravation du problème de l'érosion et de la raréfaction des ressources en eau* » (Fehri, 2007). Cette vocation est affichée dans les deux stratégies décennales de Conservation des Eaux et du Sols (CES) adoptées par le Ministère de l'Agriculture des Ressources Hydrauliques et de la Pêche qui se sont succédé de 1990 à 2001 puis de 2002 à 2011. On peut noter, qu'une nouvelle stratégie d'aménagement et de conservation des terres agricoles afin de définir un plan d'action jusqu'en 2030, est en voie de finalisation.

○ **Typologie des banquettes existantes**

Il y a diverses caractéristiques pour différencier les banquettes antiérosives. Dans ce travail, nous avons choisi de différencier deux types de banquettes selon leur forme et leur profil.

1. Les banquettes avec un profil en V (photo 2) : dans le bassin étudié, elles sont souvent installées dans les zones de pente supérieure à 25 %, ce qui est conforme avec la typologie de Chaabi (1988) *In* El Ali (2007). Elles ont été mises en place au niveau de la crête du bassin versant, essentiellement sur des zones de parcours, là où il y a une présence très abondante de galets de calcaire en surface. Les banquettes ainsi constituées ressemblent assez fortement à des cordons en pierres sèches, mais les blocs de calcaire sont ici associés à des marnes. De plus, leurs canaux amont existent toujours, de l'ordre de quatre mètres de largeur, et sont souvent occupés par une végétation spontanée.
2. Les banquettes de forme trapézoïdale (photo 3) : elles sont construites à partir de sols ayant une texture plus homogène que les banquettes en V, ce qui leur confère une forme plus standard, avec une crête aplatie, un talus amont et un talus aval. Ce type, de loin le plus courant, est implanté sur les terres de cultures.

Les banquettes sont souvent occupées par une végétation herbacée annuelle spontanée mais cela n'exclut pas la présence d'espèces ligneuses et parfois même d'arbres tels que les pins d'Alep et les azéroliers.



Photo 2- Banquette antiérosive en V (AMRI S., mai 2022)



Photo 3- Banquette antiérosive en forme trapézoïdale (AMRI S., juin 2022)

- **D'autres formes d'aménagements antiérosifs**

Au sein des versants, nous avons observé quelques lignes de cactus inerme plantées sur la rive gauche du lac collinaire (photo 4).



Photo 4- Banquette antiérosive en forme trapézoïdale (AMRI S., juin 2022)

Dans les cours d'eau, il existe également quelques aménagements, qui sont essentiellement des seuils en gabion installés afin de stabiliser le lit de l'oued et de laminer les crues. Malheureusement, ceux-ci sont souvent en mauvais état. De plus, nous notons l'existence de quelques remblais traditionnels en pierres sèches sur les têtes des ravins afin de les combler ou d'éviter le recul de leur tête (photo 5). Enfin, nous avons assisté à la réalisation de quelques corrections en pierres sèches des petits ravins près du lac réalisés par les services CES.



Photo 5- Aménagements antiérosifs dans des cours d'eau (AMRI S., mai 2022)

1.2.3. L'existence d'un aménagement hydraulique : le lac collinaire

L'exutoire du bassin versant est doté d'un lac collinaire installé depuis 1993 avec un volume initial de la retenue de 135 100 m³ (DG/ACTA et I.R.D., 2002). Sa durée de vie a été estimée théoriquement à 39 ans (D/C.E.S. et I.R.D., 1999). Il a fait partie d'un réseau pilote de surveillance hydrologique, composé au total par une trentaine de bassins versants qui sont dotés à leurs exutoires par des lacs collinaires, et qui ont été suivis entre 1994 et 2010 par la DGACTA (Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles) et l'IRD (Institut français de Recherche pour Développement). Certains de ces lacs sont aujourd'hui complètement comblés du fait de l'érosion hydrique (Ben Slimane, 2013 ; Rebai, 2017). Par ailleurs, le lac collinaire étudié dans ce travail, appelé Sbaihia I, fait partie d'un ensemble de lacs collinaires installées au sein du grand bassin versant de Rmel (74 000 ha) qui est lui-même équipé par un barrage sur son cours principal (Attia *et al.*, 2005). Il existait un autre lac, appelé Sbaihia II, mais celui-ci est actuellement complètement comblé (Ben Hfaiedh, 2012).

Même si la retenue de Sbaihia est encore opérationnelle aujourd'hui, les apports solides entrant dans la retenue, évalués à 11 m³/an/ha (Ben Slimane, 2013), contribuent à la diminution progressive de sa capacité à mobiliser les eaux de surface. De plus, ces apports de sédiments viennent altérer la qualité de l'eau. La durabilité de cet ouvrage est donc menacée. Selon DG/ACTA et I.R.D. (2002), la retenue est utilisée pour l'irrigation des arboricultures. D'après l'enquête personnelle menée dans ce master, l'eau du lac collinaire est également utilisée ponctuellement pour répondre aux besoins domestiques de la population locale (limitrophe du bassin), en augmentation du fait de discontinuités en approvisionnement en eau potable de plus en plus fréquentes dans la région. Ceci ressort clairement des réponses des enquêtés, selon lesquels 37 % combinent la consommation de l'eau potable fournie par la SONEDE avec les citernes privées et 40% n'utilisent que l'eau des citernes. Alors que pour répondre à d'autres besoins domestiques ainsi qu'aux besoins en eau du bétail, 38% n'utilisent que l'eau du lac collinaire. Les besoins grandissants en eau, conjugués à la sécheresse et à l'envasement de la retenue, a conduit, pour la première fois depuis son existence, à une mise à sec de la retenue en juillet 2022, comme l'illustre la photo 6.



Photo 6- Lac collinaire Sbaihia, exceptionnellement à sec lors de l'été 2022 (AMRI S., juillet 2022)

2. Méthode de travail

L'approche retenue dans ce mémoire est une approche centrée sur des analyses cartographiques qui croisent des informations acquises dans le cadre de ce stage, notamment via des relevés de terrain, avec des données existantes. Une enquête socio-économique a également été conduite pour essayer de comprendre la nature de l'interaction entre la population paysanne et son territoire autour de l'érosion et des aménagements antiérosifs.

2.1. Données utilisées

Outre les données topographiques, géologiques et climatiques que nous avons précédemment présentées, nous avons également mobilisé des images Google Earth et des cartes issues d'un travail précédent de Rebai (2017).

2.1.1. Images Google Earth

Parmi les images disponibles sur Google Earth, nous avons choisi 4 dates qui permettent de caractériser les principales évolutions, sur le bassin étudié, en matière d'occupation du sol et des épisodes d'installation ou de suppression de banquettes entre 2010 et 2022. La première date (29/07/2010) a permis après couplage avec les relevés de terrain réalisés en 2009 par Rebai

de caractériser l'état initial du bassin versant alors que la dernière date (17/10/2021) correspond à l'image la plus récente au moment où ce travail a été réalisé. Les deux dates intermédiaires retenues sont 08/11/2013 et 23/11/2018. Leur choix est en relation avec les grandes évolutions dans le bassin versant.

2.1.2. Cartes réalisées par Rebai (2017)

Ces cartes, produites par Rebai (2017), concernent le réseau de ravins, l'occupation du sol et l'emplacement des banquettes en 2009. Elles sont essentiellement issues de prospections de terrain réalisées en 2009, et elles ont permis, en association avec l'interprétation de l'image Google Earth de 2010, de caractériser l'état initial de notre étude.

2.2. Données produites et analyse cartographique

2.2.1. Cartes liées à l'érosion hydrique

- Carte des manifestations de l'érosion hydrique des sols (2022)

L'interprétation de l'image Google Earth d'octobre 2021, appuyée par les relevés de terrain réalisés en 2022, nous a permis de cartographier les manifestations de l'érosion hydrique. La localisation des relevés terrain a été effectuée via l'acquisition de points GPS et le report des informations sur un fond de plan constitué de l'image Google Earth de 2021.

Pour l'érosion en nappe, l'identification s'est basée sur des indicateurs visibles sur le terrain. Nous citons par exemple, le pavage caillouteux qui se manifeste par l'émergence d'éléments grossiers hétérométriques. Ce type d'érosion est également caractérisé par la plage de couleurs de sols qui est marquée par l'étalement de taches blanches. Celles-ci sont plus visibles après les moissons et les labours dans le cas de cultures annuelles.

Pour l'érosion linéaire, nous nous sommes appuyés sur la classification de Roose (1994), qui se base sur la différenciation des ravins en fonction de leurs dimensions. Ainsi nous avons distingué : a) les griffes ou les griffures, petits canaux avec une profondeur de quelques centimètres, b) les rigoles, canaux avec une profondeur qui dépasse 10 cm mais restent encore effaçables par les techniques culturales et c) les ravines et ravins, canaux dont la profondeur dépasse 50 cm et qui ne sont plus effaçables par les techniques culturales.

En outre, pour les formes d'érosion dans les cours d'eau nous nous sommes référés à la typologie proposée par Rebai (2017) lors de l'établissement de sa carte des mécanismes actifs dans le bassin versant pour la situation de 2009. Cette typologie se fonde sur les actions de l'érosion hydrique et sur la morphologie des lits fluviaux (largeur, longueur, profondeur, régularité des berges...).

- Carte d'évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022

En se basant, d'une part, sur la description du réseau ravinaire établi par Rebai (2017) pour l'année 2010 et d'autre part, sur l'interprétation de l'image Google Earth de 2021 en association avec le travail de terrain et de localisation GPS réalisé en 2022, nous avons pu élaborer une carte d'évolution du réseau ravinaire sur le bassin versant Sbaihia entre 2010 et 2022. Cette carte a permis d'identifier les tronçons ravinaires qui n'ont pas évolué entre 2010 et 2022 (tronçons communs ou stables) et les nouveaux tronçons apparus depuis 2010. Elle nous a permis d'analyser l'évolution de la densité de drainage (Dd) du réseau ravinaire, calculée comme suit : $Dd (m / ha) = \sum L / A$, avec : $\sum L$: la somme des longueur des ravins (m) et A: superficie du bassin versant.

2.2.2. Cartes liées à l'occupation du sol

- Evolution de l'occupation des sols entre 2010 et 2022

L'interprétation des quatre images Google Earth sélectionnées, appuyée par les observations de terrain de 2022, a permis d'établir des cartes d'occupation du sol pour chaque date étudiée. Les douze classes d'occupation du sol suivantes ont été distinguées :

- Bâti
- Badlands
- Lac collinaire
- Culture annuelle
- Oliveraie
- Amandier
- Terrains de parcours

- Matorral élevée dense,
- Matorral élevée moyennement dense
- Matorral moyen dense
- Matorral moyen moyennement dense
- Matorral bas dense

Pour le matorral, la distinction en termes de hauteur et de densité s'est basée sur la typologie décrite dans le guide forêts durables (2005), à savoir que le matorral est élevé si sa hauteur est supérieure à 2 m, moyen si sa hauteur est comprise entre 2m à 60 cm et bas si sa hauteur est inférieure à 60 cm, et que le matorral est dense s'il couvre plus de 75% de la surface, moyen s'il couvre entre 75 et 50 %, et clair en dessous de 50%.

- Carte des principales conversions de vocation des terres entre 2010 et 2022

Une carte des principales conversions en matière de vocation des terres a été élaborée à partir de l'analyse de l'évolution de l'occupation du sol afin de faire ressortir la logique de la conversion suivie et la spatialisation des zones affectées par ce changement durant la période 2010-2022. Les enquêtes personnelles menées auprès de la population locale ont permis de valider cette cartographie.

2.2.3. Cartes liées aux aménagements antiérosifs en banquettes

En 2022, une exploration exhaustive des banquettes anti-érosives à l'échelle du bassin versant de Sbaihia, a permis de documenter chacun de ces aménagements et de délimiter les secteurs (zonation) dans lesquels les banquettes contiguës étaient relativement homogènes en matière de géométrie, de position par rapport au versant et de date d'installation. Pour chaque zone prédéfinie, au moins une banquette représentative a été sélectionnée et documentée grâce à des relevés détaillés qui sont consignés dans une fiche de terrain présentée en annexe I. Les informations recueillies regroupent des données qualitatives et quantitatives au niveau de la banquette sélectionnée et son pourtour. L'analyse de ces données nous a permis de dégager des cartes thématiques en lien avec l'état des banquettes en 2022 et l'évolution de leur installation ou suppression entre 2010 et 2022. Nous détaillons ci-dessous les principales cartes que nous avons établies et analysées dans ce mémoire.

- Carte des hauteurs amont des banquettes en 2022

Les banquettes sélectionnées pour un relevé détaillé sont tout d'abord découpées en plusieurs transects en fonction de leur changement de forme. La géométrie de chaque transect est alors caractérisée sur une section moyenne représentative via des mesures relatives à la largeur de la crête, à la hauteur et la largeur du talus amont et aval de la banquette. La cartographie de la hauteur amont est particulièrement intéressante pour présenter l'état de banquette en relation avec le comblement de son canal amont et le risque de surverse. Pour cette grandeur nous avons choisi une représentation en quatre classes :

- [0 - 15 cm [: très faible
- [15 – 50 cm [: faible
- [50 – 85 cm [: satisfaisante
- >85 cm : élevée

- Carte des dysfonctionnements observés en 2022 au niveau des bourrelet des banquettes

Les dysfonctionnements au niveau de ces banquettes sélectionnées ont été relevés sur le terrain et repérés précisément grâce à des levés GPS. Ces observations ont ensuite été mobilisées pour produire une carte des dysfonctionnements suivant une typologie détaillée et basée sur la forme et la position de la brèche détectée dans le bourrelet. Notons que l'image Google Earth 2021 nous a aidé à pré-identifier les principaux dysfonctionnements.

- Carte d'évolution des aménagements en banquettes

L'interprétation des images Google Earth sélectionnées de 2010, 2013, 2018 et 2021, appuyée par le relevé de terrain exhaustif en 2022, nous ont permis d'établir la carte d'évolution des grandes phases d'installation ou suppression des aménagements en banquette sur Sbaihia entre 2010 et 2022. Cette carte a ensuite été fusionnée avec celle proposée par Rebai (2017) pour la période 1948-2009, pour permettre d'offrir une image globale des grandes phases d'installation et suppression des banquettes de 1948 à nos jours.

2.2.4. L'enquête socio-économique

L'enquête a été menée auprès de personnes qui ont un lien direct avec le bassin versant de Sbaihia. Les personnes interrogées sont : le seul agriculteur propriétaire du bassin, les employés permanents représentant 14 % des interrogés ou encore auprès des habitants de petits douars (petits noyaux d'habitation) limitrophes de la partie orientale du bassin versant (80% des interrogés) dont le Douar le plus proche est celui de Ouled Alaya. En fait, le site d'étude fait partie de leur vécu. Ceci est grâce à leurs activités quotidiennes telles que le pâturage de leurs troupeaux, composés majoritairement d'ovins et de caprins. En fait, ils sont des exploitants du lac collinaire.

Nous avons essayé d'organiser les questions de l'enquête, qui mêlent questions à choix multiples et questions libres, sous forme de cinq grands axes (Voir Annexe II) :

- Caractéristiques socio-démographiques des enquêtés
- Exploitation et production animale
- Perception du problème de l'érosion hydrique
- Perception des travaux CES
- Perception du rôle de la forêt

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Excel.

Conclusion de la première partie

En résumé, le bassin versant de Sbaihia semble avoir des caractéristiques qui le prédisposent à l'érosion hydrique du fait des facteurs biophysiques et climatiques. En effet, les principaux traits du milieu physique forment un milieu fragile face à l'érosion des sols, notamment le relief qui est assez fort, la géologie et la pédologie qui sont remarquablement sensibles ainsi que l'irrégularité des précipitations. L'activité anthropique dans bassin versant, principalement basée sur l'agriculture et des pratiques conventionnelles, est également un facteur aggravant bien connu pour la dégradation des sols par érosion hydrique (Montgomery, 2007). Finalement, la mise en place progressive de banquettes anti-érosives pour lutter contre cette dégradation ne semble pas suffisante pour contrer ce phénomène et il est intéressant d'essayer d'en comprendre les raisons, pour en tirer des enseignements à l'occasion de futurs aménagements.

Nous avons également exposé les méthodes et les outils utilisés, qui reposent sur plusieurs types de données produites dans le cadre de ce mémoire, notamment via des relevés et enquêtes de terrain. Nous avons également mobilisé des données existantes afin de consolider et d'étendre les analyses cartographiques menées de ce travail.

DEUXIÈME PARTIE : CARACTÉRISTIQUES ET ÉVOLUTION DE L'ÉROSION HYDRIQUE

1. Étude de l'érosion hydrique

1.1. Cartographie des manifestations de l'érosion hydrique des sols en 2022

La forme de dégradation des sols dominante dans le bassin versant de Sbaihia est l'érosion hydrique dont 80% des enquêtés confirment son existence dans la zone d'étude et ses alentours notamment dont 77% indiquent qu'elle de forte intensité. En effet, elle touche les versants et les cours d'eau en prenant différentes formes (Fig. 9).

1.1.1. L'érosion en nappe

L'érosion en nappe (Sheet Wash ou Interill Wash), parfois appelée érosion aréolaire, se manifeste avec le ruissellement laminaire (dit aussi pelliculaire). L'érosion sous forme de tout petits chenaux est souvent intégrée à l'érosion en nappe. La taille de ces chenaux est cependant très limitée, et n'excède pas le centimètre car le ruissellement laminaire migre latéralement et change de chemins en cas d'obstacles (Biro, 1981). D'après Roose (1967), l'érosion en nappe est *“d'autant plus dangereuse et pernicieuse qu'elle est peu visible pour un œil non averti”*. Ce qui explique l'absence des enquêtés qui ont confirmé l'existence de ce type d'érosion, contrairement à d'autres type d'érosion hydrique.

Dans le bassin versant de Sbaihia, les zones affectées par l'érosion en nappe sont très répandues, mais avec différentes ampleurs. Les manifestations de ce type d'érosion peuvent prendre plusieurs formes, telles que la présence des taches blanches, qui affectent souvent les versants occupés par les cultures et qui s'intensifient au niveau de la partie centrale du bassin versant (photo 7). On reconnaît également les manifestations de cette forme d'érosion à travers la présence de pavages caillouteux, essentiellement localisés au niveau des crêtes septentrionales et orientales du bassin versant, ainsi que dans la rive occidentale du lac collinaire. Cependant, aucune manifestation nette de ce type d'érosion n'a été identifiée au niveau des zones forestières encore couvertes d'une végétation dense et permanente.



Photo 7- Manifestations de l'érosion en nappe sur le bassin de Sbaihia (AMRI S., octobre 2022)

1.1.2. L'érosion linéaire

Dès que le ruissellement s'organise et se concentre, il est très fréquent que l'érosion linéaire s'active. Sur Sbaihia, nous avons pu distinguer différentes formes d'érosion concentrée :

- Les griffes ou les griffures : ces chenaux de dimension de quelques centimètres se produisent lorsque *“Le ruissellement acquiert une certaine énergie abrasive qui met en mouvement des particules facilement détachables”* (Sabir, 1986). La présence de telles manifestations est très fréquente, et quasi généralisée, après les averses significatives.

- Les rigoles : ces chenaux de dimension décimétrique ont été identifiés sur deux secteurs du bassin étudié. Le secteur principal se trouve en haut de versants, en dessous de la crête septentrionale, sur des zones de forte pente souvent dénudées ou occupées par les oliviers. Sur ces secteurs, les sols sont souvent très peu profonds ce qui facilite l'apparition de la roche mère sous-jacente et l'élargissement des rigoles. Le deuxième secteur touché par ces rigoles est le centre du bassin versant, déjà attaqué par l'érosion aréolaire. Dans ce cas, les rigoles poursuivent leurs parcours jusqu'à atteindre l'espace forestier (photo 8).



Photo 8- Exemples des rigoles (AMRI. S., juin et juillet 2022)

- Les ravines (ou ravins) : ces chenaux de hauteur et longueur métrique ou pluri-métrique, débouchent souvent les uns dans les autres jusqu'à atteindre les grands axes de l'oued, si bien qu'ils forment un ensemble cours d'eau connectés débouchant jusque dans le lac situé à l'exutoire du bassin. C'est cet ensemble de cours d'eau au régime très intermittent (éphémère en réalité), oued compris, que l'on appellera dans ce mémoire "réseau ravinaire" ou parfois réseau hydrographique. Au niveau de la rive occidentale du lac collinaire, le ravinement est plus hiérarchisé et les interfluves sont très étroits, et dans ce cas, nous pouvons parler de badlands (dits aussi robines), où l'activité de ravinement est très intense et généralisée (photo 9).



Photo 9- Badlands dans le bassin versant de Sbaihia (AMRI S., mars 2022)

1.1.3. Les formes d'érosion dans les cours d'eau

Dans le bassin versant de Sbaihia, les manifestations de l'érosion sur la morphologie des cours d'eau ne sont pas très actives, excepté lors des grandes averses. Cependant, ils ne sont pas négligeables.

- Recul dans le lit de l'oued principal et des ravins : ces formes de recul apparaissent sous forme de cascades (plunge pool) qui présentent des ruptures de pentes. Elles peuvent se présenter sous la forme d'un escalier stabilisé lorsqu'il y a mise à nu des roches en place par l'érosion différentielle des intercalations entre roches dures et tendres. Dans notre cas, les bancs calcaires apparaissent dans le cours moyen de l'oued principal (photo 10). Sinon, les cas les

plus observés sur le terrain sont les marmites d'érosion qui se produisent dans les formations tendres.



Photo 10- Recul en escalier au niveau du cours d'eau principal (AMRI S., juillet 2022)

- Recul de têtes de ravins : ce type de recul se manifeste également sous forme de marmite d'érosion, positionnée au niveau de la tête de ravin. Dans cette situation, si le recul est actif et conduit à une augmentation de la longueur de ces ravins par érosion régressive.
- Recul des berges : Ce phénomène s'observe au niveau des entailles qui perturbent la continuité de la berge. Ces entailles sont souvent des rigoles ou petits ravins qui se développent au niveau de points d'entrée d'eau de ruissellement des versants vers le lit.
- Berge attaquée par glissement : il s'agit d'un mouvement de masse au niveau de la berge après imbibition de la roche tendre (dans notre cas la marne) par l'eau infiltrée (photo 11). Ces glissements élargissent la section du cours d'eau au dépend des terres alentour.



Photo 11- Glissement des berges sous forme de pans (AMRI S., juillet 2022)

- Berge attaquée par sapement : cette forme d'érosion correspond à des incisions latérales en pied de la berge, souvent présentées sous forme d'encoches, qui sont générées par l'énergie du ruissellement concentrée. Cette situation conduit souvent à des conditions de porte-à-faux et par suite d'écroulement et élargissement de la voie d'eau. Ce type est peu prépondérant dans le bassin versant et ne s'active qu'occasionnellement au niveau du cours moyen de l'oued principal. Pour les méandres, ils sont pratiquement absents dans le site d'étude.

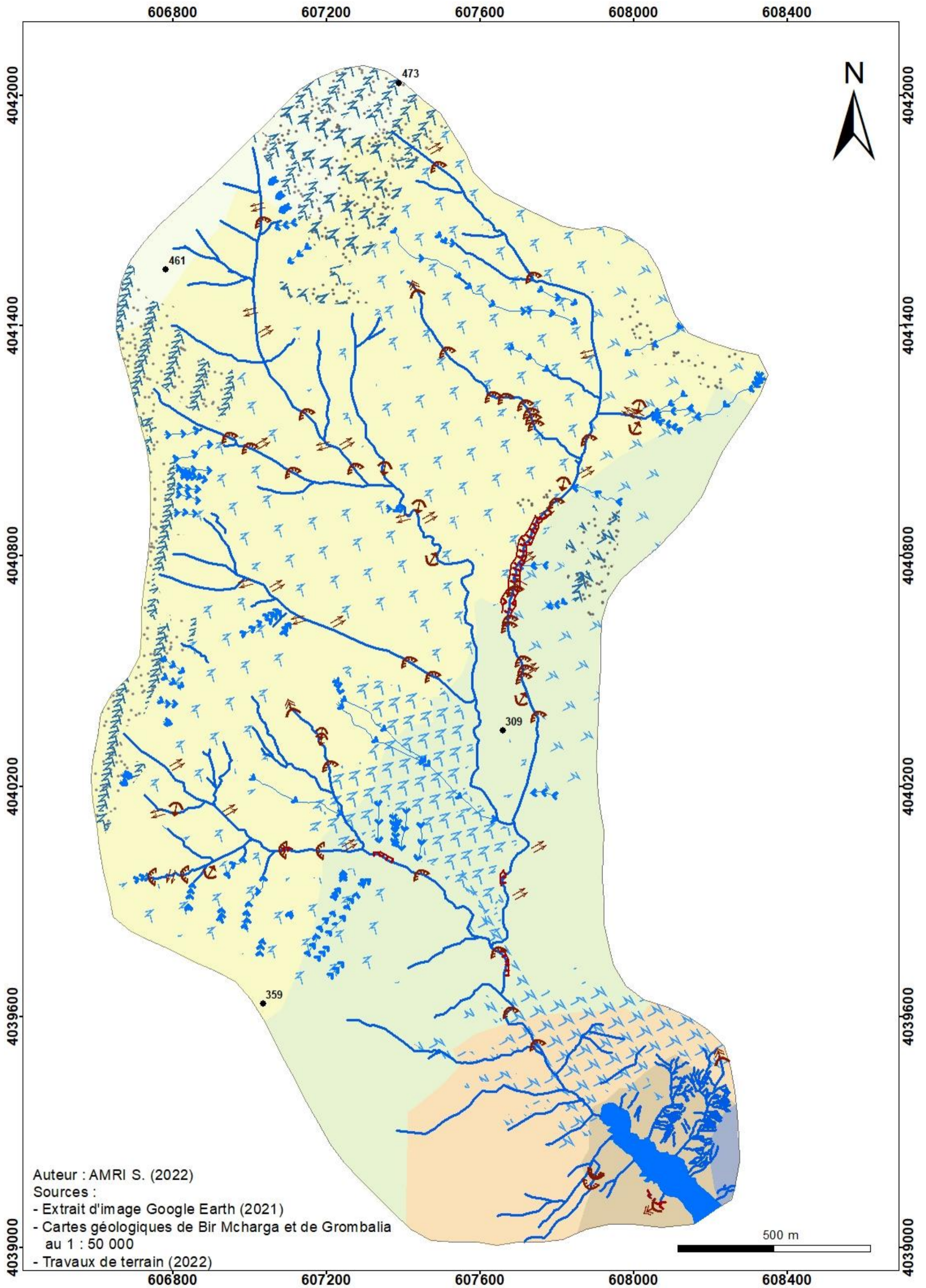














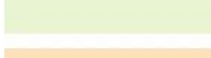







Fig. 9- Cartographie des manifestations de l'érosion hydrique sur le bassin versant de Sbaihia en 2022.

Légende de la carte des manifestations de l'érosion hydrique

	Ravin
	Rigole
	Berge attaquée par sapement
	Berge attaquée par glissement
	Recul des berges
	Recul de têtes des ravins
	Recul dans les lits des ravins
	Décapage fort en pavage caillouteux
	Décapage modéré en pavage caillouteux
	Décapage fort en taches blanches
	Décapage modéré en taches blanches
	Quaternaire : Eboulis et sols éluviaux
	Campanien supérieur : Marno-calcaires et calcaires blancs massifs
	Santonien supérieur-Camparien inférieur : Marnes
	Turonien-Santonien inférieur : Marnes grises-verdâtre avec intercalations de calcaires
	Albien : Alternance de marnes et de calcaires marneux gris
	Aptien : Marnes grises avec des calcaires argileux et des quartzites
	Lac collinaire
	Limite du bassin versant
	Point coté

1.2. Caractérisation de l'évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022

Durant la période 2010-2022, la longueur du réseau ravinaire dans le bassin versant de Sbaihia a progressé de 4.93 %, ce qui équivaut à une progression annuelle de l'ordre de 0,38 %. Ces résultats montrent une légère augmentation de la progression du réseau ravinaire par rapport à la période 1982-2009 pendant laquelle la progression annuelle avait été estimée à 0,1 % par Rebai (2017).

Aussi, nous avons trouvé que la densité de drainage du réseau ravinaire passe de 61,35 à 64,38 m/ha entre 2010 et 2022.

La formation de nouveaux tronçons de ravins est très majoritairement responsable de la progression du réseau ravinaire puisqu'elle contribue à hauteur de 1026 m alors que le recul de tête de ravine ne concerne que 3 tronçons pour une longueur totale de 54m (Tableau 1 et Fig. 10).

Les tronçons apparus se manifestent pour partie sous la forme de ramifications latérales ayant souvent de petites sections transversales. L'autre partie des tronçons apparus l'ont été au niveau d'un affluent principal de l'oued Sbaihia localisé dans la partie nord-est du bassin versant. Il s'agit en fait de la réactivation de deux tronçons d'anciens ravins qui avaient été comblés en 2010 et qui ont repris leur cours naturel. Cette tentative d'effacement qui a échoué explique en grande partie la hausse constatée de la progression du réseau ravinaire par rapport à la période 1982-2009.

Tableau 1. Évolution du réseau ravinaire dans le bassin versant Sbaihia entre 2010-2022

Longueur du réseau inchangé (m)	21878	
Longueur des tronçons apparus entre 2010 et 2022 (m)	1080	
	Nouveau ravin	Recul de tête
	1 026	54

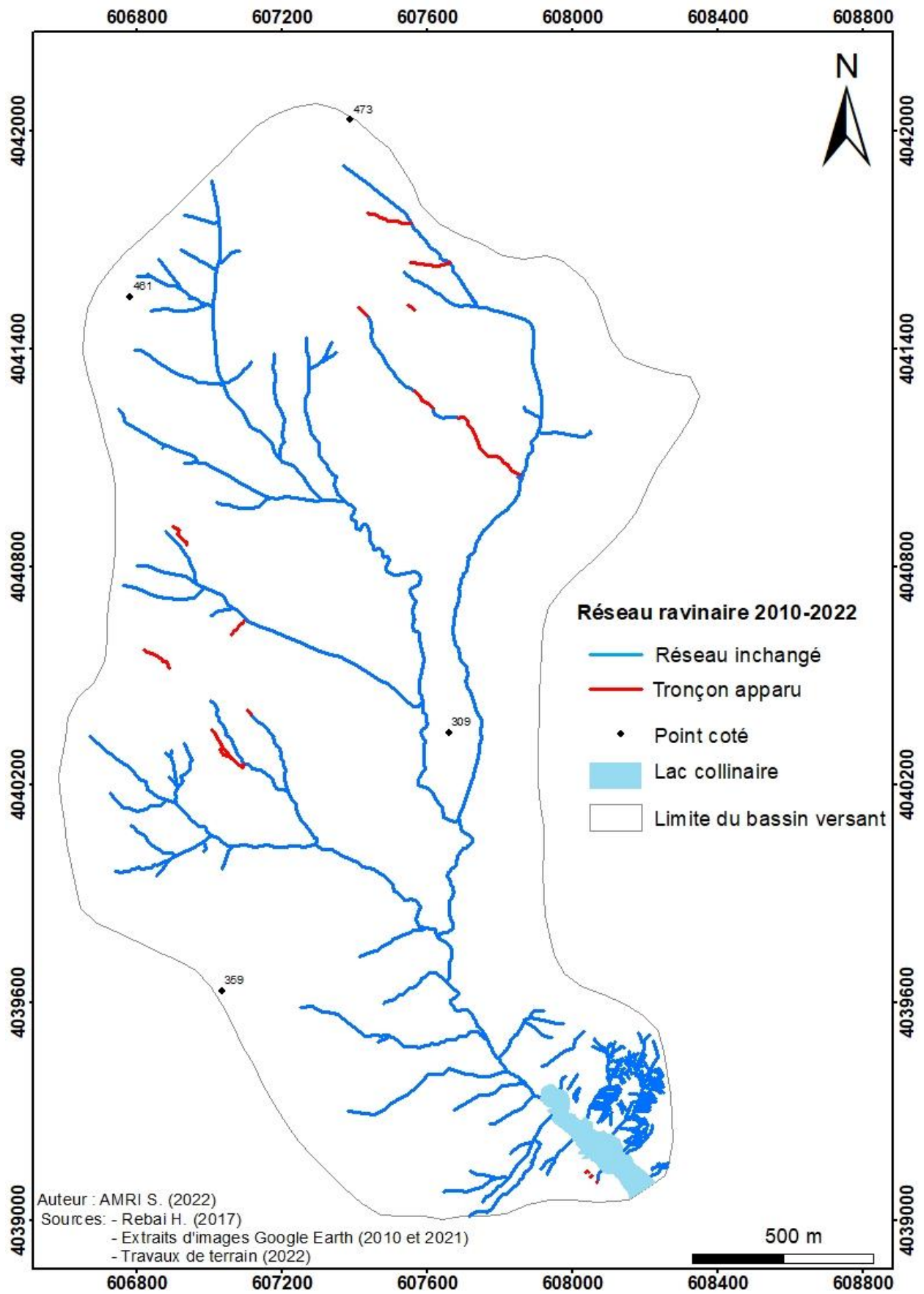


Fig. 10- Évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022

2. Analyse des facteurs explicatifs de l'évolution de l'érosion ravinatoire

2.1. Facteurs naturels

2.1.1. Pente et lithologie

La confrontation entre la densité du réseau ravinatoire et les deux paramètres naturels que sont la pente et la lithologie (Fig. 11) a permis de mieux comprendre la répartition du réseau ravinatoire. Nous constatons que la pente est le principal facteur explicatif de la densité de drainage du réseau ravinatoire, avec des valeurs inférieures à 60 m/ha pour les pentes comprises entre 10 et 25% est supérieures à 60 m/ha pour les pentes comprises entre 0 et 10% et pour les pentes supérieures à 25%, et ce quel que soit le type de lithologie.

En outre, la densité de drainage est plus élevée dans les secteurs situés sur une intercalation de roches dures et de roches tendres, que sur les secteurs situés sur une lithologie tendre, sauf lorsque la pente est très faible (0-5%).

Par ailleurs, nous constatons que la progression de la densité de drainage entre 2010 et 2022 se fait majoritairement sur les secteurs de roches tendres, quelle que soit la classe de pente.

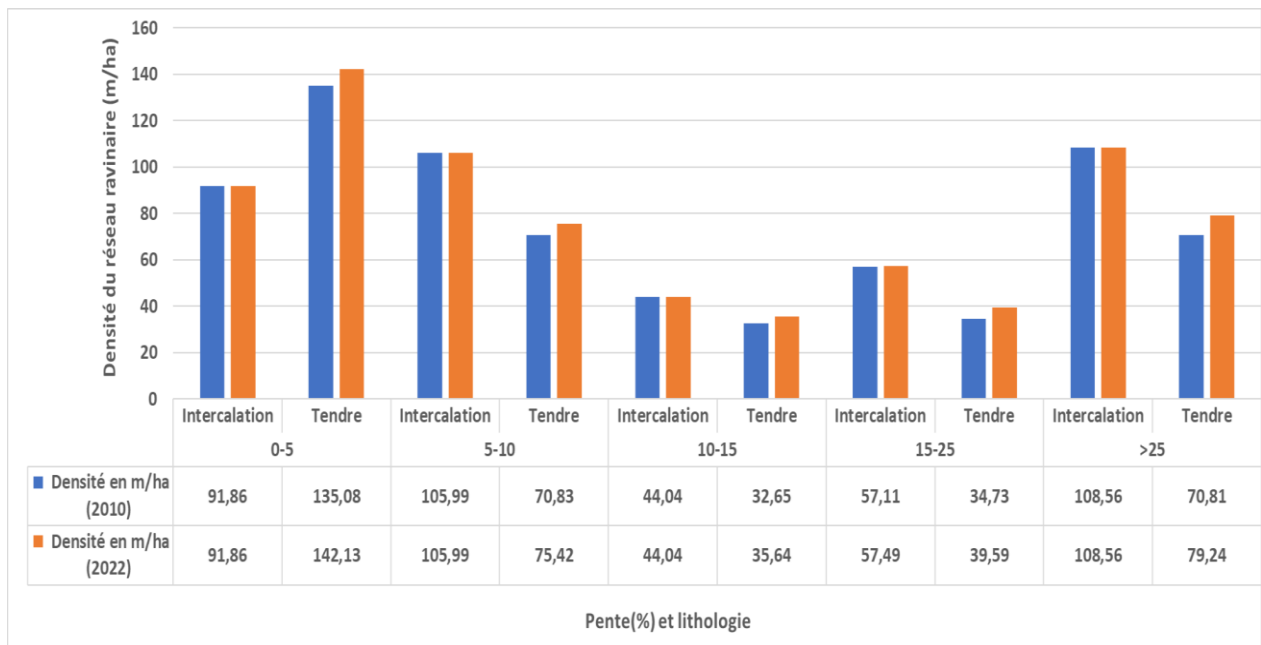


Fig. 11- Répartition et évolution de la densité de réseau ravinatoire en fonction de la pente (exprimée en % sous forme de classe) et le type de lithologie (roches tendres ou intercalation de roches dures et tendres) entre 2010-2022

2.1.2. Les averses exceptionnelles

Dans la première partie, nous avons pu déceler une irrégularité du régime pluviométrique aux échelles interannuelle et inter mensuelle. En fait, il convient également de noter que les averses

varient du point de vue quantitatif et temporel pour chaque année. Par exemple, pour l'année hydrologique 2018-2019, 135 mm ont été enregistrés en deux jours, dont l'averse la plus importante s'est produite le 17 septembre 2018 avec un volume total de 102 mm. Ainsi, ces averses peuvent être successives. C'est le cas durant l'année hydrologique 2011-2012 au cours de laquelle on a dégagé quatre jours de pluies fortes, dont trois jours successifs (29, 30 septembre et 1er octobre 2011). Donc, l'importance de ces précipitations ; notamment celles qui se produisent en automne sous forme d'orages violents, peut dépasser la capacité d'infiltration des sols et facilitent l'action érosive du ruissellement et l'alimentation des ravins, surtout qu'elles tombent à un moment où les sols sont bien souvent encore nus ou très peu couverts.

D'autre part, l'importance de l'effet des averses sur le déterminisme ravinaire est clairement marquée dans la perception des enquêtés, qui définissent l'érosion hydrique comme un phénomène d'origine naturelle, principalement dû à l'effet des pluies (Fig. 12). Notamment que 57 % perçoivent que l'érosion est plus sévère en hiver, 13 % en hiver et automne et 10 % en automne.

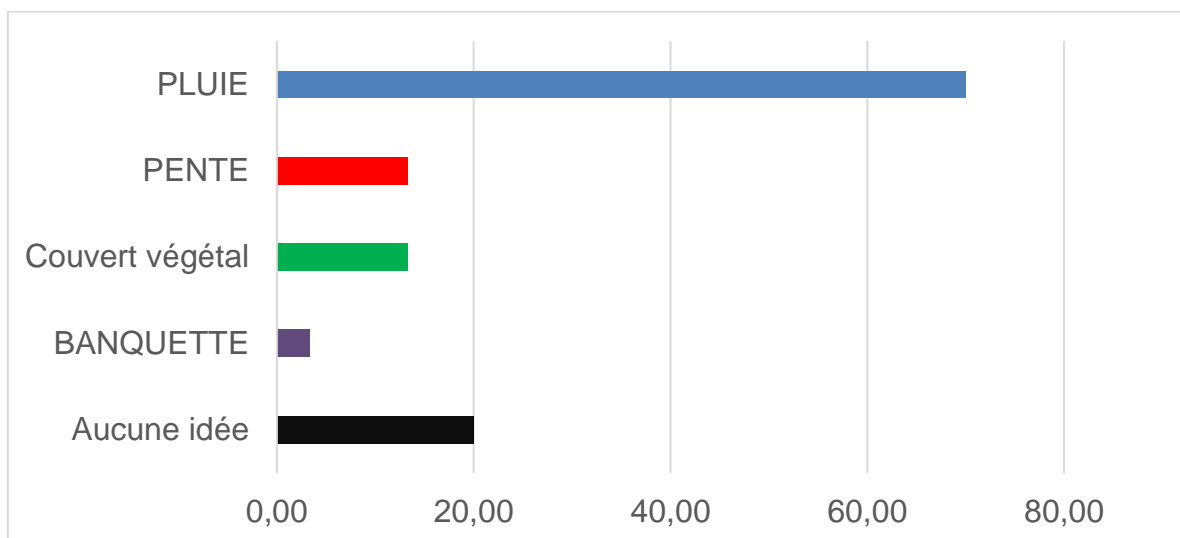


Fig. 12- Les causes de L'érosion hydrique citées par les paysans (Enquête AMRI S., 2022)

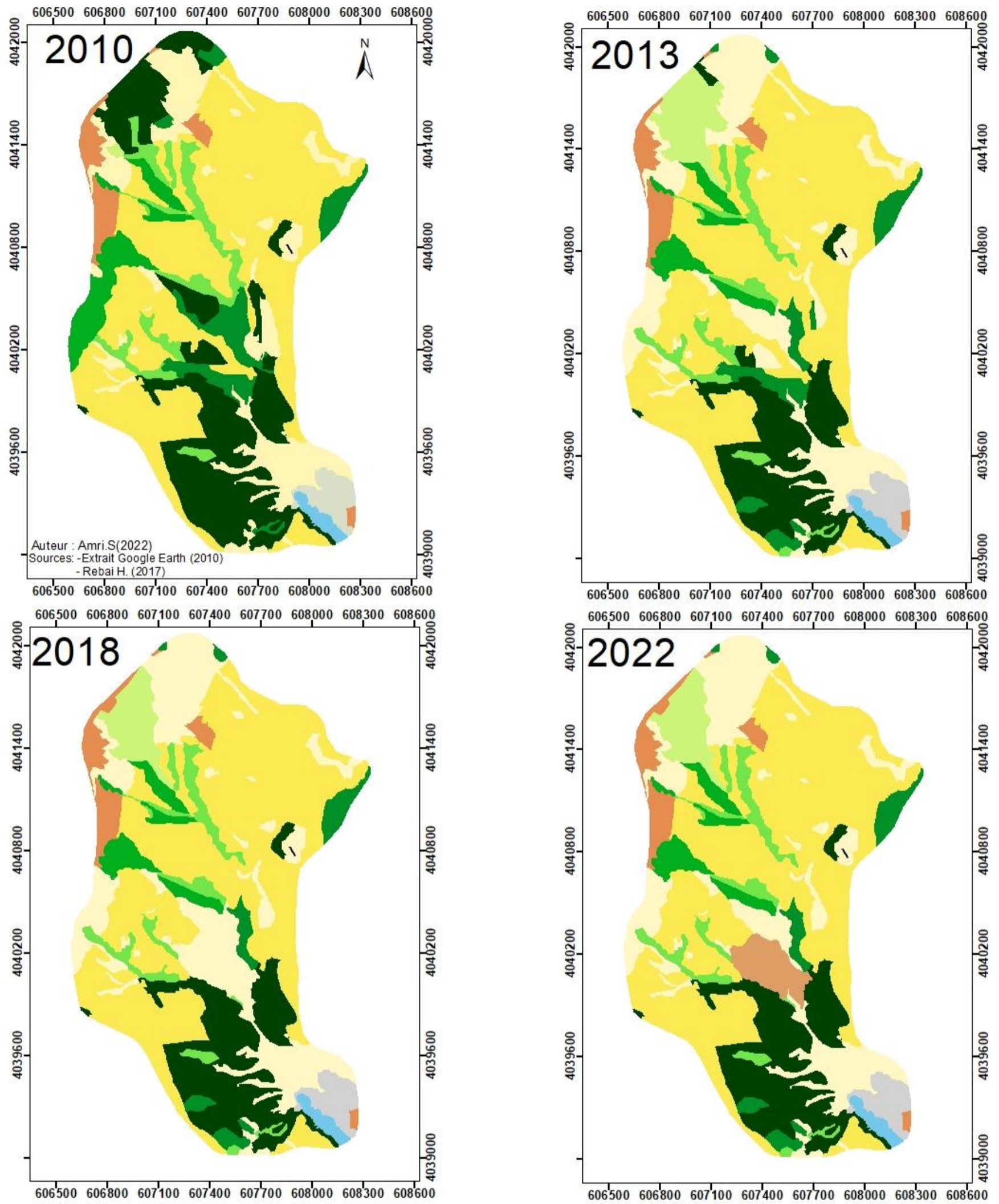
2.2. L'évolution de l'occupation du sol : dégradation de couvert végétal

Depuis l'apparition de l'agriculture au Néolithique, l'Homme a exercé une influence sur l'érosion par ses diverses activités qui sont inscrites comme des facteurs déterminants des caractéristiques actuelles de l'érosion (Coque, 1977). C'est le cas dans le bassin versant de Sbaihia, où bien que les facteurs naturels soient souvent des facteurs stables, les interventions humaines se sont multipliées et ont favorisé l'érosion hydrique.

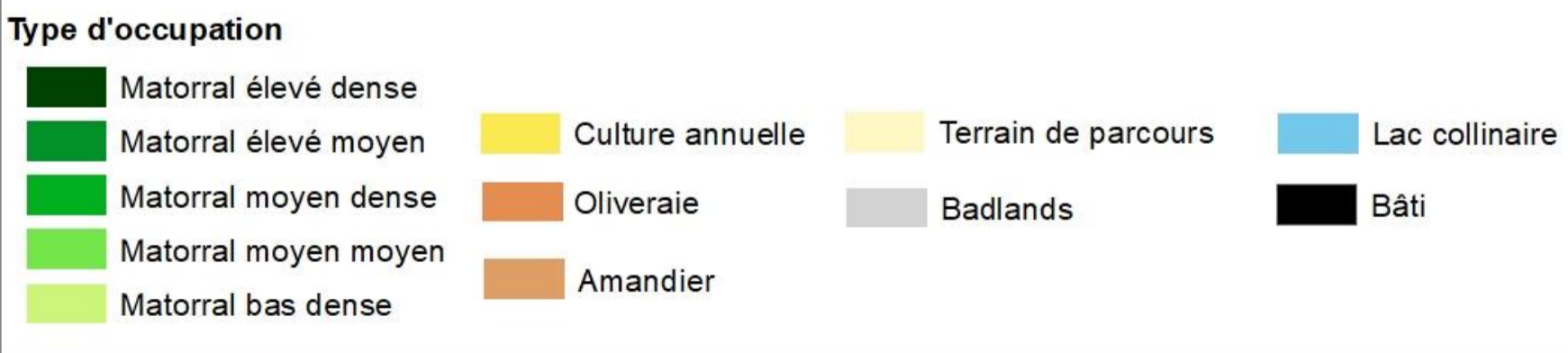
2.2.1. Examen du changement intervenu sur l'occupation du sol entre 2010-2022

La figure 13 relate l'évolution de l'occupation des sols au cours des années 2010, 2013, 2018 et 2022. Ces cartes, ainsi que le tableau 2, montrent une régression de 24,96% de la superficie de l'espace forestier entre 2010 et 2022. Cette régression fut très remarquable entre 2010 et 2013. Elle s'est poursuivie à un rythme moins intense entre 2013 et 2018 et s'est arrêtée depuis.

Sur la période étudiée, la conversion de l'espace forestier (perte d'ordre 33 ha) s'est faite soit au profit des parcours (gain d'ordre 18 ha), soit au profit des terres cultivées (gain de 15 ha). On peut aussi noter que la conversion se fait parfois en deux temps, d'abord une conversion de l'espace forestier en parcours, puis une transformation des parcours en cultures.



Auteur : Amri.S(2022)
Sources: -Extrait Google Earth (2010)
- Rebai H. (2017)



Auteur : AMRI S. (2022)

Sources:Extrait d'images Google Earth de 2004 jusqu'à 2021

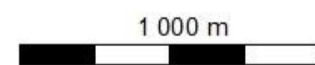


Fig. 13- Évolution de l'occupation des sols dans le bassin versant de Sbaihia entre 2010 - 2022

Tableau 2. Évolution du réseau ravinaire dans le bassin versant Sbaihia entre 2010-2022

Type d'occupation (ha)	2010	2013	2018	2022
Espace Forestier	131,92	110,35	99,01	99,01
Parcours	48,01	63,38	76,6	66,02
Cultures	167,98	174,05	172,3	182,87

2.2.2. Processus menant à la conversion de vocation des terres

- Enquête sur les motivations de la conversion

D'après l'enquête menée dans ce travail, le rôle de la forêt est important pour l'ensemble des enquêtés (100%).

Les résultats de l'enquête en lien avec la question ouverte concernant le rôle de l'espace forestier pour les enquêtés (Fig. 14) mettent en évidence l'étroite relation entre l'Homme et la forêt, notamment pour les petits paysans limitrophes du bassin versant pour lesquels les activités vitales se déroulent dans un cadre de rareté des sources d'emploi. En effet, les retombées positives de la forêt en matière économique (Pâturage du bétail, récolte des fruits des pins d'Alep, collecte des plantes aromatiques comme le romarin et le thym et charbonnage) arrivent en tête des réponses devant les autres considérations liées au cadre de vie (beauté des paysages, air pur, etc.). Cependant, pour le paysan propriétaire du bassin versant, les bienfaits de la forêt sont plus mitigés et finalement il pense qu'il vaut mieux la convertir en zone de culture (arboriculture principalement), plus rentable pour lui.

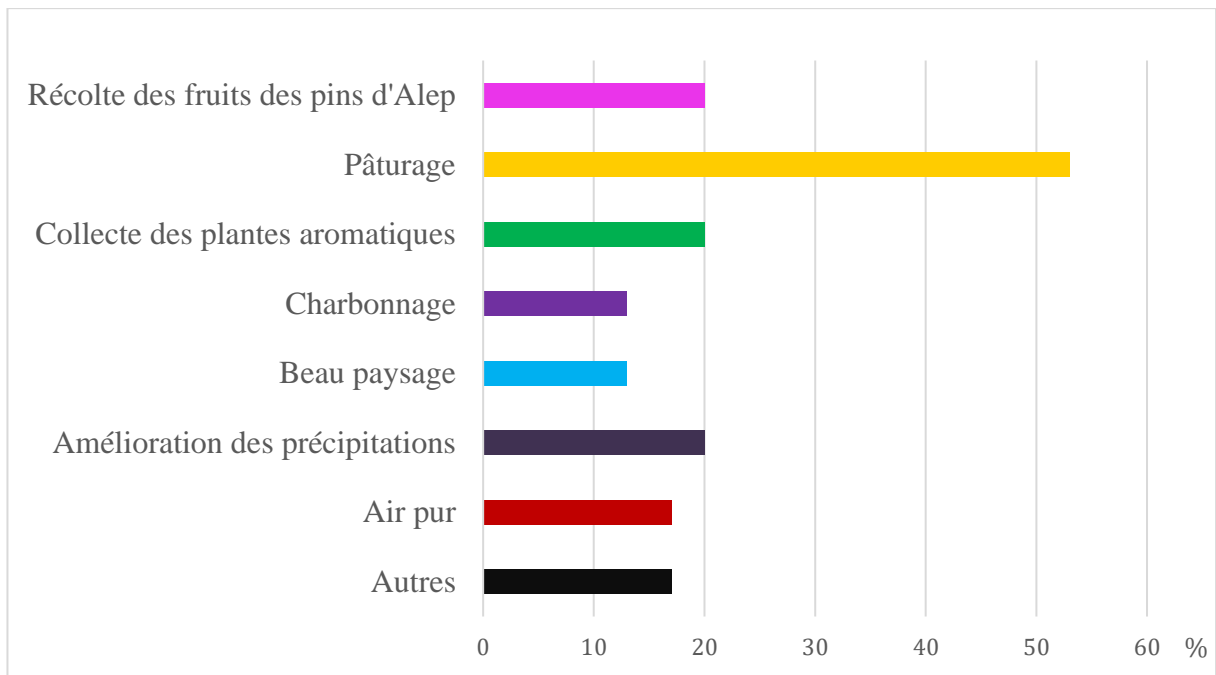


Fig. 14- Les différents rôles de la forêt tels que perçus par les paysans (AMRI S., 2022)

- Les processus de la conversion

Le défrichement est une action qui marque l'expansion humaine aux dépens des zones naturelles et qui conduit souvent à des conditions favorables à l'érosion. En prenant l'exemple de la zone méditerranéenne (Roose et Sabir, 2002), le défrichement de la forêt exercé par les différentes civilisations depuis trois mille ans est considéré comme l'une des principales causes d'augmentation de la vulnérabilité des sols face à l'érosion hydrique dans cette zone. En Tunisie, le contexte général du pays lors de la transition politique (surtout entre 2010-2013) était très favorable pour faire des défrichements illégaux comme le mentionne Chriha et Sghaier (2013) : *“ Le recul de l'État pousse de nombreux individus à transgresser le cadre légal dans de multiples domaines. L'espace forestier se retrouve victime de déprédations à grande échelle. Des feux sont volontairement déclenchés afin de permettre l'accaparement spontané des terrains dévastés”*.

Lors de notre enquête, 100 % des personnes interrogées ont déclaré que la forêt est menacée. D'après 77% des enquêtés, cette menace provient essentiellement des incendies, tandis que pour les 23 % restants les menaces sont naturelles en lien avec le manque d'eau (pluie).

Sur le bassin étudié, la conversion de l'espace forestier vers des terres de culture s'est essentiellement opérée à travers des incendies, qui ont commencé bien avant notre période d'étude (2010-2022), complétés par des actions de défrichement (Fig. 15). Le déclenchement

des incendies peut être d'origine locale ou limitrophe du bassin. Le devenir des forêts ayant subi les incendies varient selon leur localisation. Les forêts localisées au niveau de la crête et/ou de zones en pente raide n'ont pas subi de déracinement radical (essouchage) et la vocation forestière de ces zones a été maintenue, soit par régénération d'une forêt de pin d'Alep dans le cas des versants incendiés entre 2010 et 2013 dans la partie occidentale du lac (en vert sur la figure 14), soit par régénération d'un matorral bas et dense dans la partie septentrionale du bassin versant incendiée au cours de la même période. Dans d'autres situations, le propriétaire de la quasi-totalité du bassin versant a réalisé une extraction du système racinaire des arbres incendiés. Ceci concerne surtout la partie centrale du bassin versant dans laquelle la forêt a complètement disparu au profit des terres de culture ou de terres de parcours lorsque les conditions de mise en culture se sont révélées inadaptées.

D'une façon générale, les feux qui rabotent les zones forestières, surtout lorsqu'ils sont intenses, peuvent détruire la matière organique et affectent la fertilité des sols, ce qui augmente leur fragilité. De ce fait, les averses de pluie qui surviennent après peuvent être une importante source de transport de sédiments et de nutriments vers l'aval du bassin. Ainsi, la vulnérabilité du sol par les feux, le défrichage, le déracinement de la végétation naturelle et le labour dans des zones naturellement fragiles et en pente forte, ameublissent les sols, provoquant une désagrégation de leur structure et une aggravation de leur érodibilité.

Pour finir, les grandes évolutions en matière d'occupation des sols sur le bassin versant de Sbaihia entre 2010 et 2022 concernent la conversion de l'espace forestier en terres cultivées ou en parcours, principalement sur les secteurs amont et centraux du bassin versant. Ce changement d'usage des terres vers une vocation culturale n'est pas sans répercussions sur le taux de couverture des sols par la végétation, et par conséquent sur la vulnérabilité de ces terres à l'érosion hydrique.

Par ailleurs, la dynamique de conversion n'est sans doute pas terminée, comme en témoignent des feux de forêt dont nous avons été témoins lors de nos travaux de terrain, durant l'été 2022, dans des zones limitrophes du bassin versant. Cependant, l'Homme a également cherché à lutter contre l'érosion hydrique en aménageant une partie des terres de Sbaihia avec des banquettes antiérosives.

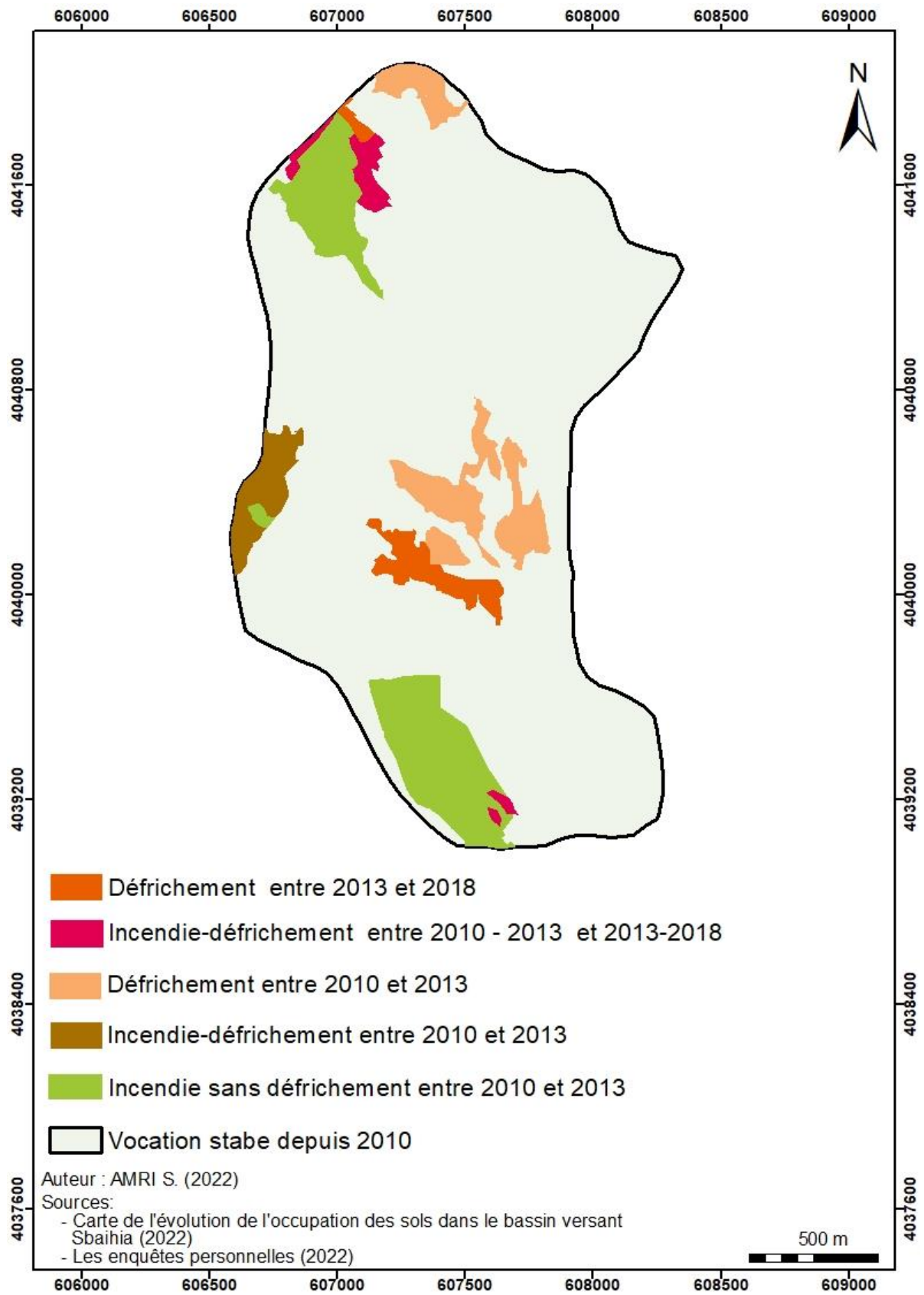


Fig. 15- Principales conversions de vocation des terres entre 2010 et 2022

2.3. L'aménagement antiérosif en banquettes

2.3.1. Evolution de l'aménagement en banquettes

La répartition spatiale des banquettes n'est pas identique sur la totalité du bassin versant. Ainsi nous avons pu distinguer des zones aménagées et d'autres qui ne le sont pas. Les zones aménagées en banquettes occupent environ 63% des zones de cultures et de parcours en 2022 ; couvrant ainsi environ 42% de la superficie totale du bassin versant. Leur réalisation a été faite progressivement (Fig. 16), avec une première vague d'installation autour des années 1981-1982 et une deuxième autour de 1990 (Rebai, 2017). Ces banquettes issues de ces deux premières vagues d'installation ont été réalisées par les services publics à travers la direction de la CES. Elles ont donc aujourd'hui 32 et 40 ans, et représentent à elles seules les deux tiers des zones aménagées du bassin. Le reste des banquettes sont installées ultérieurement, dont environ 10% des zones aménagées actuelles ont été réalisées à l'initiative du propriétaire entre 2010 et 2022.

À ce stade, il est intéressant de noter la suppression de certaines banquettes, sans doute jugées non indispensables par le propriétaire, souvent dans le but d'agrandir l'espace inter-banquettes cultivés.

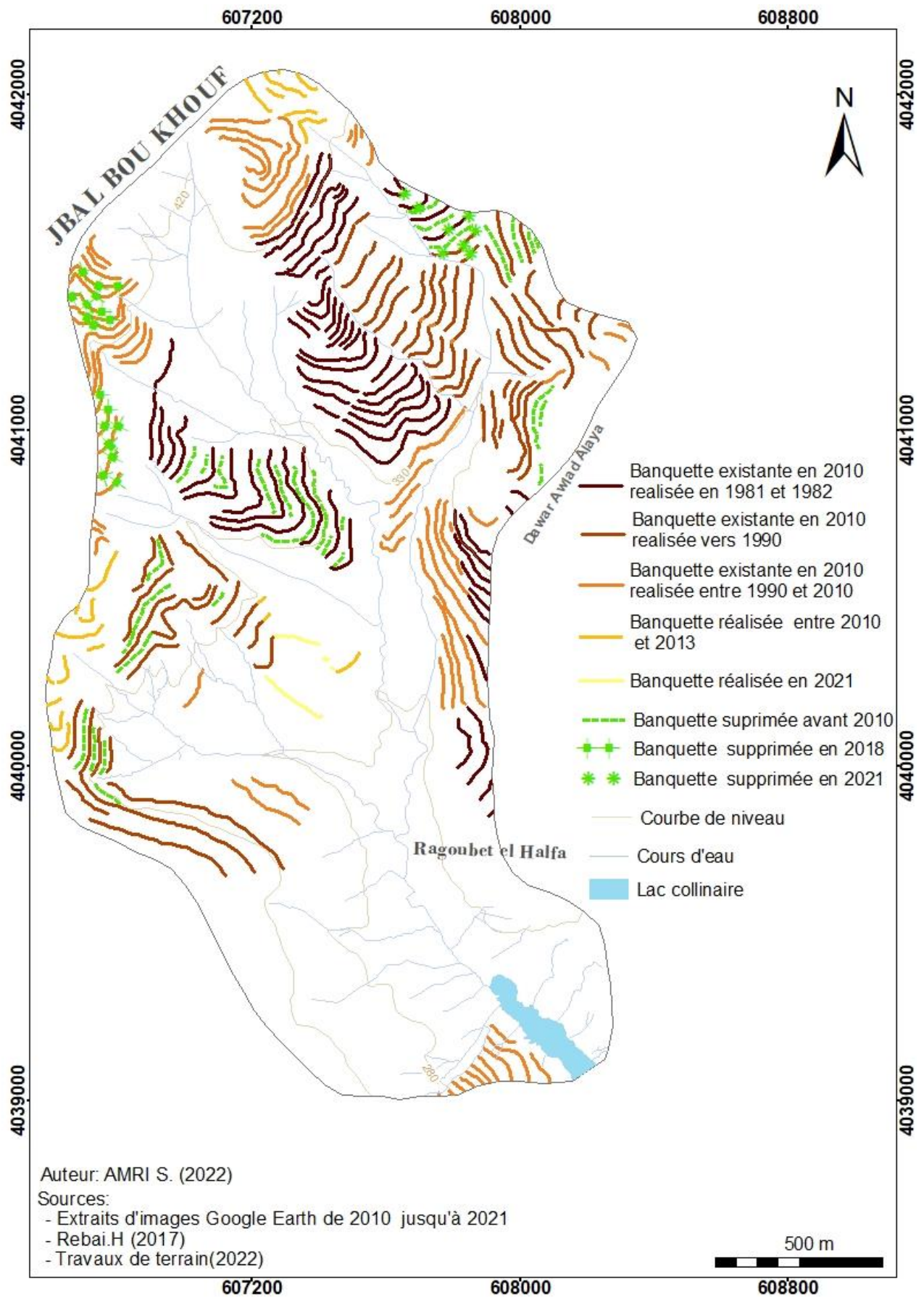


Fig. 16- Évolution des aménagements en banquettes depuis 1981

2.3.2. Réussite globale du rôle des banquettes

Après environ quarante ans d'aménagement en banquettes dans le bassin versant de Sbaihia, nous avons analysé la répartition des zones aménagées en fonction des pentes (Fig. 17).

En fait, en croisant l'évolution de la densité de réseau ravinaire par classe de pente (extrait de la Fig. 11) avec la proportion de surfaces aménagées en banquettes par rapport à la superficie de chaque intervalle de pente, nous avons remarqué que les surfaces aménagées étaient proches, voire supérieures à 50% pour les classes de pente entre 5 et 25%, avec un pic à 63% pour la classe de pente 10-15%. Cependant, il convient de signaler que la faible proportion de surfaces aménagées sur les pentes de plus 25 % est cohérente avec les recommandations d'éviter l'installation sur ces très fortes pentes (Nasri, 2007).

Alors, on remarque bien le rôle bénéfique de la présence de ces ouvrages sur le ravinement puisque la densité de drainage est minimale pour la classe de pente 10-25%, classe pour laquelle le taux de surface aménagée est maximal. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que, d'une part, une partie des ravins ont pu être effacés lors de l'aménagement en banquettes et, d'autre part, que l'existence des banquettes protège efficacement les versants du ravinement.

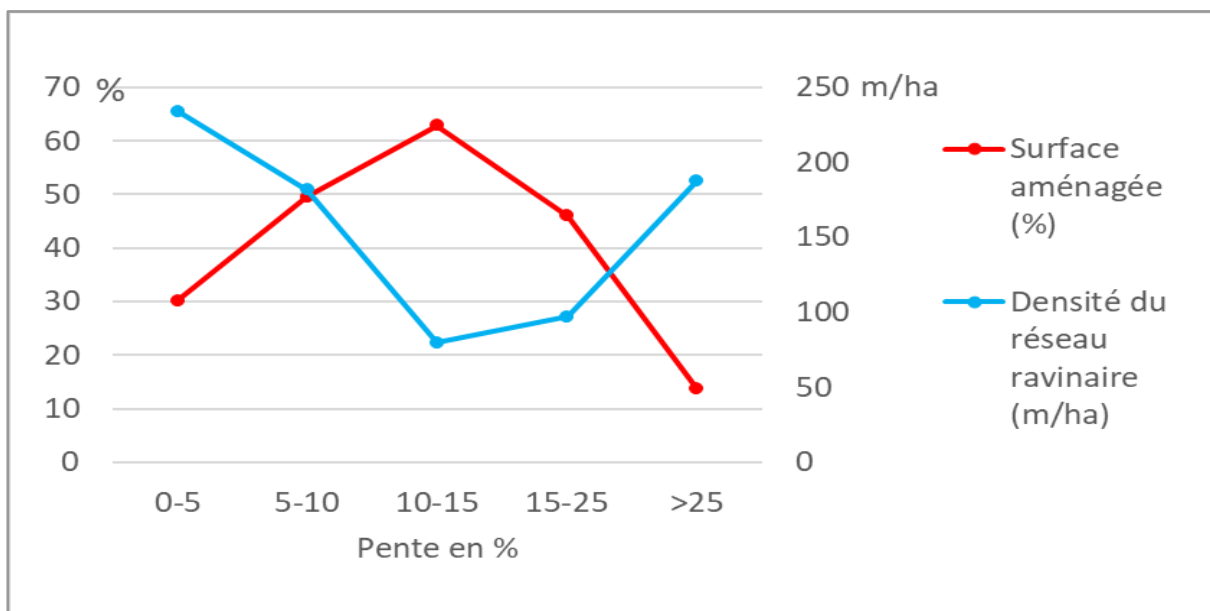


Fig. 17- Surfaces aménagées en banquettes et densité du réseau ravinaire en 2022 selon les classes de pentes sur le bassin de Sbaihia

Au-delà du rôle bénéfique des banquettes sur le ravinement, on a pu constater sur le terrain d'autres effets bénéfiques comme l'amélioration des conditions édaphiques et l'amélioration de

la croissance végétale au niveau des canaux amont des banquettes. On peut citer, à titre d'exemple, le cas de banquettes érigées au niveau de la crête du bassin versant, entre 2013 et 2018, avec comme principal objectif de protéger les banquettes en aval (Baccari, 2008). Dans ces zones sommitales et caillouteuses, souvent utilisées comme des parcours, la végétation est dispersée et très claire. Cependant, localement, dans le canal de la banquette et même sur le bourrelet nous avons remarqué la régénération spontanée des espèces végétales comme le pin d'Alep et le romarin en densité et taille plus importante que celles présentes au niveau de l'espace inter-banquettes. Ceci nous renvoie à l'expression de Roose (2002) pour décrire la banquette antiérosive comme une « *Oasis linéaire* » (photo 12). Cet effet positif des banquettes a été prouvé dans la région de Siliana par Khelifi (2008), qui a montré que l'utilisation des banquettes antiérosives a augmenté le rendement total en orge à proximité des banquettes de 33% et de 10 % dans l'espace inter-banquettes.



Photo 12- Une banquette « Oasis linéaire » (AMRI S., juillet 2022)

Ainsi, lors de l'entretien avec la population locale, 80% évoquent un des rôles souhaitable des banquettes (Fig. 18). En fait, le stockage d'eau vient en tête des réponses. En plus, l'un des enquêtés m'a signalé qu'il a choisi de faire pâturer son troupeau dans le bassin versant de Sbaihia en raison de l'existence de banquettes, qui selon sa perception, est le siège d'une végétation la plus abondante grâce à sa capacité de rétention de l'humidité du sol pendant deux à trois semaines après une averse de pluie.

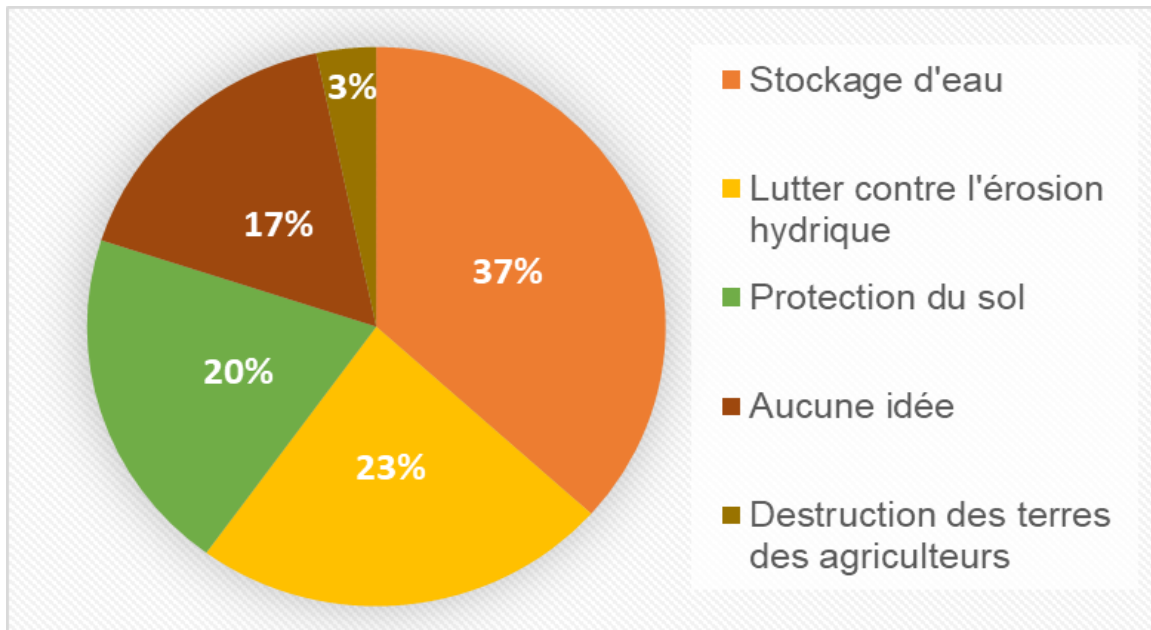


Fig. 18- Perception du rôle des banquettes par la population locale

2.3.3. Une protection antiérosive parfois limitée

L'analyse des secteurs d'apparition des ravins entre 2010 et 2022 (Fig. 19) fait apparaître que la longueur de tronçons de ravins apparus est plus importante dans les zones non aménagées (63.16% contre 36.84% dans les zones aménagées). Si ce résultat est logique, il montre toutefois que l'aménagement en banquettes est parfois insuffisant pour contrer le ravinement.

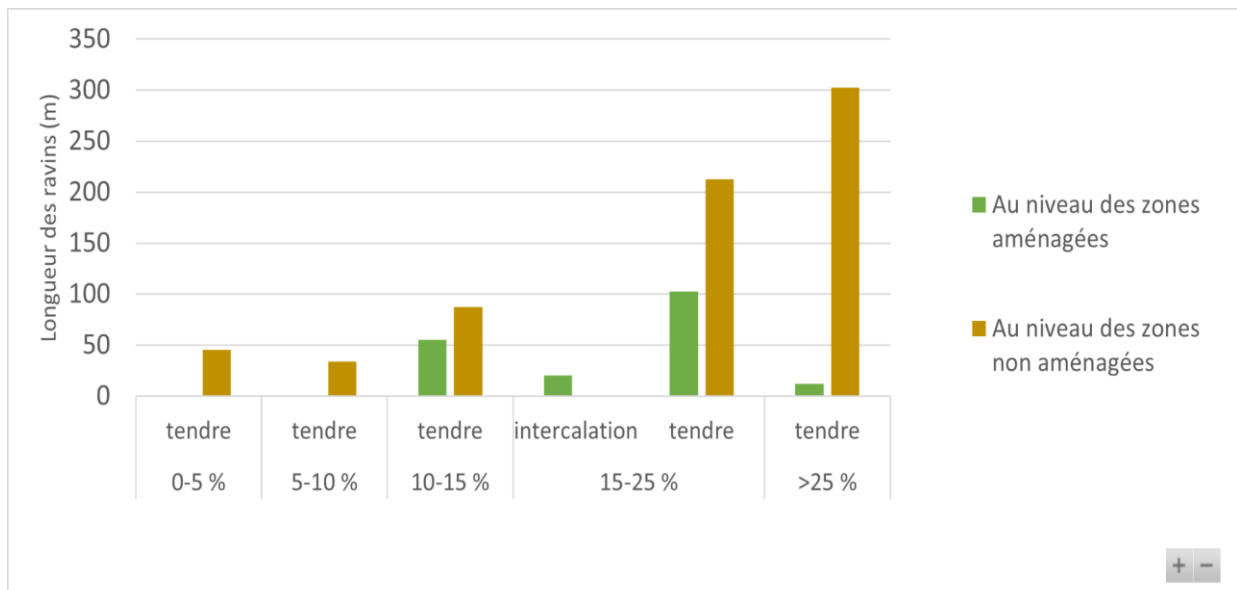


Fig. 19- Longueur des tronçons apparus dans les zones aménagées et non aménagées selon les valeurs de pentes et lithologie entre 2010 et 2022

De façon générale, la longueur des ravins apparus est croissante avec la pente. Par ailleurs, on constate l'apparition de ravins sur des secteurs peu pentus (<10%) uniquement au niveau de zones non aménagées et que les apparitions se produisent presque exclusivement dans les secteurs de lithologie "tendre".

L'analyse détaillée de la répartition spatiale des ravins formés durant la période d'étude dans les zones aménagées dans le bassin versant permet de dégager que :

- Pour la pente entre 10 et 15 %, la longueur de la progression ravinatoire correspond à un tronçon amont d'un ravin formé lors cette période.
- Pour la pente entre 15-25%, les longueurs au niveau des intercalations sont présentées par trois ravins dans la partie méridionale du bassin versant. L'un parmi ces ravins a évolué par recul de tête de source et a ébréché une banquette qui peut être l'origine de leur alimentation. Entre autres, au niveau de la lithologie tendre pour cet intervalle de pente et également pour plus de 25%, les longueurs enregistrées présentent des tronçons amont des nouveaux ravins formés. Leurs sources sont des extrémités de banquettes. Elles correspondent également à des ravins qui apparaissent entre deux éléments de banquette ou en dessous d'une banquette ébréchée.

Généralement, les tronçons amonts de nouveaux ravins formés dans les zones aménagées se prolongent dans les zones non aménagées jusqu'à atteindre les lits de grands axes de l'oued.

Il convient de signaler que pour éviter toute mauvaise représentativité de l'analyse, nous avons choisi d'isoler un ravin que nous considérons comme un cas particulier dans les zones aménagées. En fait, il s'agit d'un tronçon de 873 m de longueur, appartenant à un affluent principal dans la partie nord-est du bassin versant. Il a été comblé en 2010, mais il a ensuite repris son activité naturelle. Dans ce cas, sa localisation en aval de tronçons actifs durant la période d'étude a été à l'origine de cette progression et non pas l'implantation des banquettes.

Conclusion de la deuxième partie

L'activité de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Sbaihia est perceptible que ce soit sur les versants ou bien dans les cours d'eau. Cependant, leur répartition spatiale et temporelle n'est pas identique. Ces variations spatio-temporelles sont conditionnées par des facteurs naturels

comme la pente, la lithologie, les averses de pluie ainsi que par le type d'occupation du sol et l'aménagement antiérosif en banquettes.

D'une manière générale, ces dernières permettent de freiner la progression des rigoles et le transfert des éléments issus de l'érosion en nappe vers les ravins et notamment vers les parties aval. Cependant, la formation des rigoles dans les zones non aménagées, et notamment des zones en forte pente et récemment déboisées, annonce un risque d'évolution vers des chenaux permanents qui pourrait conduire à une progression du réseau ravinaire.

Ainsi, il convient de souligner qu'en dépit de l'existence des banquettes, le ravinement est un risque à prendre au sérieux et dont l'analyse des causes directes et indirectes sera faite dans la troisième partie.

**TROISIÈME PARTIE : DIAGNOSTIC APPROFONDI
DU DYSFONCTIONNEMENT DES BANQUETTES
ANTIÉROSIVES**

1. Typologie et causes des dysfonctionnements des banquettes

Rebai (2017) a mentionné que l'évaluation de l'efficacité des banquettes dans le bassin versant de Sbaihia passe aussi par la prise en compte de leur état de fonctionnement. Ainsi, les traits d'évolution du réseau ravinaire dans les zones aménagées nous ont incité à chercher des éléments de réponses relatifs à l'inefficacité de certaines banquettes, en passant notamment par une identification et une analyse des différentes formes de dysfonctionnement. Dans ce contexte, nous avons pu déceler en 2022 plusieurs types de dégradation affectant la géométrie initiale des banquettes (forme, dimension, continuité) et qui peuvent avoir un impact négatif sur leur fonctionnement si rien n'est entrepris pour y remédier.

1.1. Le comblement total du talus amont des banquettes en 2022

Sans entretien, la hauteur amont d'une banquette a tendance à diminuer sous l'effet de mauvaise pratique de labour et/ou du comblement du canal amont de la banquette dans lequel sont stockés les sédiments détachés à l'amont (Fig. 20). C'est pour cette raison que Baccari (2008) a mentionné que la durée de vie des banquettes est étroitement liée à la vitesse de comblement du canal par des sédiments.

Dans le bassin versant de Sbaihia, l'effacement progressif du canal amont est très fréquent, avec des hauteurs amont de banquettes parfois inférieures à 15 cm (photo 13). Le manque d'entretien pour maintenir un canal amont bien marqué conduit à transformer les banquettes vers des terrasses, et favorise le débordement de la banquette et le transfert vers l'aval des eaux de ruissellement et de la charge solide qui y est associée. Notons que les manifestations de ce comblement par les sédiments révèlent que les banquettes jouent leur rôle antiérosif, sinon leur absence signifierait le manque d'utilité de leur installation (Arabi et al., 2004 In Roose et al., 2012).

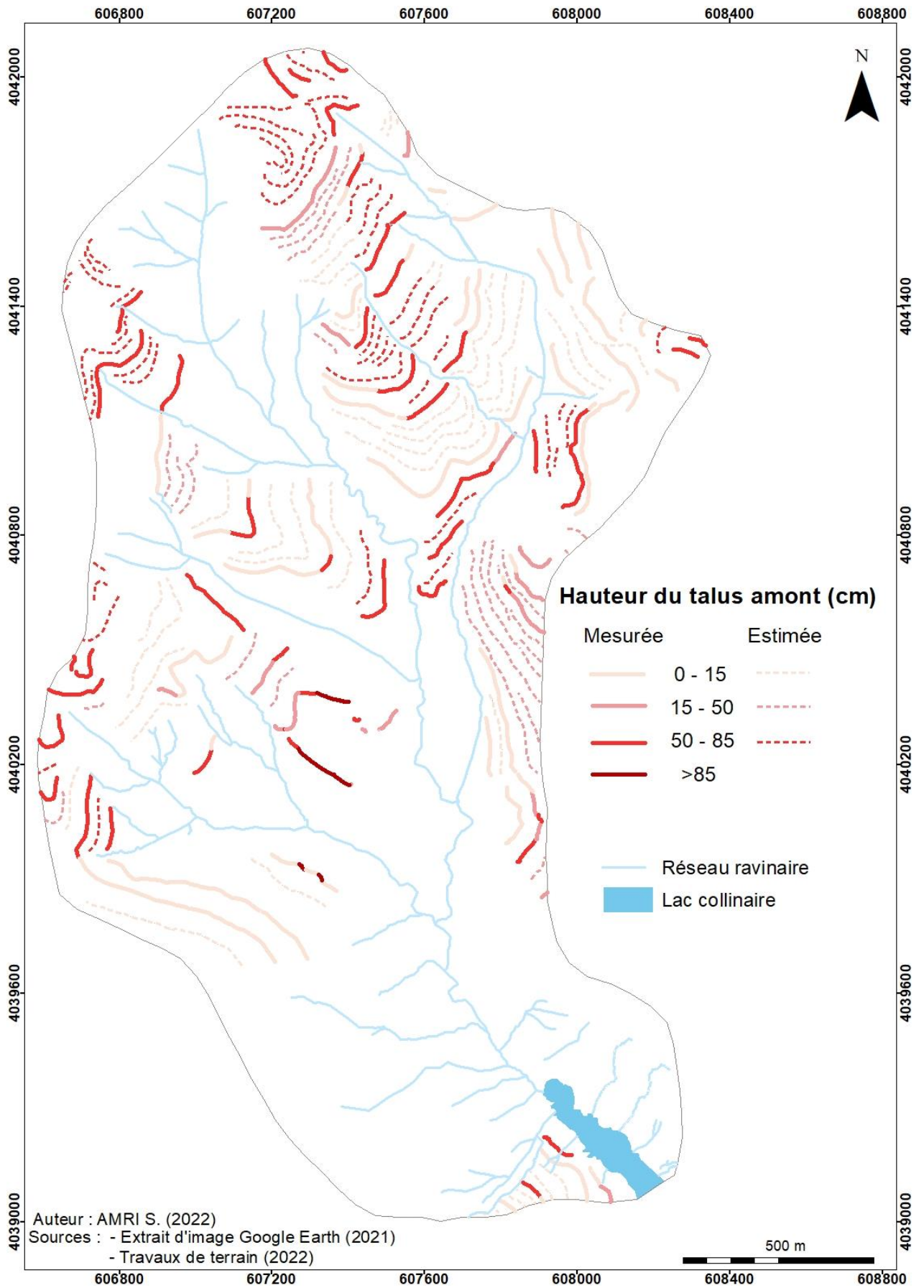


Fig. 20- Hauteur amont des banquettes en 2022



Photo 13- Exemple d'une banquette dont le canal amont a été effacé par les labours et les dépôts de sédiments (AMRI S., juin 2022)

1.2. Les dysfonctionnements au niveau du bourrelet de banquettes

La Fig. 21 présente la répartition spatiale de l'ensemble des formes des dysfonctionnements que l'on a pu observer en 2022 au niveau du bourrelet des banquettes. Ces dysfonctionnements correspondent à des brèches que l'on a distinguées en plusieurs catégories.

1.2.1. Rupture de la banquette

- Rupture partielle

Ce sont des brèches qui entaillent transversalement la totalité ou la quasi-totalité de la crête et l'un de deux talus de la banquette, mais pas le deuxième même si ce dernier est souvent en voie de dégradation.

En fait, les causes de l'apparition de ces brèches sont multiples. Ceci peut être à cause de la surverse du ruissellement qui s'est accumulé en amont de la banquette ou à cause des piétinements par les troupeaux qui traversent parfois les banquettes pour passer d'une interbanquettes à une autre sans avoir à faire le tour. Ces points bas fragilisent fortement les banquettes et compromettent leur efficacité lors des futurs événements pluviométriques. Ils sont fréquemment observés dans tout le bassin versant.

- Rupture complète

C'est la division de la banquette en deux éléments avec disparition complète d'une portion localisée de la banquette (crête, talus amont et aval) comme l'illustre la photo 14. Comme pour la rupture partielle, elle se situe généralement au niveau d'un point bas de la crête et résulte d'une surverse du ruissellement accumulé en amont de l'édifice. L'apparition d'une rupture complète crée un chenal de concentration des eaux qui peut amener à son élargissement lors des crues futures et stimuler l'érosion concentrée pouvant aller jusqu'à l'apparition d'un ravin. Leur répartition spatiale touche la quasi-totalité des versants du bassin. Mais leur concentration est plus élevée sur les versants sud-ouest. Selon les images Google Earth du 23 novembre 2018, nous avons remarqué des indicateurs de ruissellement sur l'espace interbanquettes et de déversements, qui coïncident souvent avec les ruptures que nous avons détectées sur le terrain trois années plus tard en 2022. Pour rappel, l'année 2018-2019 vient au deuxième rang point du vue pluviométrie sur toute la période d'étude. Les averses exceptionnelles de l'automne 2018 seraient à l'origine de ce type de brèches ou de leur amplification.



Photo 14- Rupture complète de la banquette (AMRI S., juin 2022)

1.2.2. Affaissement longitudinal de la banquette

Cette forme de dégradation correspond au tassement de la crête, principalement du fait du piétinement répété par les troupeaux. Dans le bassin de Sbaihia, et particulièrement le cas dans le douar Ouled Alaya, certaines banquettes sont en effet utilisées par les bergers comme des chemins pour leur bétail, qui paîtront dans les terres agricoles ou dans l'espace forestier. Outre le fait que ce tassement conduit à favoriser la surverse du fait d'une réduction de la hauteur de

la crête, il arrive également que le passage du bétail finisse par créer une légère dépression au cœur de la crête (photo 15) ce qui peut aussi fragiliser la banquette à travers la stagnation d'eau.



Photo 15- Affaissement longitudinal de la banquette avec création d'une dépression centrale à l'endroit du passage répété du bétail (AMRI S., juin 2022)

1.2.3. Écroulement superficiel du talus de la banquette

C'est un écroulement de la surface de l'un ou des deux talus, sans affaissement de la crête de la banquette (photo 16). La répartition de ce type de phénomène, souvent provoqué soit par l'action d'animaux sauvages (sangliers notamment) à cause de la proximité des espaces forestiers, soit par des traces de bergers qui choisissent les banquettes comme un endroit de repos et de surveillance de leur bétail, est plutôt aléatoire. Cette perturbation fragilise le talus qui devient plus sensible à la rupture postérieure en cas de saturation en eau.



Photo 16- Écroulement superficiel du talus de la banquette (AMRI S., juin 2022)

1.2.4. Dégradation des extrémités de la banquette

Ce type correspond au grignotage d'au moins une extrémité d'un élément de banquette. Ce type de dysfonctionnement (photo 17), souvent limité dans l'espace (de quelques décimètres à quelques mètres), peut cependant influencer la circulation des eaux de ruissellement.

Le passage du bétail ou des machines agricoles, ainsi que l'énergie du ruissellement, peuvent être les agents responsables de ce "grignotage" des banquettes. D'après la prospection du terrain, nous avons remarqué qu'aucune attention particulière n'avait été portée pour créer des exutoires bien aménagés. Dès lors, les extrémités des banquettes jouent un rôle très important car tout le ruissellement est parfois amené à transiter par ces endroits. Si ces extrémités sont mal placées ou dégradées, elles peuvent alors causer des perturbations dans le système des banquettes en cascade.



Photo 17- Dégradation des extrémités d'une banquette (AMRI S., juin 2022)

1.2.5. Dégradation interne de la banquette

Deux types de dégradations internes des banquettes ont été différenciés à Sbaihia : les trous et les tunnels. Les trous se sont des excavations de terre au niveau de la crête ou des talus sans avoir des connexions entre elles. Souvent, ces trous sont des terriers d'animaux fouisseurs (photo 18). Les tunnels, quant à eux, sont des excavations de terres continues entre deux portions de la banquette, de telle façon qu'ils laissent un élément de la banquette (souvent la crête) en surplomb au-dessus du vide (photo 19). Dans ce cas, la probabilité que la crête de la banquette cède est élevée.



Photo 18- Banquette affectée par des galeries creusées par des rongeurs (AMRI S., juin 2022)



Photo 19- Banquette affectée par des tunnels (AMRI S., juin 2022)

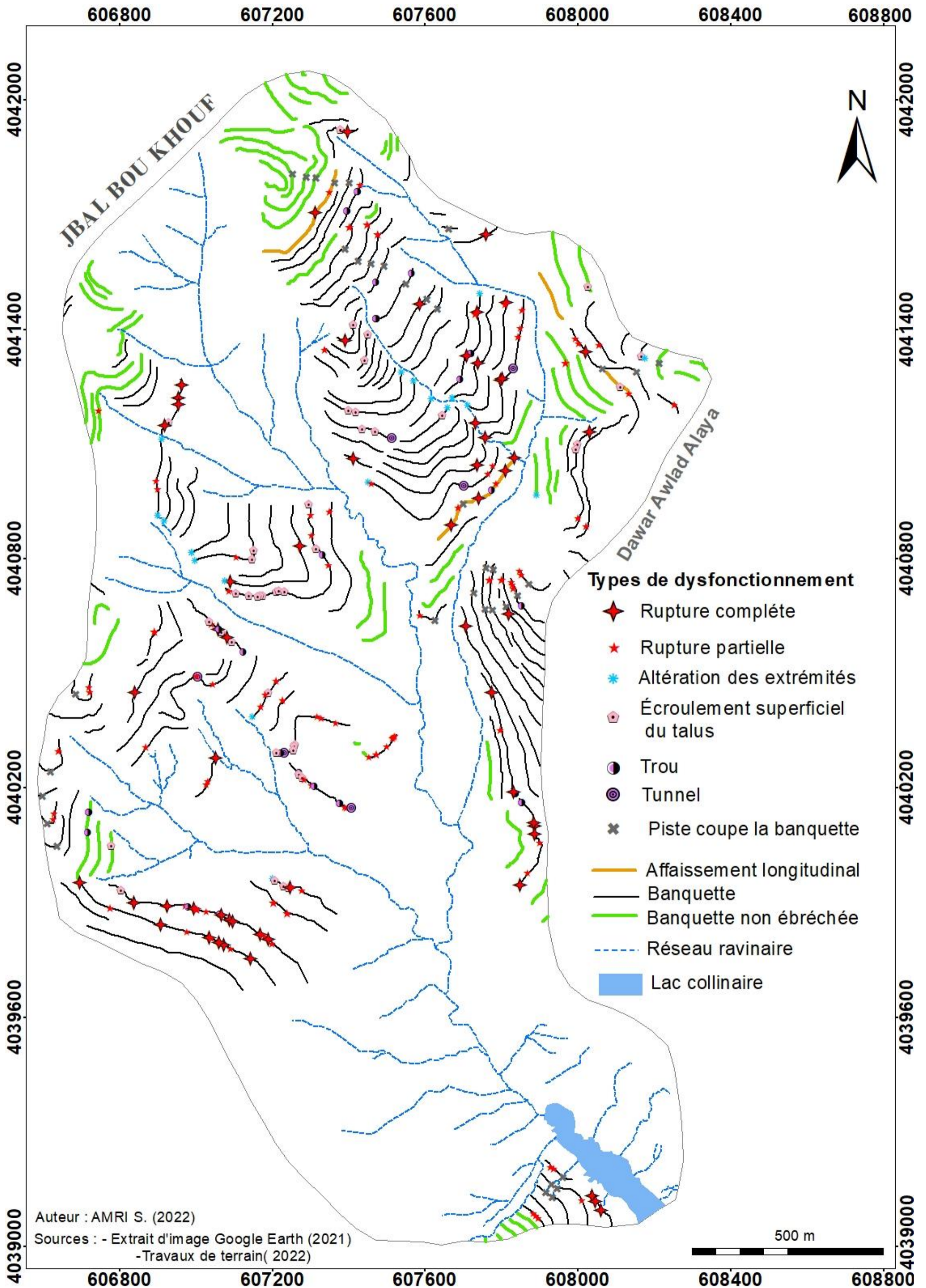


Fig. 21- Les différents dysfonctionnements observés en 2022 au niveau des bourrelet des banquettes du bassin de Sbaïhia

2. Les facteurs fragilisant le fonctionnement des banquettes

Dans ce chapitre, nous essayons d'approfondir les facteurs qui ont favorisé l'apparition de dysfonctionnement au niveau des banquettes, qu'ils soient d'ordre technique en lien par exemple avec l'état initial des banquettes, ou d'ordre humain en lien avec des mauvaises pratiques des populations locales.

2.1. Les pratiques peu attentives établies par l'agriculteur sur le système de banquettes

2.1.1. Réaménagement arbitraire : ouverture des voies d'accès au sein des banquettes

Les aménagements en banquettes antiérosives contribuent à morceler le paysage “*en rondelles de saucisson*” (Heusch, 1986). L'édification de levées de terres continues peut s'avérer très contraignante pour le déplacement des personnes et engins. Dès lors, si l'implantation des banquettes n'est pas bien réfléchi dès le départ en fonction de la vocation future des terres, il est probable que les acteurs locaux aient envie de modifier ces aménagements. C'est ce qui s'est produit sur le bassin de Sbaihia, à vocation majoritairement agricole, dans lequel le propriétaire a ouvert des pistes à travers des banquettes, les coupant en deux dans des secteurs stratégiques pour lui éviter des gros détours mais créant ainsi des voies de concentration du ruissellement sans avoir forcément bien raisonner les implications sur la cohérence globale de la cascade de banquettes. Ce type d'action a en effet les mêmes conséquences que l'apparition de brèches (rupture complète), et peut donc favoriser le ravinement en aval du fait de l'augmentation de la capacité érosive du ruissellement. Les répercussions les plus graves se manifestent non pas sur la banquette divisée mais plutôt sur l'inter-banquettes et les banquettes situées en aval. Par exemple, entre 2013 et 2018, le propriétaire du bassin versant de Sbaihia a créé une piste qui traverse une série des banquettes sommitales dans l'extrémité septentrionale du bassin, et qui a dirigé les eaux de ruissellement vers les banquettes situées plus bas provoquant leur ébrèchement.

2.1.2. Le grignotage des banquettes au profit des terres de cultures

La protection des terres par les banquettes anti-érosives a fortement contribué à l'accroissement de la superficie des terres à vocation agricole sur le bassin versant de Sbaihia, notamment à la suite du défrichement de l'espace forestier. L'implantation des banquettes engendre cependant une emprise au sol relativement importante, qui représente une perte de surface cultivable pour

l'agriculteur. Bien que conscient de l'importance des banquettes en matière de protection de ses sols, il peut donc être amené à éliminer ou réduire la densité de banquettes pour optimiser les surfaces cultivées, soit mettre en culture tout ou partie de l'emprise de la banquette (bien souvent le canal amont). Nous résumons ci-dessous les principales modifications opérées par l'agriculteur sur le bassin versant de Sbaihia pour chacun de ces deux modes.

- Suppression de banquettes. Sur plusieurs secteurs aménagés, l'agriculteur a réalisé des suppressions d'une banquette sur deux comme l'illustre bien la figure 27 (voir les suppressions de banquette représentées en vert), et ceci dans le but d'augmenter l'espace inter-banquettes. Cette pratique conduit à augmenter très fortement l'écartement inter-banquettes, ce qui remet en question le dimensionnement réalisé du système de banquette qui est généralement réalisé selon la formule empirique de Bugeat, la plus utilisée en Tunisie (Heusch, 1986 ; Cherif et *al.*, 1995). Cette dernière calcule l'écartement selon l'équation suivante : $E = 2,2/P + 8$ (avec P la valeur de la pente en pourcentage). Cette exagération de l'espace inter-banquettes peut mettre en péril les banquettes et leur rôle antiérosif en dépassant leurs capacités de rétention et de résistance face aux ruissellements collectés, cela est en cohérence avec les remarques de Roose et *al.* (2012) qui indiquent que l'augmentation de la superficie de l'inter-banquettes induit une augmentation du volume des eaux ruisselées et donc prédispose la banquette à des dysfonctionnements (rupture).

Cependant, même si cette suppression aléatoire est à l'origine de cette exagération, ce n'est pas seulement la faute de l'agriculteur, mais aussi en rapport avec l'application de cette formule qui se base uniquement sur les valeurs de pente. Elle a ainsi suscité des critiques (Raunet et *al.*, 2004).

- Mise en culture de toute ou une partie de l'emprise de la banquette. L'accaparement de l'agriculture au détriment de la banquette ne se limite pas seulement à la suppression, mais aussi à la conversion de la vocation de la banquette, qui est de retenir l'eau et les sols (Dridi, 2000) à une vocation 'semi culturelle' (Majdoub et *al.*, 2014). Sur le bassin de Sbaihia, cette pratique, qui consiste à cultiver le canal amont de la banquette, et parfois une partie du talus amont, est généralisée sur toutes les banquettes implantées dans les terres occupées par des cultures annuelles. Cependant, les banquettes implantées dans les terres de parcours ont encore très souvent leur canal amont présent

et distinguable. Notons que ce n'est pas l'action de la culture elle-même qui gêne le fonctionnement de la banquette mais l'application répétée de labour qui réduit la capacité de rétention de la banquette dans son canal amont. Ce constat corrobore les remarques faites par Roose (2002) sur les aménagements en banquettes de Zaghouan, Siliana et Kairouan et par Majdoub et *al.* (2014) en Tunisie littorale semi-aride.

2.2. Le suivi et l'entretien des banquettes

2.2.1. Le manque du suivi étatique du fonctionnement des banquettes

Bien que la mise en place des banquettes mécaniques ait été principalement réalisée par l'État à travers les services CES, surtout avant 2010, nous avons pu constater au cours de notre étude, l'absence d'entretien par les pouvoirs publics de ces ouvrages de lutte antiérosive. Les entretiens libres conduits avec le paysan propriétaire de la quasi-totalité du bassin versant de Sbaihia, et avec les autres paysans qui ont une relation directe ou indirecte avec le bassin, indiquent systématiquement l'absence de l'État à toutes les échelles, conduisant à un sentiment de marginalisation ressenti par la majorité de la population locale. Le manque d'entretien est particulièrement problématique pour les banquettes de la zone d'étude, dont certaines ont plus de 40 ans.

D'autre part, il ressort des entretiens conduits avec la partie étatique (département CES du Commissariat Régional au Développement Agricole de Zaghouan) que cette dernière considère que c'est au propriétaire, premier bénéficiaire des banquettes, d'assurer l'entretien de ces aménagements qui sont la garantie de la durabilité de sa terre.

Notre travail met donc en évidence une faille dans la stratégie actuelle de protection des terres par les banquettes, avec un manque de clarté autour de l'entretien des aménagements avec des banquettes anti-érosives.

2.2.2. Tentatives privées de correction

La particularité du bassin versant de Sbaihia réside dans le fait que la plus grande partie de ce bassin est exploitée par un seul propriétaire, suffisamment riche pour avoir la capacité économique d'entretenir les banquettes présentes sur ses terres. Les enquêtes et les observations de terrain nous ont montré qu'il faisait des essais de correction des dysfonctionnements

affectant les banquettes. En revanche, 83% des petits paysans dans les zones orientales limitrophes du bassin versant et dont les exploitations ne dépassent guère 5 ha, n'entretiennent pas les banquettes aménagées dans leurs terres.

Lors des visites de terrain, nous avons remarqué que les méthodes de corrections les plus utilisées consistent soit à combler certaines brèches par des accumulations de pierres sèches (photo 20), soit à faire des extensions de banquettes à leurs extrémités par un simple remblai pour intercepter les ruissellements. Plus rarement, l'intervention consiste à implanter une nouvelle banquette tout entière.



Photo 20- Corrections des brèches par des pierres sèches (AMRI S., juin 2022)

En absence d'interventions des services de la CES, les corrections entreprises par le propriétaire se font donc de façon empirique par tâtonnements. Ces rares corrections traditionnelles suffisent bien souvent en cas de petites brèches, mais peuvent être aggravées en cas de mauvaise conception. Par exemple, nous avons pu constater qu'une banquette atypique avait été installée arbitrairement par le propriétaire en 2021 dans une zone fortement touchée par l'érosion en nappe et en rigole. Cette banquette isolée a été construite avec un sol très friable et mal compacté. Elle est atypique dans le sens où son implantation suit la direction de la pente sur

une grande partie de son trajet, et que seule l'extrémité aval de la banquette est parallèle à une courbe de niveau. De ce fait, tout le ruissellement s'écoule vers cette extrémité fermée, ce qui provoque son dysfonctionnement via l'apparition d'un tunnel (photo 21). Finalement, la banquette ne semble avoir aucun impact positif sur la situation érosive, et pourrait même contribuer à augmenter le risque de ravinement au niveau de la portion aval de la banquette.



Photo 21- Apparition d'un tunnel dans une banquette installée par l'agriculteur (AMRI S., mars 2022)

2.2.3. Perception du risque de dysfonctionnement

Les différentes personnes enquêtées se disent bien conscientes du risque de dysfonctionnement des banquettes. Les tentatives d'entretien et de correction du grand propriétaire du terrain de Sbaihia le démontrent. Cependant, les causes de dysfonctionnement (Fig. 22) sont pour eux très majoritairement naturelles (67% des réponses l'imputent aux fortes averses) et dans presque tous les cas hors de leur ressort en invoquant que ce rôle de correction/entretien devrait être celui de l'Etat. Plus globalement, rares sont ceux qui sont conscients que leur activité a une part de responsabilité dans les dysfonctionnements, et ils se présentent comme des victimes

subissant le risque du dysfonctionnement des banquettes, alors qu'en réalité ils ont une part de responsabilité dans ces derniers par leurs pratiques pas toujours adaptées.

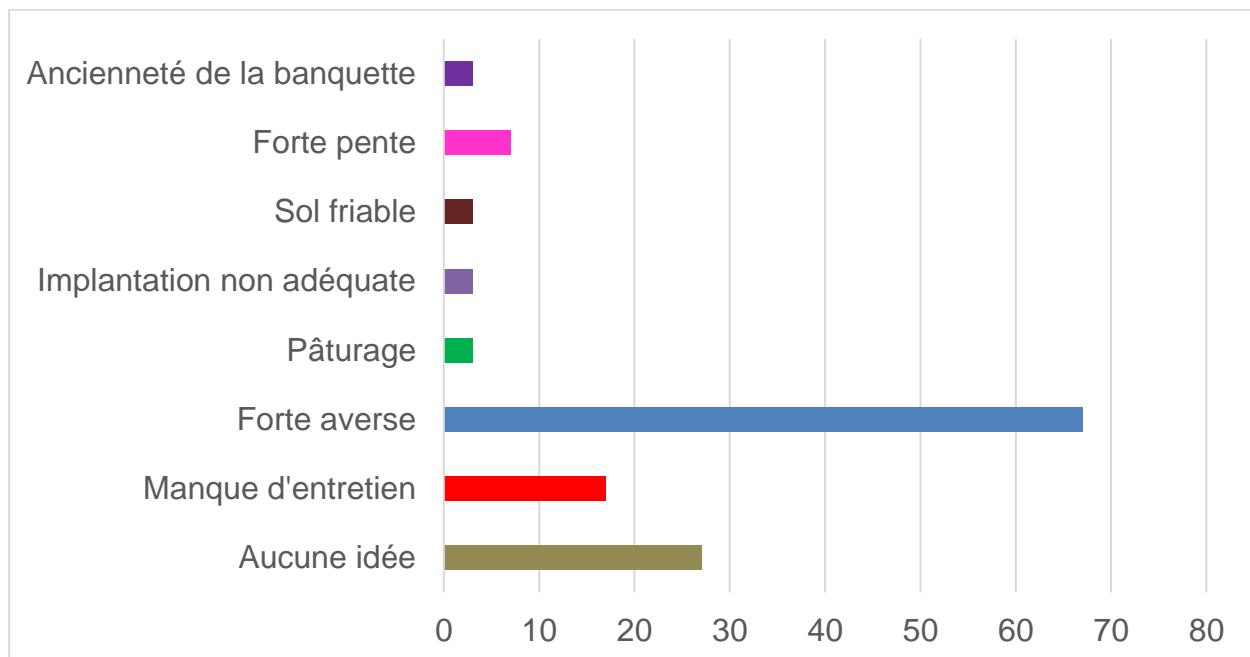


Fig. 22- Les causes évoquées par les enquêtés quant aux causes du dysfonctionnement des banquettes (AMRI S., 2022)

Le fait qu'aucune partie (étatique ou privée) n'a assumé sa responsabilité d'entretenir les banquettes présente une véritable entrave au bon fonctionnement de ces ouvrages anti-érosifs. Les conséquences du manque d'entretien pourraient même à terme amplifier le phénomène d'érosion, notamment sous forme de ravinement. Par exemple, les dysfonctionnements observés en 2001 (Baccari, 2008) au niveau des banquettes installées sur les versants sud-ouest du bassin versant, mais qui n'ont été jamais traités, sont à l'origine des graves ruptures de banquettes survenues en 2018. Dans ce sens de compréhension de l'effet de l'entretien des brèches, Fehri (2007) a fait le suivi entre 2000 et 2003 d'une brèche faite par le piétinement en Tunisie centro-orientale dans le bassin versant de Chaal-Tarfaoui. Et il a constaté que le profil transversal de la brèche est devenu de plus en plus profond au détriment de la hauteur initiale de la banquette à cause de l'absence de l'entretien ainsi que par l'ampleur des averses qui l'aggrave en exutoire.

En guise de conclusion, le dysfonctionnement, par le comblement et / ou par le débordement à travers les désordres du bourrelet de la banquette, provoque des impacts néfastes qui peuvent

stimuler l'activité érosive par le ruissellement qui se retrouve bien souvent concentré à la suite de l'installation des banquettes. Dans ce cadre, le suivi et la correction des banquettes est un bénéfice collectif, dont dépendent aussi l'existence et la survie du lac collinaire à l'exutoire du bassin versant.

3. Recommandations issues du retour d'expérience des interventions antiérosives sur le bassin versant de Sbaihia

Nous présentons dans ce chapitre quelques recommandations issues du retour d'expérience des interventions antiérosives sur le bassin de Sbaihia, recommandations que nous avons regroupées en deux catégories : celles en lien avec l'entretien de banquettes existantes et celles en lien avec la planification de futures interventions antiérosives sur le bassin de Sbaihia ou un site présentant un contexte similaire.

3.1. Recommandations en lien avec l'entretien des banquettes existantes

À la suite du suivi et l'évaluation de l'état des banquettes sur notre site d'étude, nous constatons que la principale intervention qui doit être réalisée de façon régulière afin d'assurer la durabilité des banquettes est la correction des dysfonctionnements. La nature de l'intervention dépend du type, de l'origine et de l'ampleur de ces dysfonctionnements. Pour les ruptures complètes créées par surverse, la recommandation est de combler complètement cette rupture, et de rehausser la crête de la banquette. Si toutefois le milieu aval ne peut pas recevoir de déversements d'eau provenant de l'amont à cet endroit, si le milieu aval peut constituer un lieu de réception du débordement des eaux provenant de la banquette amont, alors il est plutôt conseillé d'installer, à l'endroit de la rupture, un seuil déversoir bien consolidé qui permettra de réguler la surverse sans créer de dommages importants. On pense par exemple à la création de seuils déversoirs en pierres sèches qui permettent de diminuer la vitesse d'évacuation. Concernant les ruptures incomplètes, il est important d'intervenir rapidement afin d'éviter que celles-ci évoluent en rupture complète. Des corrections simples, même manuelles par l'agriculteur, sont souvent suffisantes. Les ouvertures de banquettes réalisées pour créer des passages d'engins doivent être étudiées au même titre que les ruptures complètes. L'entretien consiste également à éviter le comblement du canal amont des banquettes afin de préserver leur capacité de rétention du ruissellement. Cela consiste par exemple à curer les canaux et redistribuer la terre récupérée dans des zones cultivées car ce sont bien souvent des sédiments fertiles qui se retrouvent piégés à cet endroit.

A l'issue de ce travail, nous sommes en mesure de présenter une carte des zones de risques de voir des phénomènes d'érosion s'amplifier du fait d'un manque d'entretien des banquettes (Fig. 23).

Les zones à **fort risque**, sont caractérisées par des banquettes ayant une concentration importante de brèches, en particulier les ruptures complètes, couplées avec le comblement total du talus amont. Les zones à **risque modéré** sont marquées par des banquettes qui sont affectées par certaines brèches ou par un comblement total. Enfin, les zones à **faible risque** sont des secteurs où les banquettes n'ont pas encore subi de dysfonctionnement significatif qui mérite une intervention urgente. Cette zonation pourrait utilement servir pour prioriser les interventions d'entretien à mener.

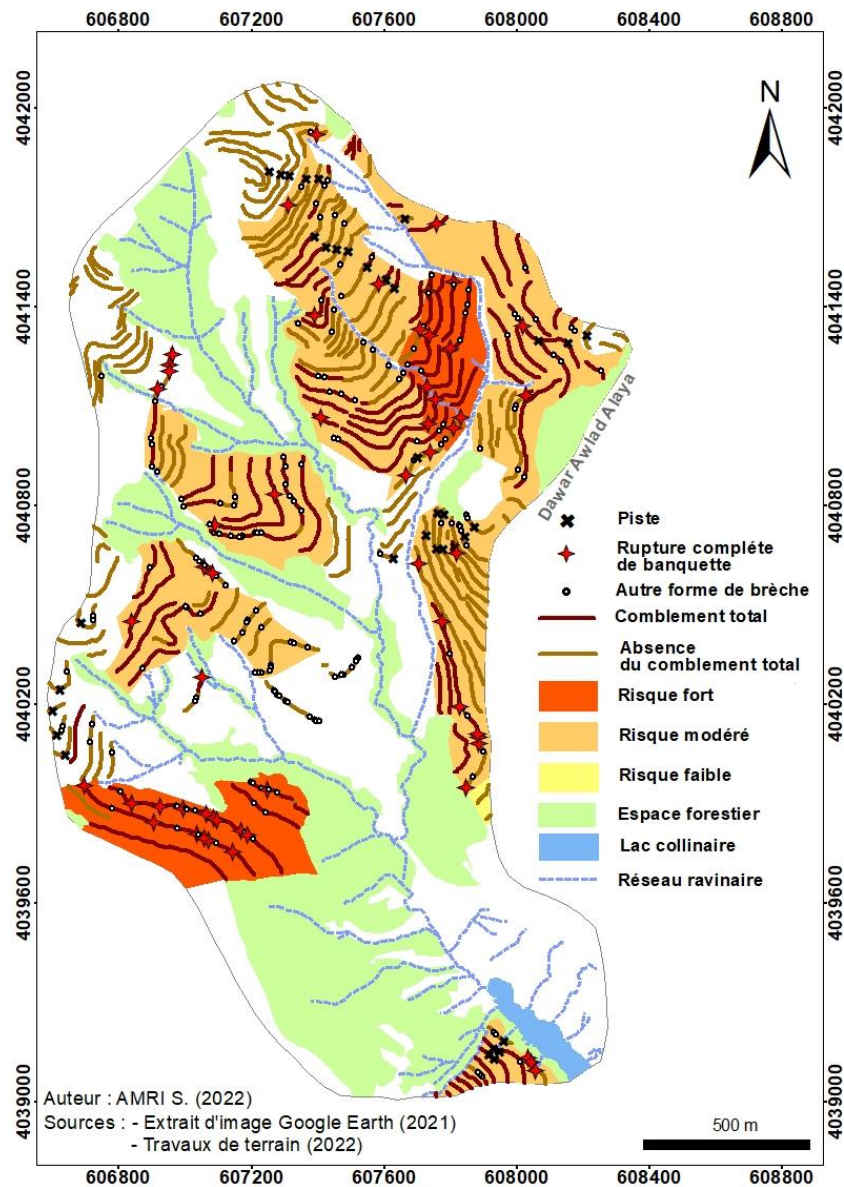


Fig. 23- Risques d'amplification des manifestations érosives en fonction de l'ampleur du dysfonctionnement des banquettes

3.2. Recommandations en lien avec de futures interventions antiérosives

- L'installation de nouvelles banquettes semble nécessaire : i) dans les zones défrichées et qui ont pour vocation la mise en culture, et ii) dans les zones où l'écartement inter-banquettes a été sous-estimé. Pour le bassin de Sbaihia, nous recommandons tout particulièrement d'installer des banquettes en V ou bien des cordons en pierres sèches dans les secteurs amont du bassin versant, pour pouvoir diminuer la vitesse du ruissellement et capter les éléments entraînés.
- Il convient aussi d'éviter les implantations de nouvelles banquettes ou d'extensions, sans respecter les règles de base comme suivre les courbes de niveau et conserver des exutoires vers des talwegs qui pourront accueillir les excédents de ruissellement en cas de fortes pluies. Chaque nouvelle implantation de banquette (ou portion de banquette) doit être raisonnée non pas de façon individuelle mais en fonction de la cascade de banquettes depuis l'amont du bassin versant. Les tentatives de combler les ravins en lien avec l'installation de nouvelles banquettes et souvent voués à l'échec comme cela a été le cas sur le bassin de Sbaihia.
- L'intégration de la population locale dans la prise de décision quant à l'installation des mesures anti-érosives est fondamentale pour garantir la durabilité de ces ouvrages. Or, les personnes enquêtées qu'ils n'ont jamais été associés au moment de la conception des aménagements. De plus, si 80% d'entre eux évoquent un des rôles connus des banquettes (Fig. 17), 70% ignorent les raisons du choix d'emplacement de cet aménagement. Il semble donc important, pour les futures interventions, de veiller faire participer des populations locales à l'étape de conception dans le but de recueillir des connaissances locales sur le fonctionnement du territoire, qui pourraient sans doute venir utilement compléter le savoir-faire technique maîtrisé au niveau de l'État (CRDA par exemple). Ceci est également pour que ces acteurs locaux puissent davantage s'appropriier les banquettes, et qu'ils soient mieux formés aux bonnes pratiques afin de limiter leur dégradation et augmenter leur durabilité. Cette approche participative a été proposée par Hamza (1988) sous l'expression d'une approche technico-paysanne. Cependant, ses recommandations restent souvent lettre morte non appliqués sur la réalité terrain.

- Au-delà de la prise en compte des connaissances locales, il est fortement recommandé d'intégrer aussi des connaissances provenant d'autres acteurs et professionnels lors de la prise de décision et de la conception des campagnes d'aménagement antiérosif. En effet, la vision des professionnels de plusieurs disciplines (ingénieurs, géologues, géographes, économistes, etc.) permettrait d'avoir une vision plus globale et plus complète de cette opération.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail s'est intéressé au bassin versant de Sbaihia, qui offre un cadre très pédagogique pour étudier la dynamique de l'érosion hydrique et évaluer l'efficacité des banquettes antiérosives.

En fait, pour mener à bien ce mémoire, nous nous sommes appuyés sur une approche basée sur des analyses cartographiques combinées à des relevés de terrain et une enquête socio-économique. En premier lieu, il en ressort que l'érosion hydrique en 2022 montre une diversité de manifestations dans le bassin versant. C'est l'érosion en nappe qui marque les crêtes et les versants dénudés, également là où il y a des cultures annuelles. Nous notons ainsi la présence de l'érosion linéaire qui montre une hiérarchisation de formes allant de l'éphémère (griffes et rigoles) jusqu'aux grands axes de l'oued Sbaihia. Ce type d'érosion s'intensifie sous forme d'un badlands au niveau de la partie orientale du lac collinaire. Cette diversité s'applique également aux manifestations dans les cours d'eau, dont leur activation est limitée aux événements pluvieux.

En second lieu, le suivi de l'évolution du réseau ravinaire durant la période d'étude de 2010 à 2022 montre une sensible progression de 0.39 % par an. En effet, cette progression est influencée par les pentes qui sont souvent fortes ou très fortes, alliées à la dominance de la lithologie tendre et l'irrégularité des précipitations.

La population locale est avertie du rôle des précipitations mais elle semble ignorer que ses pratiques peuvent amener à cette progression. Ces actions se scindent en deux types. La première repose sur l'exploitation des terres agricoles, qui a progressé en combinaison avec les parcours au dépend de l'espace forestier. Cette conversion de vocation, qui dénude le sol, favorise l'érosion hydrique. La seconde est basée sur l'aménagement antiérosif. Sur les versants, les ouvrages utilisés à cet effet sont essentiellement des banquettes antiérosives, occupant 42% de la superficie totale.

En fait, l'aménagement en banquettes a protégé les versants de l'érosion hydrique. Ceci en empêchant la prolifération du ravinement qui se remarque par rapport aux zones non aménagées grâce à la faible densité du réseau ravinaire dans les zones aménagées. Ceci est assuré par la réussite de l'estompage des ravins lors des campagnes de l'aménagement de ces zones et la rétention des eaux ruisselées et ses alluvions migrées vers les bas-fonds. D'autre part, ce captage des éléments peut favoriser localement la pédogenèse.

En revanche, cette réussite est relative, puisque durant la période étudiée, l'évolution ravinatoire n'a pas fait défaut dans les zones aménagées. Cela reflète qu'il y a un certain dysfonctionnement. Par conséquent, l'efficacité d'une banquette ne se limite pas seulement à son existence, mais aussi à son état.

Alors, l'état actuel des banquettes se différencie selon le type et l'importance de dysfonctionnement. Ceci est sous le déterminisme de divers facteurs naturels et anthropiques. Dans notre cas, l'intervention humaine a eu un impact significatif. Il s'établit par une combinaison entre les défauts d'implantation lors des actions d'aménagement et les mauvaises pratiques des acteurs locaux. En revanche, dans la perception des enquêtés le dysfonctionnement est l'apanage des facteurs naturels. En effet, la négligence des dysfonctionnements peut amplifier à long terme le risque érosif et changer tout un système antiérosif en un système favorisant l'érosion. Cet affaiblissement ou bouleversement du rôle des banquettes dans les cas extrêmes est un risque. Par conséquent, l'urgence d'intervention varie de faible à élevée selon les cas. La solution réside donc dans la correction des dysfonctionnements et ce après avoir fait un diagnostic détaillé. La prévention présente également une solution. Ceci est par l'entretien régulier des banquettes ainsi la sensibilisation des citoyens et leur intégration dans les stratégies d'aménagement.

Références Bibliographiques

- **Al Ali Y. (2007).** *Les aménagements de conservation des eaux et des sols en banquettes : Analyse, Fonctionnement et essai de modélisation en milieu méditerranéen (El Gouazine, Tunisie Centrale).* Thèse de doctorat, Université Montpellier II, Sciences et techniques du Languedoc, France, 178 p.
- **Al Ali Y., Touma J., Zante P., Nasri S. et Albergel J. (2008).** Water and sediment balances of a contour bench terracing system in a semi-arid cultivated zone (El Gouazine, central Tunisia), *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), pp. 883-892.
- **Attia R., Agrébaoui S., et Hamrouni H. (2005).** *Application des Directives CAR/PAP pour la formulation d'un programme de gestion de contrôle de l'érosion et de la désertification Cas du bassin versant de l'Oued Rmel.* Programme d'Actions Prioritaires Centre d'Activités Régionales Tunisie, 72 p.
- **Baccari N. (2008).** *Apport des images aérospatiales pour l'évaluation des effets des paramètres biophysiques sur l'efficacité hydrologique des aménagements de conservation des eaux et du sol (CES).* Thèse de doctorat, Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, 245 p.
- **Ben Slimane A. (2013).** *Rôle de l'érosion ravinaire dans l'envasement des retenues collinaires dans la Dorsale tunisienne et le Cap Bon.* Thèse de doctorat ; Centre International d'études supérieures en Sciences Agronomiques, Montpellier SupAgro, 214 p.
- **Ben Hfaiedh H. (2012).** *Cartographie de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Sbayhia - Zaghouanais (Nord-est de la Tunisie) : Suivi spatio-temporel par télédétection et système de l'information géographique.* Mémoire de master, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 76 p.
- **Ben Khelifa W., Hermassi T., Strohmeier S., Zucca C., Ziadat F., Boufaroua M. et Habaieb H. (2017).** Parameterization of the effect of bench terraces on runoff and sediment yield by swat modeling in a small semi-arid watershed in northern tunisia. *Land Degradation & Development*. 28, pp. 1568-1578.
- **Ben Rhouma A., Hermassi T. et Bouajila K. (2018).** Modélisation de l'érosion hydrique par la méthode qualitative PAP/CAR : Cas du bassin versant de Sbaihia, Zaghouan. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 51(11), pp. 3225-3236.
- **Bou Kheir R., Girard MCL., Khawlie M. et Abdallah C. (2001).** Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. *Étude et Gestion des Sols*, 8(4), pp. 231-245.
- **Birot P. (1981).** *Les Processus d'érosion à la surface des continents.* Masson, 605 p.
- **Cherif B., Mizouri M., Aouina M. S., Khaldi R. et Laribi Med M. (1995).** *Guide de conservation des eaux et du Sol*, projet PNUD / FAO, TUN/86/020. Ministère de l'Agriculture, CES, Tunis, 274 p.
- **Coque R. (1977).** *Géomorphologie.* Armand Colin (5ème édition), 430 p.

- Côte M. (1964). La conservation des sols et des eaux en Tunisie. *Méditerranée*, 5(3), pp. 219-242.
- CHRIHA S. et SGHARI A. (2013). Les incendies de forêt en Tunisie : Séquelles irréversible de la révolution de 2011”, *Méditerranée*, 121, pp. 87-93.
- DG/ACTA et I.R.D. (2002). *Annuaire hydrologique des lacs collinaires 2000-2001 : Réseau pilote de surveillance des lacs collinaires*, 175 p.
- D/C.E.S. et I.R.D. (1999). *Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1997-1998 : Réseau pilote de surveillance des lacs collinaires*, 208 p.
- Dridi B., Bourges J., Collinet J., Auzet A. et Garreta Ph. (2000). Impact des aménagements sur la ressource en eaux dans le bassin du Merguellil (Tunisie centrale). *Bulletin du Réseau Erosion*, 20, pp. 192-203.
- Fehri N. (2007). *Les rapports entre les processus morphogéniques et les pratiques agropastorales dans la plaine oléicole de Sfax : exemple du bassin versant de l’oued Chaâl-Tarfaoui (Tunisie centro-orientale)*. Thèse de doctorat, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 368 p.
- Fourati M., Bouaziz R., El Amri A. et Majdoub R. (2015). Identification des anomalies de fonctionnement des ouvrages de conservation des eaux et du sol du bassin versant Sidi Salah, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1), pp. 428-434.
- Hamza A. (1988). *Erosion et lutte anti-érosive dans le bassin versant de l’oued Zeroud (Tunisie centrale) : de l’approche exogène à la stratégie technico-paysanne*. Thèse d’Etat, Université de Strasbourg, 790 p.
- Heusch B. (1986). Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 22(2), pp.153-161.
- Hermassi T., Habaieb H., Boufaroua M et Lamachère J.M. (2013). Impact des aménagements hydro-forestiers sur l’envasement des lacs collinaires en zone semi-aride tunisienne. *La Houille Blanche*, 6, pp. 58-67.
- Khlifi S. (2008). Effet d’un ancien aménagement antiérosif de banquette sur la production d’orge dans la région de Siliana (Tunisie centrale), *Agrosolutions*, 19(2), pp. 34–44.
- Nasri S. (2007). Caractéristiques et impacts hydrologiques de banquettes en cascade sur un versant semi-aride en Tunisie centrale / Characteristics and hydrological impacts of a cascade of bench terraces on a semi-arid hillslope in central Tunisia , *Hydrological Sciences Journal*, 52(6), pp. 1134-1145.
- Nasri S. (2002 a). Impact hydrologique des banquettes sur les apports liquides et solides dans les lacs collinaires en zones semi-arides de la Tunisie, *Bulletin du Réseau Erosion*, 21, pp. 115-129.
- Nasri S., (2002 b). *Hydrological effects of water harvesting techniques: A study of tabias, soil contour ridges and hill reservoirs in Tunisia*. Thèse de doctorat. Université de Lund, Suède, 179 p.

- **Majdoub R., M'Sadak Y., Ben Salem A., Gazzeh A. et Dhakouani E. (2014).** Contribution à l'évaluation du maintien en état de fonctionnement des aménagements de conservation des eaux et du sol en banquettes (Tunisie littorale semi-aride), *Revue des Régions Arides*, 35, pp. 957-964.
- **Montgomery, D.R. (2007).** Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, pp. 13268 - 13272.
- **Observatoire Tunisien de l'Environnement et du Développement Durable (2005).** *Guide forêts durables*, 19 p.
- **Raclot D. (2021).** *Érosion hydrique des sols en Méditerranée. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches*, Université de Montpellier, 96 p.
- **Rebai H. (2017).** *Étude morpho-dynamique de l'érosion ravinatoire dans la Dorsale tunisienne et le Cap. Bon. Thèse de doctorat*, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis. Tunisie, 267 p.
- **Rebai H., Raclot D. et Ben Ouezdou H. (2013).** Efficacité des aménagements de lutte contre le ravinement (Cas du bassin versant d'El Hnach, Tunisie). *Hydrological Science Journal*, 58 (7), pp. 1532-1541
- **Raunet M., Richard J.F. et Rojat D. (2004).** Premiers résultats d'introduction du semis direct sous couvert et lutte antiérosive en Tunisie. *Bulletin du Réseau Érosion*, 23, pp 388-404.
- **Roose E., Sabir M., Arabi M., Morsli B. et M. Mazour. (2012).** Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Physio-Géo*, 6, pp. 43-69.
- **Roose E. et Sabir M. (2002).** Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. *Bulletin du Réseau Erosion*, 21, pp. 33-44.
- **Roose E. (2002).** *Analyse du système des banquettes mécaniques : propositions d'améliorations, de valorisation et d'évolution pour les gouvernorats de Kairouan, Siliana et Zaghouan, Tunisie.* Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 32 p.
- **Roose E. (1994).** *Introduction à la gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).* Bulletin Pédologique de la FAO n° 70, Rome, 421 p.
- **Roose E. (1967).** *Quelques exemples des projets de l'érosion hydrique sur les cultures.* Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, 18 p.
- **Sabir M. (1987).** *L'érosion hydrique et sa quantification. Mémoire de DEA*, Université de Paris 11, 300 p.

Table des figures

Fig. 1- Localisation et vue aérienne de la zone d'étude.....	2
Fig. 2- Carte hypsométrique du bassin versant Sbaihia.....	5
Fig. 3- Carte des pentes (en %) dans le bassin versant Sbaihia (les valeurs entre crochets dans la légende indiquent le pourcentage de surface du bassin correspondant à chaque classe).	6
Fig. 4- Carte des affleurements géologiques dans le bassin versant Sbaihia.....	7
Fig. 5- Croquis géomorphologique du bassin versant Sbaihia.....	9
Fig. 6- Variation interannuelle de la pluviométrie à la station ONAGRI de Zaghouan pour la période 2010-2022 (source : ONAGRI).....	10
Fig. 7- Variations des moyennes mensuelles de précipitation pour la période 2010-2022 à la station ONAGRI de Zaghouan (source : ONAGRI).	11
Fig. 8- Profil type d'une banquette anti-érosive à rétention partielle avec un profil trapézoïdal (D'après El Ali, 2017 [modifié]).....	12
Fig. 9- Cartographie des manifestations de l'érosion hydrique sur le bassin versant de Sbaihia en 2022.	32
Fig. 10- Évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022.....	35
Fig. 11- Répartition et évolution de la densité de réseau ravinaire en fonction de la pente (exprimée en % sous forme de classe) et le type de lithologie (roches tendres ou intercalation de roches dures et tendres) entre 2010-2022.....	36
Fig. 12- Les causes de L'érosion hydrique citées par les paysans (Enquête AMRI S., 2022)	37
Fig. 13- Évolution de l'occupation des sols dans le bassin versant de Sbaihia entre 2010 - 2022.....	39
Fig. 14- Les différents rôles de la forêt tels que perçus par les paysans (AMRI S., 2022).....	41
Fig. 15- Principales conversions de vocation des terres entre 2010 et 2022	43
Fig. 16- Évolution des aménagements en banquettes depuis 1981.....	45
Fig. 17- Surfaces aménagées en banquettes et densité du réseau ravinaire en 2022 selon les classes de pentes sur le bassin de Sbaihia	46
Fig. 18- Perception du rôle des banquettes par la population locale.....	48
Fig. 19- Longueur des tronçons apparus dans les zones aménagées et non aménagées selon les valeurs de pentes et lithologie entre 2010 et 2022	48
Fig. 20- Hauteur amont des banquettes en 2022.....	53
Fig. 21- Les différents dysfonctionnements observés en 2022 au niveau des bourrelet des banquettes du bassin de Sbaihia	60

Fig. 22- Les causes évoquées par les enquêtés quant aux causes du dysfonctionnement des banquettes (AMRI S., 2022)	66
Fig. 23- Risques d'amplification des manifestations érosives en fonction de l'ampleur du dysfonctionnement des banquettes.....	68

Table des Photos

Photo 1- Aménagement des banquettes en cascade dans le bassin versant Sbaihia (AMRI S., juillet 2022)	13
Photo 2- Banquette antiérosive en V (AMRI S., mai 2022)	15
Photo 3- Banquette antiérosive en forme trapézoïdale (AMRI S., juin 2022)	15
Photo 4- Banquette antiérosive en forme trapézoïdale (AMRI S., juin 2022)	16
Photo 5- Aménagements antiérosifs dans des cours d'eau (AMRI S., mai 2022)	16
Photo 6- Lac collinaire Sbaihia, exceptionnellement à sec lors de l'été 2022 (AMRI S., juillet 2022).....	18
Photo 7- Manifestations de l'érosion en nappe sur le bassin de Sbaihia (AMRI S., octobre 2022).....	27
Photo 8- Exemples des rigoles (AMRI. S., juin et juillet 2022).....	28
Photo 9- Badlands dans le bassin versant de Sbaihia (AMRI S., mars 2022)	29
Photo 10- Recul en escalier au niveau du cours d'eau principal (AMRI S., juillet 2022)	30
Photo 11- Glissement des berges sous forme de pans (AMRI S., juillet 2022)	31
Photo 12- Une banquette « Oasis linéaire » (AMRI S., juillet 2022).....	47
Photo 13- Exemple d'une banquette dont le canal amont a été effacé par les labours et les dépôts de sédiments (AMRI S., juin 2022)	54
Photo 14- Rupture complète de la banquette (AMRI S., juin 2022)	55
Photo 15- Affaissement longitudinal de la banquette avec création d'une dépression centrale à l'endroit du passage répété du bétail (AMRI S., juin 2022).....	56
Photo 16- Écroulement superficiel du talus de la banquette (AMRI S., juin 2022).....	57
Photo 17- Dégradation des extrémités d'une banquette (AMRI S., juin 2022).....	58
Photo 18- Banquette affectée par des galeries creusées par des rongeurs (AMRI S., juin 2022).....	59
Photo 19- Banquette affectée par des tunnels (AMRI S., juin 2022)	59
Photo 20- Corrections des brèches par des pierres sèches (AMRI S., juin 2022)	64
Photo 21- Apparition d'un tunnel dans une banquette installée par l'agriculteur (AMRI S., mars 2022).....	65

Table des tableaux

Tableau 1. Évolution du réseau ravinaire dans le bassin versant Sbahia entre 2010-202234

Tableau 2. Évolution du réseau ravinaire dans le bassin versant Sbahia entre 2010-202240

Table des matières

<i>Dédicace</i>	i
<i>Remerciement</i>	ii
<i>Résumé</i>	iii
Sommaire	vi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE : LES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU BIOPHYSIQUE ET HUMAIN DANS LE BASSIN VERSANT DE SBAIHIA ET MÉTHODE DE TRAVAIL	4
1. Cadre général de bassin versant de Sbaihia.....	5
1.1. Aperçu sur les données du milieu naturel.....	5
1.2. Aperçu sur l'intervention humaine dans le bassin versant	11
2. Méthode de travail.....	18
2.1. Données utilisées.....	18
2.2. Données produites et analyse cartographique	19
Conclusion de la première partie.....	23
DEUXIÈME PARTIE : CARACTÉRISTIQUES ET ÉVOLUTION DE L'ÉROSION HYDRIQUE.....	25
1. Étude de l'érosion hydrique	26
1.1. Cartographie des manifestations de l'érosion hydrique des sols en 2022	26
1.2. Caractérisation de l'évolution du réseau ravinaire entre 2010 et 2022	34
2. Analyse des facteurs explicatifs de l'évolution de l'érosion ravinaire	36
2.1. Facteurs naturels.....	36
2.2. L'évolution de l'occupation du sol : dégradation de couvert végétal	37
2.3. L'aménagement antiérosif en banquettes	44
Conclusion de la deuxième partie	49
TROISIÈME PARTIE : DIAGNOSTIC APPROFONDI DU DYSFONCTIONNEMENT DES BANQUETTES ANTIÉROSIVES	51
1. Typologie et causes des dysfonctionnements des banquettes	52
1.1. Le comblement total du talus amont des banquettes en 2022	52
1.2. Les dysfonctionnements au niveau du bourrelet de banquettes.....	54
2. Les facteurs fragilisant le fonctionnement des banquettes	61
2.1. Les pratiques peu attentives établies par l'agriculteur sur le système de banquettes.....	61

2.2. Le suivi et l'entretien des banquettes	63
3. Recommandations issues du retour d'expérience des interventions antiérosives sur le bassin versant de Sbaihia.....	67
3.1. Recommandations en lien avec l'entretien des banquettes existantes.....	67
3.2. Recommandations en lien avec de futures interventions antiérosives.....	69
CONCLUSION GÉNÉRALE	71
Références Bibliographiques.....	73
Table des figures	76
Table des Photos.....	78
Table des tableaux	79
Table des matières	80
ANNEXES	82

ANNEXES

Annexe N° I

Nom(s) de(s) l'enquêteur (s) :

Date de visite terrain :

Bassin versant Sbaihia

Fiche terrain : Banquette antiérosive

I- Banquette en générale

- Code de la banquette : ...**B**.....
- Date d'implantation (approximative) :
- Localisation par rapport au bassin versant : Amont Aval
- Position de banquette par rapport à courbe de niveau (par SIG) : plus ou moins parallèle Superposable Indifférente
- Nature du matériel de construction : Homogène : Ou Non
- Fixée par végétation Ou Nue
- Si végétalisée : nature de la végétation :
.....
Taux de recouvrement :
.....
- Dimension :
Longueur.....
Hauteur moyenne
Largeur moyenne
- L'état du canal amont : vide Un peu envasé Colmaté
- Y a-t-il un exutoire latéral aux eaux de ruissellement ?..... GPS :

II - Transects :

Transect De la Banquette B....	Code De dysfonctionnement	Descriptions De désordres	Position De désordres Sur :	Points GPS	Nom de Photo	Section moyenne	Les observations de part et d'autre du transect (au niveau des inter-banquettes)	
T.....	D...		Talus amont <input type="checkbox"/>			GPS :	Type d'occupation :	
			Crête <input type="checkbox"/>					
			Talus aval <input type="checkbox"/>					
	D...		Talus amont <input type="checkbox"/>			Largeur..... Hauteur..... Pente.....		Les formes d'érosion :
			Crête <input type="checkbox"/>					
			Talus aval <input type="checkbox"/>					
D..	Talus amont <input type="checkbox"/>	Largeur..... Hauteur..... Pente.....						
	Crête <input type="checkbox"/>							
	Talus aval <input type="checkbox"/>							
Taux de recouvrement du transect %: En amont En aval.....							
Numéro de Schéma								
Schéma N°								

Enquête socio-économique auprès des paysans qui fréquentent le bassin versant du bassin versant de Sbaihia

Date .../.../

Enquête n° :

I- Les caractéristiques socio-démographiques des enquêtés

1- Identification de la personne

- Genre : Homme Femme

- Âge

- Niveau d'éducation : Analphabète Primaire Secondaire Supérieure

- Situation : Agriculteur propriétaire du bassin versant Employés permanents dans le bassin versant Habitants limitrophes du bassin Autres

- Activités : Purement agricole Agricole + autre activité Non agricole

2 - Conditions de vie

- Type de construction : En dur En bois Gourbis

- Eau potable : SONEDE Lac collinaire Puits Source Citerne privée

- Sources(s) d'autres utilités d'eau : SONEDE Lac collinaire Puits Source Citerne privée

- Moyen de chauffage : Moyen de chauffage : Pétrole Gaz Bois Plantes herbacées ou petites ligneuses

III- Exploitation agricole et production animale

1-Exploitation agricole

- Superficie totale en ha :

- Situation foncière : Location Propriété Héritage
- L'exploitation de la terre agricole : En sec En irriguée
- Source d'irrigation : Lac Puits Sources
- Quelles cultures (Céréales, Arboriculture) ?

-
- Engrais utilisés : Chimiques Naturels
 - Outil du travail du sol : Tracteur mécanique Charrue animale
 - Nombre de labour : Simple Double Triple Quadruple
 - Sens du labour : Parallèle à la pente Perpendiculaire à la pente

2- Production animale

- Nature de cheptel : Bovin Caprin Ovin
- Type de parcours : Terres agricoles Forêt et matorral Ne pâture pas

IV- Perception du problème de l'érosion hydrique

- Vous avez une idée sur la notion d'érosion hydrique ? Oui Non
- La zone est-elle menacée par l'érosion ? Oui Non
- Si oui de quel ordre ? Faible Moyenne Intense
- Avez-vous noté les formes d'érosion suivantes dans votre parcelle :

Formes d'érosion	Oui / non
Croûte de battance ou décapage	
Griffures et rigoles	
Ravin	
Élargissement du lit de l'oued	
Recul de tête de ravin	

- À votre avis, à quelle période de l'année l'érosion est-elle la plus sévère ? Hiver Printemps Été Automne

- Quelles sont pour vous les principales causes de l'érosion de vos terres ?

.....

V- Perception des travaux de CES

-Avez-vous bénéficié des aménagements CES (financés par l'État) : Oui Non

-Leur type : Banquettes Seuils en gabion Aménagements biologiques Autres :

-Avez-vous participé à un diagnostic pour concevoir les aménagements CES les plus adéquats dans les terroirs proches de votre parcelle ? Oui Non

Si oui, pendant quelle année ?.....

-Avez-vous une idée sur l'objectif de l'implantation de ces travaux CES sur vos terres ?

.....

- Avez-vous une idée sur l'emplacement de ces aménagements (ou zones aménagées) ?

.....

- Est-ce que vous entretenez les aménagements ? : Oui Non

- Quelles sont pour vous les principales causes de dysfonctionnements des banquettes ?

.....

VI- Perception du rôle de la forêt :

-Quelle est l'importance de la forêt pour vous ?

.....

-Considérez-vous que la forêt est en danger ? Oui Non

Si oui, Comment cela ?.....

- Avez-vous d'autres remarques ou suggestions à ajouter ? (Entretien libre)

.....

.....

.....

Résultats de l'enquête de 30 enquêtés

Genre

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Femme	14	47
Homme	16	53
Total	30	100

Âge

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
15 - 45	12	40
45 - 65	11	37
> 65	7	23
Total	30	100

Niveau d'éducation

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Analphabète	10	33
Primaire	17	57
Secondaire	2	7
Supérieur	1	3
Total	30	100

Situation

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Agriculteur propriétaire du bassin versant	1	3
Employés permanents dans le bassin versant	4	14
Habitants limitrophes du bassin versant	24	80
Autres	1	3
Total	30	100

Activités

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Purement agricole	6	20
Agricole + autre activité	6	20
Non Agricole	6	20
Chômeur(e)	12	40
Total	30	100

Eau potable

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Citerne privée	12	40
SONEDE	6	20
SONEDE et Citerne privée	11	37
Source	1	3
Total	30	100

Sources(s) d'autres utilités d'eau

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Citerne privée	8	27
Lac collinaire	9	30
Lac collinaire et citerne privée	4	13
Lac et source	2	7
SONEDE	2	7
SONEDE et citernes privées	1	3
SONEDE, lac et citernes privées	1	3
Source	2	7
Source et citerne	1	3
Total	30	100

Moyen de chauffage

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pétrole	1	3
Gaz	2	7
Bois	27	90
Total	30	100

Superficie totale d'exploitation agricole en ha

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage	Sans le propriétaire du bassin versant (%)
< 1 hectare	3	21,43	23
[1 et 5 hectares [10	71,43	77
Plus de 500 hectares	1	7,14	–
Total	14	100	100

Situation foncière

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Privée	13	93
Familiale	1	7
Total	14	100

L'exploitation de la terre agricole

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Sec	14	100

Engrais utilisés

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	11	79
Non	3	21
Total	14	100

Quelles cultures (Céréales, Arboriculture) ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
----------	--------------------	-------------

Céréaliculture	4	28,57
Arboriculture	3	21,43
Céréaliculture et arboriculture	6	42,86
Friche	1	7,14
Total	14	100

Outil du travail du sol

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Mécanique	9	64,29
Animale	2	14,28
Mécanique et animale	3	21,43
Total	14	100

Nombre de labour

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Simple	3	21,43
Double	2	14,29
Triple	8	57,14
Quadruple	1	7,14
Total	14	100

Sens du labour

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Perpendiculaire	9	64,28
Parallèle	3	21,43
Quelconque	2	14,29
Total	14	100

Nature de cheptel

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Caprin	4	25
Ovin	2	12,5

Caprin et ovin	9	56,25
Bovin et caprin	1	6,25
Total	16	100

Type de parcours

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Terre agricole	4	25
Forêt et matorral	1	6,25
Terre agricole et forêt	6	37,5
Ne pâture pas	5	31,25
Total	16	100

La notion d'érosion hydrique

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	17	57
Non	13	43
Total	30	100

La zone est-elle menacée par l'érosion ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	24	80
NON	0	0
Aucune idée	6	20
Total	30	100

Si oui de quel ordre ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Forte	23	77
Moyenne	1	30
Aucune idée	6	20

Avez-vous noté les formes d'érosion suivantes dans votre parcelle ?

Réponses	Nombre de réponses par oui	Pourcentage	Total
Croûte de battance ou décapage	0	0	30
Griffures et rigoles	22	73	30
Ravin	22	73	30
Élargissement du lit de l'oued	23	77	30
Recul de tête de ravin	19	63	30

À votre avis, à quelle période de l'année l'érosion est-elle la plus sévère ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Hiver	17	57
Automne	3	10
Hiver- automne	4	13
Aucune idée	6	20
Total	30	100

Quelles sont pour vous les principales causes de l'érosion de vos terres ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Pluie	21	70
Pente	4	13,33
Couvert végétal	4	13,33
Banquette	1	3.33
Aucune idée	6	20

Avez-vous bénéficié des aménagements CES (financés par l'État) ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	7	23,33
Non	7	23,33
N'a pas de terre	16	53,33
Total	30	100

Leur type

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Banquette	7	100
Total	7	100

Avez-vous participé à un diagnostic pour concevoir les aménagements CES ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	0	0
Non	30	100
Total	30	100

Avez-vous une idée sur l'objectif de l'implantation de ces travaux CES sur vos terres ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Stockage d'eau	11	37
Lutter contre l'érosion hydrique	7	23
Protection du sol	6	20
Destruction des terres des agriculteurs	1	3
Aucune idée	5	17
Total	30	100

Avez-vous une idée sur l'emplacement de ces aménagements (ou zones aménagées) ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Terre pentue	6	20
Zone nécessite la protection	3	10
Aucune idée	21	70

Est-ce que vous entretenez les aménagements ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage	Pourcentage (sans le propriétaire)
Oui	2	29	17
Non	5	71	83
Total	7	100	100

Quelles sont pour vous les principales causes de dysfonctionnements des banquettes ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Aucune idée	8	27
Manque d'entretien	5	17

Forte averse	20	67
Pâturage	1	3
Implantation non adéquate	1	3
Sol friable	1	3
Forte pente	2	7
Ancienneté de la banquette	1	3
Total	30	130

Quelle est l'importance de la forêt pour vous ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Air pur	5	17
Amélioration des précipitations	6	20
Autres	5	17
Beau paysage	4	13
Charbonnage	4	13
Collecte des plantes aromatiques	6	20
Pâturage	16	53
Récolte des fruits des pins d'Alep	6	20

Considérez-vous que la forêt est en danger ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Oui	30	100

Si oui, Comment cela ?

Réponses	Nombre de réponses	Pourcentage
Incendie	23	77
Manque de pluie	7	23
Total	30	100