



N° d'ordre : 51/2023

Centre des Etudes Doctorales : **Langues, Sciences Humaines, Arts et Sciences de l'Education**
Formation Doctorale : **Ressources, Aménagement et Développement Territorial**
Discipline : **Géographie**
Spécialité : **Géographie Physique**
Equipe de recherche : **Milieux Naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-Spatiales**

Thèse pour l'obtention de DOCTORAT en GEOGRAPHIE

Option : Géographie physique

Titre de la thèse :

Hydrogéomorphologie et mutations récentes de l'espace fluvial de l'Oued Mikkès (Bassin du Sebou)

Présentée par :
Imad El-Ghalmi

Sous la direction de :
Pr. Ali Taous

Soutenue le 20 Mars 2023 devant le jury :

Pr. Abdelghani Houari	PES	FLSH, Saïs-Fès	Président
Pr. Youssef Benbrahim	PES	FLSH, Saïs-Fès	Rapporteur
Pr. Ali Dadoun	PES	FLSH, Ibn Zohr Agadir	Rapporteur
Pr. Ali TAOUS	PES	FLSH, Saïs-Fès	Directeur de thèse

Année Universitaire : 2022/2023



Résumé de la thèse

Cette thèse vise l'étude du fonctionnement hydro-morphodynamique récent de l'Oued Mikkès (affluent du bas Sebou) et les impacts et mutations dus à l'anthropisation du bassin versant et du lit de l'oued. L'approche est basée sur une méthodologie appliquée à des échelles différentes, allant du bassin versant au lit de l'oued. Elle est basée essentiellement sur les investigations de terrain, l'exploitation des données hydro-climatiques, documents cartographiques, les photos aériennes, l'image satellitaire, les données des recensements de la population, les analyses de laboratoire, etc.

Le bassin versant du Mikkès draine trois domaines morphostructuraux lithologiquement distincts, successivement d'amont en aval : le causse du Moyen Atlas, le Saïs et le Prérif. Le régime hydrologique de l'oued est de type pluvio-nival, méditerranéen irrégulier, occasionnant de fortes crues lors des moments des pluies. Les écoulements ont façonné une vallée qui montre des morphologies différenciées d'amont en aval, selon la structure et la résistance des terrains, qui influencent la dynamique fluviale, en favorisant l'élargissement ou le rétrécissement du fond de vallée et du lit majeur. Ces facteurs morpho-structuraux et lithologiques contrôlent également les processus morphodynamiques responsables de la production de la charge solide sur les versants et son transfert vers le lit de l'oued.

L'ajustement du cours d'eau aux transports liquides et solides se manifeste dans l'organisation de l'espace fluvial du fond de vallée en trois unités hydro-géomorphologiques fonctionnelles différentes : la plaine alluviale, le lit moyen et le lit mineur. Les formations sédimentaires de la plaine alluviale sont formées généralement de sédiments grossiers à galets et graviers, avec matrice fine sableuse ou sablo-limoneuse. Ils correspondent à des apports de crues. Cette série grossière est surmontée par une série limoneuse déposée lors des débordements sur le lit majeur. Ces dépôts deviennent préférentiellement fins dans le Saïs et le Prérif.

Le lit de l'oued montre souvent un lit moyen et un lit mineur, avec seuils, mouilles et barres latérales. Il se caractérise par un style sinueux où les méandres se développent de plus en plus, en direction de l'aval. Les sédiments grossiers en transit sont préférentiellement carbonatés ; leur grossièreté décroît d'amont en aval. La morphologie des berges et la ripisylve sont variables, dépendant du contexte lithologique, de la dynamique de l'Oued Mikkès et des affluents latéraux. L'évolution du tracé du lit mineur durant les dernières décennies (depuis, 1962) ne montre que de faibles changements morphologiques. L'anthropisation de la vallée du Mikkès depuis la période du Protectorat français (1912-56) s'est manifestée par l'extension des terres agricoles et du surpâturage en amont du bassin, et par des interventions d'aménagement variées (barrages, seuils, digues...). La mise en place du barrage Sidi Echahed en 1996 a fortement impacté le paysage et la morphologie du lit de l'Oued Mikkès dans le Prérif.

Mots clés : Oued Mikkès ; bassin versant ; régime hydrologique ; morphodynamique fluviale ; plaine alluviale ; lit fluvial ; méandres ; typologie des berges ; ripisylves ; analyse des sédiments ; impact anthropique ; mutations de l'espace fluvial - Moyen Atlas ; Saïs ; Prérif ; barrage Sidi Echahed

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier mon directeur de thèse Monsieur le professeur Ali Taous pour toute son aide. Je suis ravi de son appui scientifique, son soutien au cours de la réalisation de cette thèse. Il a toujours été disponible, et ses conseils ont toujours été judicieux, pour maintenir ma motivation afin que je puisse achever ce travail.

Il est également de mon devoir de remercier tous les professeurs du laboratoire d'analyse géoenvironnementales et d'aménagement-développement durable (LAGEA-DD) : Mr. Mhamed Amyay, Mr. Youssef Benbrahim, Mr. Abdelghani el Houari, Mr. Abdelhamid Idrissi Janati ; Mohamed Laaouane, Mr. Khalid Obda, Mr. Abdelatif Tribak.

Mes sincères remerciements vont également à tous les membres de Jury, qui ont bien accepté d'évaluer ma thèse et d'assister à sa soutenance.

Finalement j'adresse mes remerciements au personnel du service de Doctorat de la FLSH Saïs Fès, pour leur prestation durant les années de ma formation doctorale et leur aide lors de la préparation du dossier administratif de la soutenance. Sont remerciées également différentes administrations qui m'ont livré diverses données, utilisées dans la réalisation de cette thèse.

A mes parents, à mon épouse, à ma petite fille, mes frères, à toute ma famille.

Résumé

Cette thèse vise l'étude du fonctionnement hydro-morphodynamique récent de l'Oued Mikkès (affluent du bas Sebou) et les impacts et mutations dus à l'anthropisation du bassin versant et du lit de l'oued. L'approche est basée sur une méthodologie appliquée à des échelles différentes, allant du bassin versant au lit de l'oued. Elle est basée essentiellement sur les investigations de terrain, l'exploitation des données hydro-climatiques, documents cartographiques, les photos aériennes, l'image satellitaire, les données des recensements de la population, les analyses de laboratoire, etc.

Le bassin versant du Mikkès draine trois domaines morphostructuraux lithologiquement distincts, successivement d'amont en aval : le causse du Moyen Atlas, le Saïs et le Prérif. Le régime hydrologique de l'oued est de type pluvio-nival, méditerranéen irrégulier, occasionnant de fortes crues lors des moments des pluies. Les écoulements ont façonné une vallée qui montre des morphologies différenciées d'amont en aval, selon la structure et la résistance des terrains, qui influencent la dynamique fluviale, en favorisant l'élargissement ou le rétrécissement du fond de vallée et du lit majeur. Ces facteurs morpho-structuraux et lithologiques contrôlent également les processus morphodynamiques responsables de la production de la charge solide sur les versants et son transfert vers le lit de l'oued.

L'ajustement du cours d'eau aux transports liquides et solides se manifeste dans l'organisation de l'espace fluvial du fond de vallée en trois unités hydro-géomorphologiques fonctionnelles différentes : la plaine alluviale, le lit moyen et le lit mineur. Les formations sédimentaires de la plaine alluviale sont formées généralement de sédiments grossiers à galets et graviers, avec matrice fine sableuse ou sablo-limoneuse. Ils correspondent à des apports de crues. Cette série grossière est surmontée par une série limoneuse déposée lors des débordements sur le lit majeur. Ces dépôts deviennent préférentiellement fins dans le Saïs et le Prérif.

Le lit de l'oued montre souvent un lit moyen et un lit mineur, avec seuils, mouilles et barres latérales. Il se caractérise par un style sinueux où les méandres se développent de plus en plus, en direction de l'aval. Les sédiments grossiers en transit sont préférentiellement carbonatés ; leur grossièreté décroît d'amont en aval. La morphologie des berges et la ripisylve sont variables, dépendant du contexte lithologique, de la dynamique de l'Oued Mikkès et des affluents latéraux. L'évolution du tracé du lit mineur durant les dernières décennies (depuis, 1962) ne montre que de faibles changements morphologiques. L'anthropisation de la vallée du Mikkès depuis la période du Protectorat français (1912-56) s'est manifestée par l'extension des terres agricoles et du surpâturage en amont du bassin, et par des interventions d'aménagement variées (barrages, seuils, digues...). La mise en place du barrage Sidi Echahed en 1996 a fortement impacté le paysage et la morphologie du lit de l'Oued Mikkès dans le Prérif.

Mots clés : Oued Mikkès ; bassin versant ; régime hydrologique ; morphodynamique fluviale ; plaine alluviale ; lit fluvial ; méandres ; typologie des berges ; ripisylves ; analyse des sédiments ; impact anthropique ; mutations de l'espace fluvial - Moyen Atlas ; Saïs ; Prérif ; barrage Sidi Echahed

ملخص

اهتم هذا البحث بدراسة الخصائص الهيدرومورفودينامية الحالية لواد مكس (رافد واد سبو) واثار الوقع البشري بالحوض النهري وسرير الواد. ولدراسة هذه الإشكالية اعتمدنا بشكل أساسي على العمل الميداني واستغلال البيانات الهيدروولوجية والمناخية ومعطيات إحصاء الساكنة والخرائط الطبغرافية والجيولوجية وكذا الصور الجوية، إضافة إلى نتائج التحليلات المخبرية.....

يمتد حوض واد مكس على ثلاث مجالات جيولوجية مختلفة من العالية نحو السافلة (الأطلس المتوسط، سهل سايس، ومقدمة جبال الريف) وبنظام هيدروولوجي يعتمد بشكل أساسي على التساقطات المطرية المتوسطة الغير المنتظمة المسببة أحيانا بفيضانات فجائية. ولقد تبين مدى ارتباط مورفولوجية الواد بالخصائص الجيولوجية والصخرية التي يمر بها بكل من العالية نحو السافلة التي تسمح بظهور مقاطع متسعة وأخرى ضيقة. كما أن هذه الأخيرة تتحكم بشكل كبير في الآليات المورفودينامية على مستوى إنتاج الإرسابات بالسفوح ونقلها نحو السافلة لتساهم بدورها في تكوين الخصائص الإرسابية والمورفولوجية للوحدات الهيدروجيومورفولوجية النشيطة، السهل الفيضي والمجرى المائي للواد.

كما أن دراسة العناصر الإرسابية للسهل الفيضي بعالية الواد أظهرت أنه يتكون من رواسب نهريّة خشنة ذات حصى وحصى ولاحام رملي تعلوه رواسب دقيقة من الطمي، كل هذه الرواسب تعبر عن حمولة امتطاحات نهريّة قوية غير منتظمة. أما باتجاهنا نحو وسط وسافلة الواد فهذه الرواسب غالبيتها دقيقة مكونة من رمال وطيني. وتبين من خلال دراسة السرير والأصغر للواد أنه يتكون من منعطفات طليقة تزيد درجتها وحدتها كلما اتجهنا نحو السافلة مع حمولة صلبة مكونة بشكل أساسي من صخور كلسية.

لقد مكنت دراسة الضفاف والنباتات النهريّة والدينامية الجانبية من فهم المورفودينامية الحالية لقرع الواد. كما أن تتبع مجرى الواد ابتداء من سنة 1962 عن طريق الصور الجوية، أظهر أنه لم يشهد تغير كبير في مجراه.

عرفت دراسة الوقع البشري بمجال الدراسة تزايد بشكل كبير منذ مرحلة الحماية (1912-1956) حيث شهدت ساكنة الحوض ارتفاعا ملحوظا ووقع تغير في أنماط استغلال الأرض، والرعي وإنشاء تجهيزات مختلفة. كما أن إنشاء سد سيدي الشاهد على واد مكس بمقدمة الريف كان له الوقع الكبير في تغير السلوك الهيدروولوجي والرسابي.

الكلمات المفتاح: واد مكس؛ الحوض النهري؛ النظام الهيدروولوجي؛ المورفودينامية النهريّة؛ السهل الفيضي؛ السرير النهري؛ المنعطفات؛ نوعية الضفاف؛ النباتات النهريّة، تحليل الرواسب؛ الوقع البشري؛ إستغلال المجال النهري؛ الأطلس المتوسط؛ سايس؛ مقدمة اريف. سد سيدي الشاهد.

Summary

This thesis aims to study the recent hydro-morphodynamic functioning of the Oued Mikkès (tributary of the lower Sebou) and the impacts due to the anthropization of the catchment and the bed of the wadi. The approach is based on a methodology applied at different scales, ranging from watershed to wadi bed. It is mainly based on field investigations, the exploitation of hydro-climatic data, cartographic documents, aerial photographs, satellite images, data from population censuses, laboratory analyses, etc.

The Mikkès drainage basin drains three lithologically distinct morphostructural domains, successively from upstream to downstream: the Middle Atlas cause, the Saïs and the Prérif. The hydrological regime is rainy, irregular Mediterranean, causing heavy floods during the rains. The flows have shaped a valley that shows differentiated morphologies from upstream to downstream, depending on the structure and resistance of the terrain, which influence the river dynamics by promoting the widening or shrinking of the valley bottom and the major bed. They also control the morphodynamic processes responsible for producing the solid load on the slopes and transferring it to the wadi bed.

The adjustment of the valley to liquid and solid transport is manifested in the morphological organization of the units of the valley bottom in three different functional hydro-geomorphological units: the alluvial plain, the middle bed and the minor bed.

The sedimentary formations of the alluvial plain are generally coarse pebble and gravel sediments, with fine sandy or sandy-silty matrix. They correspond to floods. This rough series is surmounted by a silty series deposited during overflows on the major bed. These deposits become preferentially fine in Saïs and Prérif. The wadi bed often shows a medium bed and a minor bed, with thresholds and anchors. It is characterized by a sinuous style where meanders develop more and more towards the downstream. Coarse sediments in transit are preferentially carbonated; their coarseness decreases from upstream to downstream. The morphology of the banks and the ripisylve are variable, depending on the lithological context, the dynamics of the Oued Mikkès and the lateral tributaries. The evolution of the minor bed layout in recent decades (since 1962) shows no significant morphological changes.

The anthropization of the Mikkès valley since the French Protectorate period (1912-56) was manifested by the extension of agricultural land and overgrazing upstream, and by various management interventions (dams, thresholds, dikes...). The establishment of the Sidi Echahed dam in 1997 had a strong impact on the landscape and the morphology of the Oued Mikkès bed in the Prérif.

Keywords: Oued Mikkès; watershed; hydrological regime; river morphodynamics; alluvial plain; river bed; riverbank typology; ripisylves; sediment analysis; anthropogenic impact; Middle Atlas; Saïs; Prérif

Sommaire

Introduction générale	5
Chapitre 1 : Contexte physique du bassin versant de L'Oued Mikkès.....	9
Chapitre 2 : Conditions climatiques et hydrologiques du bassin versant du Mikkès.....	44
Chapitre 3 : Morphodynamique fluviale du Haut Mikkès dans le causse moyen atlasique.....	77
Chapitre 4 : Morphodynamique fluviale du Moyen Mikkès dans le Saïs.....	117
Chapitre 5 : Morphodynamique fluviale du Bas Mikkès dans le Prérif.....	154
Chapitre 6 : Anthropisation, mutation socio-spatiale et impacts sur l'Oued Mikkès.....	209
Conclusion générale.....	233
Références bibliographiques.....	237
Liste des illustrations.....	244
Table des matières.....	258

Introduction générale

1. Cadre conceptuel et problématique

Cette thèse s'inscrit dans le cadre conceptuel du système fluvial. On rappelle que ce concept hydro-géomorphologique est centré sur l'organisation spatiale des transferts de l'eau et de sédimentaires dans les bassins versants des cours d'eau (S.A. Shumm, 1977, A. Taous, 2005). Ce concept met en évidence la complexité des rapports de cause à effet entre les variables de contrôle, ou variables environnementales, externes (principalement : débit solide, flux liquide et la pente longitudinale globale du cours d'eau), qui dépendent de l'état du bassin versant, et les variables de réponse ou variables internes (géométrie et sinuosité du chenal, la pente, caractéristiques granulométriques, et morphométriques des sédiments en transit...) qui déterminent la morphologie fluviale du cours d'eau (J. R. Malavoi, 1996 ; J.P.Bravard et F.Petit, 1999). Les variables de contrôle et de réponse évoluent dans l'espace et dans le temps en interaction mutuelle ; elles peuvent être impactées par les interventions de l'homme aux échelles du bassin versant et du lit fluvial.

Cette thèse s'inscrit dans le contexte scientifique des recherches concernant l'hydro-géomorphologie fluviale. Sa problématique s'inscrit dans le cadre global des recherches géographiques cherchant à caractériser la géomorphologie fluviale et de l'évolution récente des systèmes fluviaux marocains anthropisés. Elle s'intéresse à l'analyse du fonctionnement hydro-morphodynamique de l'Oued Mikkès (affluent du bas Sebou), en tenant compte de l'anthropisation et son impact sur l'espace fluvial et la morphologie du cours d'eau concerné.

2. Objectifs

Ce travail vise l'étude des conditions de la morphogenèse fluviale et les fonctionnements hydro-morpho-dynamiques récents de l'Oued Mikkès, à partir de l'étude de l'évolution des caractéristiques morphosédimentaires des différentes unités hydro-géomorphologiques du fond de vallée. On cherche également à étudier l'occupation humaine et déterminer son impact sur le fonctionnement du système fluvial du Mikkès.

Il s'agit en premier lieu de caractériser les conditions physiques de la dynamique fluviale, c'est-à-dire les facteurs déterminant les écoulements morphogènes qui contrôlent ces dernières décennies l'évolution géomorphologique du cours d'eau et de sa plaine alluviale, et les transits sédimentaires, ainsi que la mobilité spatio-temporelle de l'espace fluvial durant son évolution récente (les 5 dernières décennies environ).

Pour atteindre cet objectif, des objectifs secondaires sont définis ; ce sont :

- Déterminer les conditions physiques contrôlant le fonctionnement morphodynamique récent de l'Oued Mikkès. On cherchera à définir les caractéristiques géologiques, géomorphologiques, topographiques, climatiques, de la végétation et des sols du bassin versant.
- Analyser la morphométrie, l'hydrographie et le régime hydrologique de l'Oued Mikkès.
- Etudier la géomorphologie de la vallée du Mikkès et sa relation avec les caractéristiques lithologiques et morphostructurales des terrains traversés de l'amont à l'aval.
- Etudier les unités hydromorphologiques fonctionnelles à l'échelle du fond de vallée ; c'est-à-dire : la plaine alluviale et le lit fluvial fonctionnel actuellement.
- Analyser les formations sédimentaires de ces unités hydromorphologiques et déterminer leurs implications hydrodynamiques, ainsi que leur différenciation dans le sens amont -aval.
- Déterminer le style et les caractéristiques morphométriques du lit fluvial et son évolution spatiale amont-aval.
- Etude diachronique du tracé du lit de l'oued et du paysage fluvial du Mikkès depuis les 5 à 6 dernières décennies.
- Etudier l'occupation humaine du bassin versant, les mutations socio-économiques depuis la période du Protectorat français et mettre en évidence leurs impacts sur le fonctionnement hydro-morphodynamique de l'Oued Mikkès.

3. Approche et méthodologie

Pour atteindre les objectifs ciblés ci-dessus, la méthodologie de recherche adoptée est une méthodologie multidisciplinaire, déductive appuyée sur les fondements de l'approche systémique de l'hydro géomorphologie fluviale. Cette approche considère le système fluvial dans sa globalité incluant tout le bassin versant et ses composantes dans l'incidence à petit échelle sur les échanges de flux et de matière au niveau des secteurs, tronçons et segments de l'hydrosystème fluvial. L'analyse porte en premier lieu sur le cadre physique du bassin (géologie, géomorphologie et climat...), la physiographie (morphométrie, hypsométries, les pentes, le profil en long et le réseau hydrographique...); elle porte en second lieu sur le fonctionnement hydrologique (régime d'écoulement, variabilités temporelle et spatiale des débits). Finalement l'approche concerne le cadre anthropique (répartition de la population, évolution démographique, densité et activités socio-économiques...) et les impacts induits sur le fonctionnement fluvial.

Après l'étude à l'échelle du bassin versant, on aborde l'étude de l'hydromorphologie fluviale à l'échelle de tronçons de vallée. Ceci consiste à déterminer et proposer des secteurs homogènes, choisis respectivement dans les zones amont, médiane et aval le long de la vallée de Mikkès.

Au sein de chaque secteur, une analyse géologique et géomorphologique des unités encaissantes est réalisée, suivie d'une analyse des aspects géométriques des versants (profils en travers, les pentes et les formes...) et du fond de vallée (largeur ; pente longitudinale). L'analyse morphologique se poursuit à l'échelle de la plaine alluviale et du lit de l'oued, en y essayant de dégager les caractéristiques des aspects morpho-sédimentaires (mouilles, seuils, barres...). L'étude des berges et de la ripisylve est réalisée dans chacun des tronçons choisis.

Des échantillons ont été prélevés, afin de renforcer la caractérisation du matériel alluvial composant la plaine alluviale et le lit de l'oued. Ces échantillons ont été analysés, selon les moyens disponibles, sur le terrain (granulométrie, pétrographie et morphométrie des galets) et au laboratoire LAGEA-DD (granulométrie des fractions fines sableuses).

Nous avons également essayé de suivre l'évolution de l'ajustement morphologique récent du tracé de l'Oued Mikkès dans un tronçon de référence depuis le début des années 60, à partir d'une étude diachronique des photographies aériennes de différentes missions (1962, 1983) et des images satellitales (Google Earth et Sas Planet). Les tendances réalisées par le biais de ces documents ont été vérifiées par l'observation du terrain.

En ce qui concerne l'étude de l'anthropisation de la vallée du Mikkès, et les mutations socio-spatiales, nous avons fait recours aux travaux antérieurs et données disponibles sur la population (Données de l'HCP, 1982-2014 ; et Monographie de la région Fès-Meknès 2016), en plus de nos observations de terrain. Les interventions d'aménagement le long de la vallée et du lit de l'Oued Mikkès, et leurs impacts, ont été inventoriées à l'aide de l'image satellitaire et les investigations de terrain.

L'exploitation et le traitement des données récoltées sont réalisés à l'aide d'outils informatiques (logiciels de traitement de données). Le traitement statistique des données hydro-climatiques de l'ABHS (précipitations, températures, débits) et granulométriques a été effectué sur Excel. La cartographie et illustrations cartographiques ont été réalisées en utilisant le logiciel de cartographie Arc Gis 10,3.

4.- Structure de la Thèse

Le manuscrit est structuré en six chapitres, avec une introduction générale et une conclusion générale :

- . **L'introduction générale** : présente le cadre conceptuel, la problématique et la méthodologie adoptée.
 - . **Le premier chapitre** est consacré à l'étude des caractéristiques physique et morphométriques du bassin versant de l'Oued Mikkès (géologie et géomorphologie, végétation, sols...).
 - . **Le deuxième chapitre** est consacré à l'analyse des caractéristiques climatiques et hydrologiques.
-

- . **Le troisième, le quatrième et le cinquième chapitres** abordent l'étude des caractéristiques morpho-sédimentaires et implications hydrodynamiques, successivement dans trois tronçons de vallée : dans le Moyen Atlas (tronçon amont), dans le Saïs (tronçon médian) et dans le Prérif aval.
- . **Le sixième chapitre** est consacré à l'analyse de l'anthropisation de la vallée du Mikkès et ses impacts sur le fonctionnement hydromorphologique de l'oued.
- . **La conclusion générale** fait la synthèse des principaux résultats obtenus en réponse aux objectifs visés dans la thèse, tout en soulevant des perspectives de recherche dans l'avenir.

Chapitre 1 :

Contexte physique du bassin versant de L'Oued Mikkès

Introduction

1.- Localisation géographique et administrative

2.- Contextes géologique et géomorphologique

3.- Contexte hydrogéologique

4.- Sols et végétation

5.- Morphométrie et hydrographie

Conclusion

Introduction

Les conditions physiques, principalement la géologie, la géomorphologie le climat qui caractérisent un bassin versant, jouent un rôle capital dans le contrôle de la morphologie des vallées fluviales et de leurs fonctionnements hydrologiques et morpho-sédimentaire.

Dans ce premier chapitre, le travail vise essentiellement, dans un premier temps, l'analyse du contexte physique, notamment la géologie, la géomorphologie, la topographie, le sol et la végétation. L'objectif, est d'abord de mieux connaître la géologie et la nature lithologique des terrains et les caractéristiques des unités géomorphologiques traversées par la vallée du Mikkès, et aussi de déterminer les caractéristiques de couvert végétal et les sols. En ce qui concerne les conditions climatiques du bassin versant, on va les étudier dans le second chapitre qui abordera aussi le fonctionnement hydrologique de l'Oued Mikkès.

Cette première caractérisation va nous permettre la compréhension des facteurs physiques essentiels qui contrôlent le fonctionnement hydro-géomorphologique de l'Oued Mikkès.

La réalisation de ce chapitre s'est basée principalement sur les travaux de recherches déjà réalisés sur la zone d'étude, comme par exemple les travaux de : J. Martin, 1977 et 1981 ; F. Amraoui, 2005 ; K. Belhassan 2011 ; Z. Qadem, 2020 ; J. Chamayou et *al*, 1975 ; D. Fassi, 1999, H. Achiban, 2021 ; etc. Aussi notre analyse s'est basée sur l'exploitation des cartes géologiques et topographiques et des images satellitaires de différentes dates, qui couvrent le bassin du Mikkès, en plus des observations de terrain.

1. - Localisation géographique et administrative

Oued Mikkès est un affluent de rive gauche qui rejoint l'Oued Sebou dans le Prérif (fig1.1.). Son bassin versant est situé entre les coordonnées géographiques : $X : 5^{\circ}00'00''$ / $6^{\circ}00'00''$ $Y : 33^{\circ}36'00''$ / $34^{\circ}12'00''$. Il draine une superficie de 1900 Km^2 (fig.1.1) étendue sur trois unités morpho-structurales différentes, qui sont du Sud vers le Nord : la bordure occidentale du causse moyen atlasique qui se situe en amont, au Sud du bassin ; le domaine de Saïs qui occupe la partie médiane du bassin ; et vers l'aval les rides pré-rifaines et le Prérif.

De point de vue administratif, le bassin versant de l'Oued Mikkès, fait partie de la région Fès-Meknès et chevauche sur cinq provinces : Ifrane, El-Hajeb, Séfrou, Moulay Yakoub, et Meknes

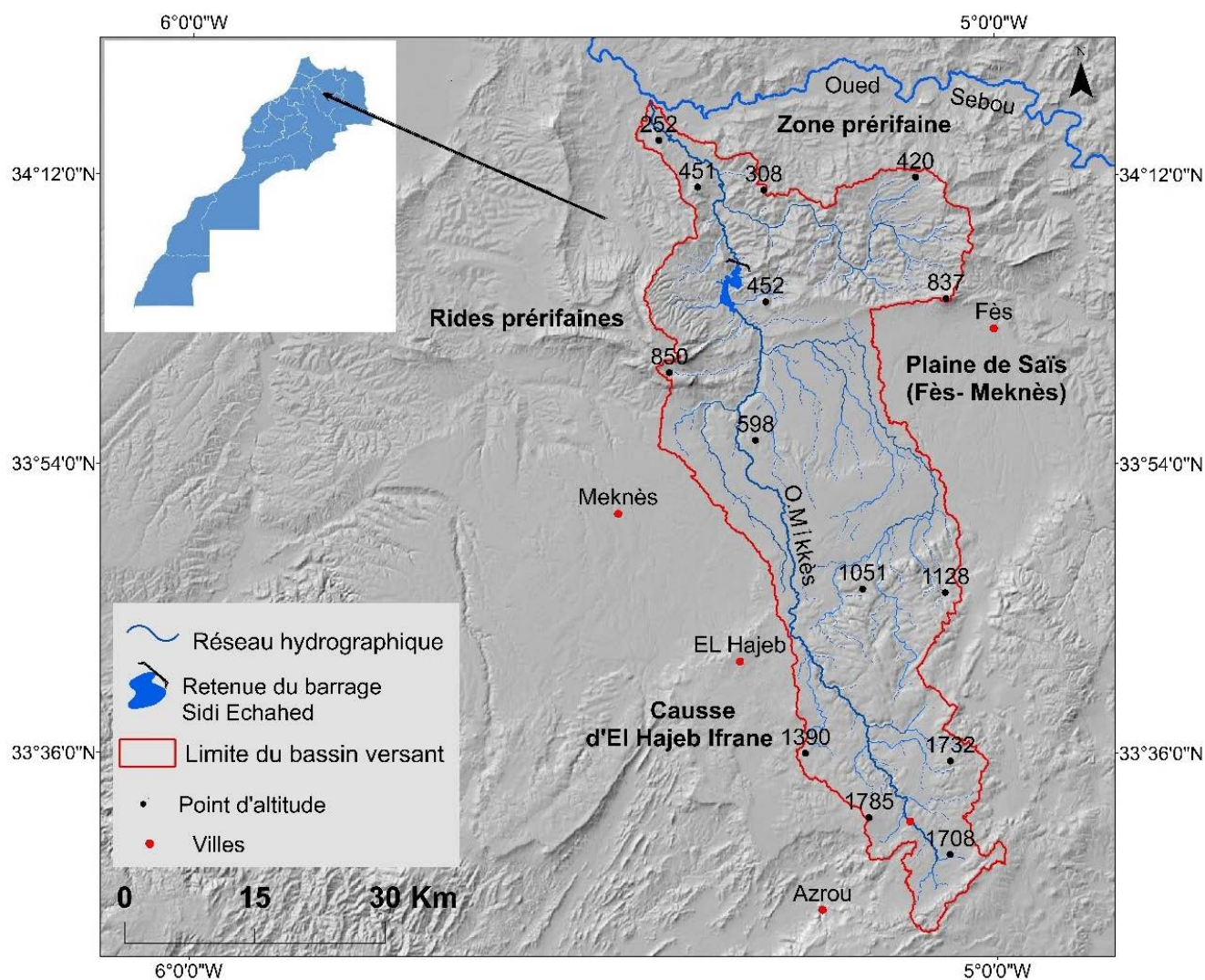


Figure 1.1 : situation géographique du bassin versant de l'Oued Mikkès

2.- Cadre géologique et géomorphologique général

Comme c'est indiqué ci-dessus, le bassin versant de l'Oued Mikkès se développe sur trois ensembles morfo-structuraux et géologiques différents qui sont : domaine du causse moyen atlasique, le plateau du Saïs et le Prérif. (Fig.1. 2).

2.1- Domaine du causse moyen-atlasique

La partie méridionale du bassin étudié draine le causse moyen atlasique (pl. ph. 1.a). Ce secteur est limité à l'Ouest par les terrains paléozoïques de la Meseta marocaine, et au Nord, par les assises tertiaires et quaternaires du Couloir Sud rifain. Le causse moyen atlasique, est constitué de roches dolomitiques et calcaires du Lias moyen et inférieur, qui apparaissent le long de la vallée de Tizguit qui correspond au tronçon amont du Mikkès, ces terrains supportent localement des épanchements volcaniques plio-quaternaires.

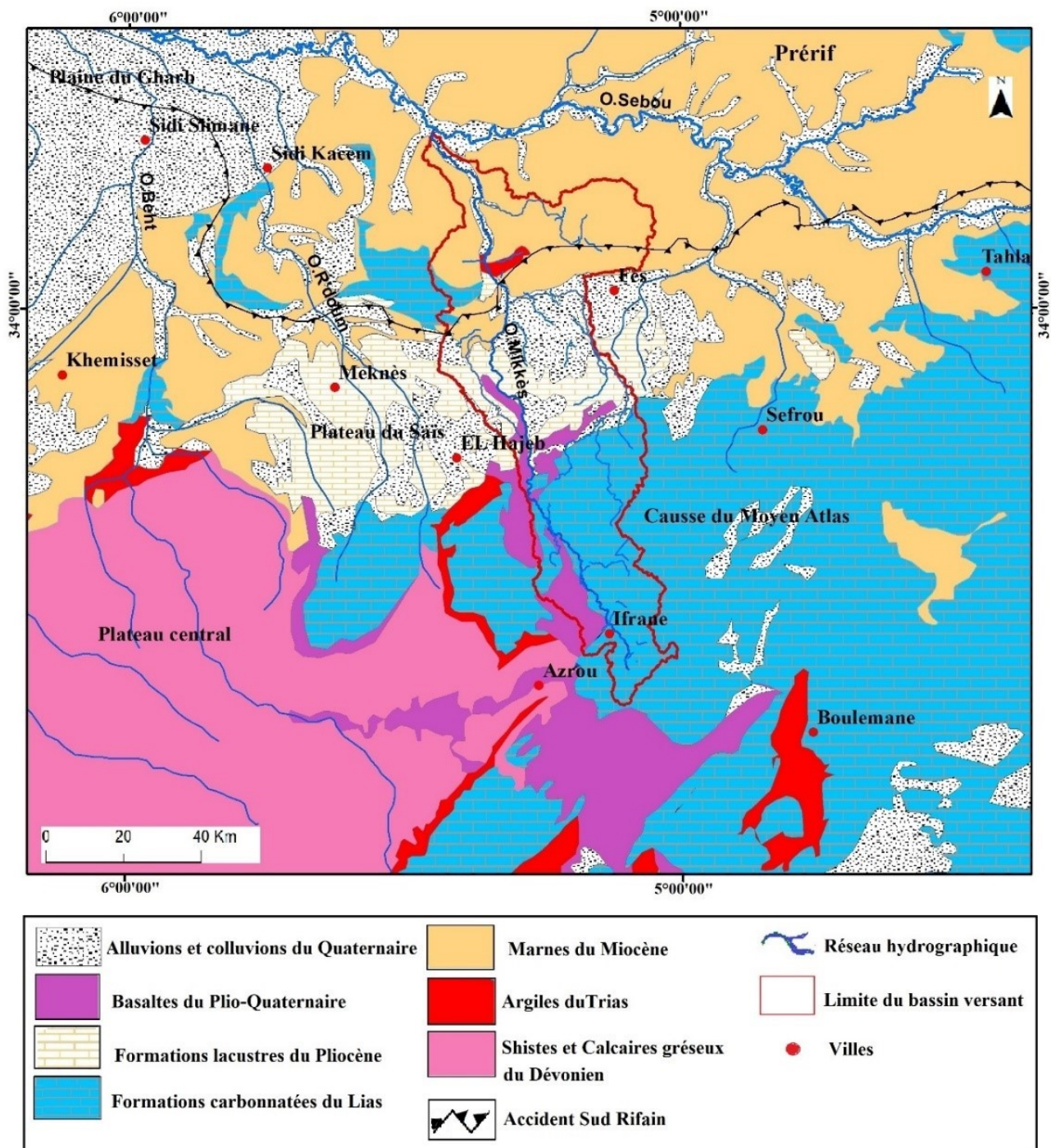


Figure 1.2 : carte des grands domaines structuraux et localisation du bassin Mikkès (D'après la carte géologique du Maroc à échelle 1/1000 000).

De point de vue morphologique, ce domaine se caractérise par une structure tabulaire, plus faillée que plissée et par un relief relativement monotone (F. Amraoui, 2005). Il s'agit de vastes plateaux karstiques étagés, qui surplombent la plaine du Saïs, interrompus par des irrégularités topographiques au niveau des vallées fluviales. En outre, cette zone est surtout caractérisée par un paysage où dominent les dolines et les poljés d'origine karstique ainsi que les volcans quaternaires (J. Martin, 1981 ; H. Achiban, 2021).

2.2.- Le plateau du Saïs

Le plateau de Saïs fait partie du Sillon Sud-rifain (pl. ph. 1.b). En fait ce dernier correspond à un couloir (400 à 700 m d'altitude), ou encore une dépression allongée dans une direction E-O, entre le Prérif au Nord et le Moyen Atlas au Sud. Dans la zone du bassin versant étudié, la topographie de ce plateau est relativement plane avec une douce pente du Sud vers le Nord (0.1%).

Un accident topographiquement franc (D. Fassi, 1999), d'orientation globale Est-Ouest, appelé flexure d'Ain Taoujdate, subdivise le Saïs en deux parties ; le plateau de Meknès à l'Ouest et la plaine du Saïs à l'Est.

Le plateau de Meknès occupe la partie centrale et Ouest du bassin de Saïs. Son altitude, décroît d'une manière générale du Sud vers le Nord, en passant de 1000m à El Hajeb, à 550m à Meknès. Dans sa partie septentrionale, le plateau se redresse brutalement au niveau des rides prérfaines (Jbel Kanoufa). Le plateau de Fès occupe la partie Est du Saïs. Son altitude décroît aussi du Sud vers le Nord. Elle passe de 700m au piémont du causse à 400m dans la région de Fès.

Il est à noter que l'Oued Mikkès draine ces deux plateaux du Sud vers le Nord et reçoit les apports d'un certain nombre d'affluents mineurs, qui sont alimentés par les pluies et des sources issues de nappes souterraines.

2.3.- Le Prérif et les rides prérfaines

La partie septentrionale du bassin du Mikkès draine les rides prérfaines et le Sud du domaine prérfain. Elle se présente sous forme de collines argileuses ou marneuses très ravinées (pl.ph. 1.b). Elle correspond au décollement d'une partie du matériel tertiaire des zones externes venant charrier un important olistostrome prérfain (F. Amraoui, 2005). En outre, des plissements tardifs ont provoqué la surrection d'anticlinaux à cœur jurassico-crétacé des rides prérfaines (A. Brahim, 1983).

Ces dernières présentent une superposition des formations liasiques (calcaires blanchâtres) reposant directement sur le substratum triasique argileux (B. Cherai, 2009). Ces rides sont accidentées et affectées de plissements récents, d'âge plio-quadernaire (A. Michard *et al.* 2008). Elles sont traversées profondément par la vallée du Mikkès.

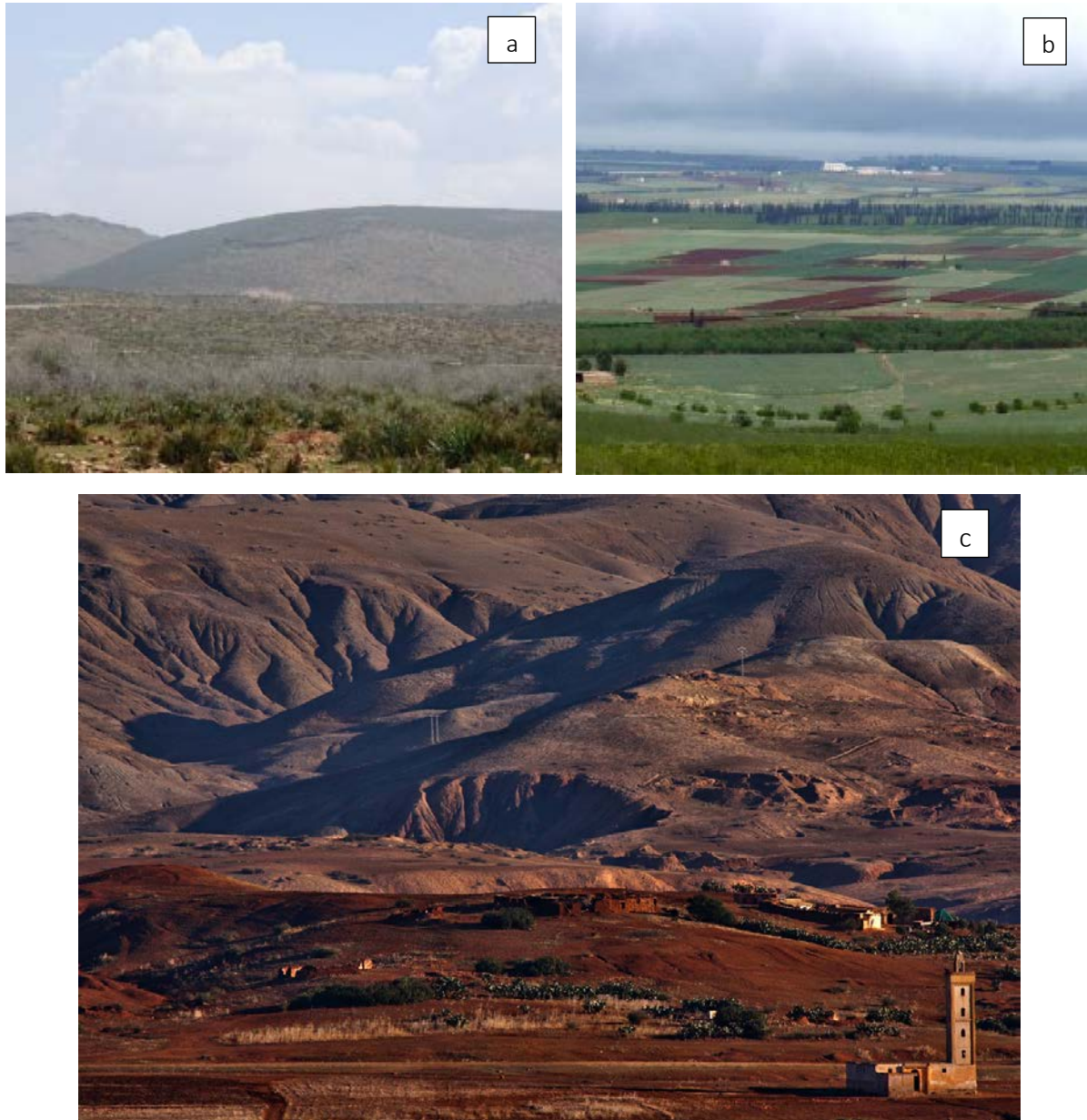


Planche photos 01.01 : aspects du paysage géomorphologique du bassin versant de l'Oued Mikkès dans les différents domaines morphostructuraux.

a) morphologie des versants du causse taillés dans les calcaires liasiques à Douar Sidi Brahim (15/03/21). b) plaine du Saïs vue de Sud vers le Nord près de la ville Ain Taoujdate (10/04/20) c) les collines marneuses du domaine préifain (20/05/22) au voisinage du barrage Sidi Echahed (ancien centre Mikkès).

3.- Lithologie des terrains dans le bassin du Mikkès

La lithologie des terrains joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. En effet la perméabilité du substratum d'un bassin versant intervient sur la vitesse de montée des crues, sur leur volume et sur le soutien apporté aux débits d'étiage par les nappes souterraines. De plus, l'érosion dans le bassin est fonction de la

résistance des terrains qui représentent la source des matériaux sédimentaires en transit dans le système fluvial (A. Taous, 2005).

La carte lithologique du bassin versant de Mikkès (fig.1. 3), réalisée sur la base des cartes géologiques d'El Hajeb et Fès Ouest (1/100.000), montre que L'Oued Mikkès traverse plusieurs formations lithologiques qui appartiennent à trois ensembles structuraux différents. Il s'agit du causse d'El Hajeb–Ifrane au Sud où prédominent les formations carbonatées (les calcaires et les dolomies du Lias) et dont la fracturation est forte ; le bassin du Saïs au centre est constitué par des calcaires lacustres et les sables fauves du Pliocène, ainsi que les marnes du Miocène et le Prérif au Nord, formé essentiellement par les marnes du Miocène et les argiles du Trias.

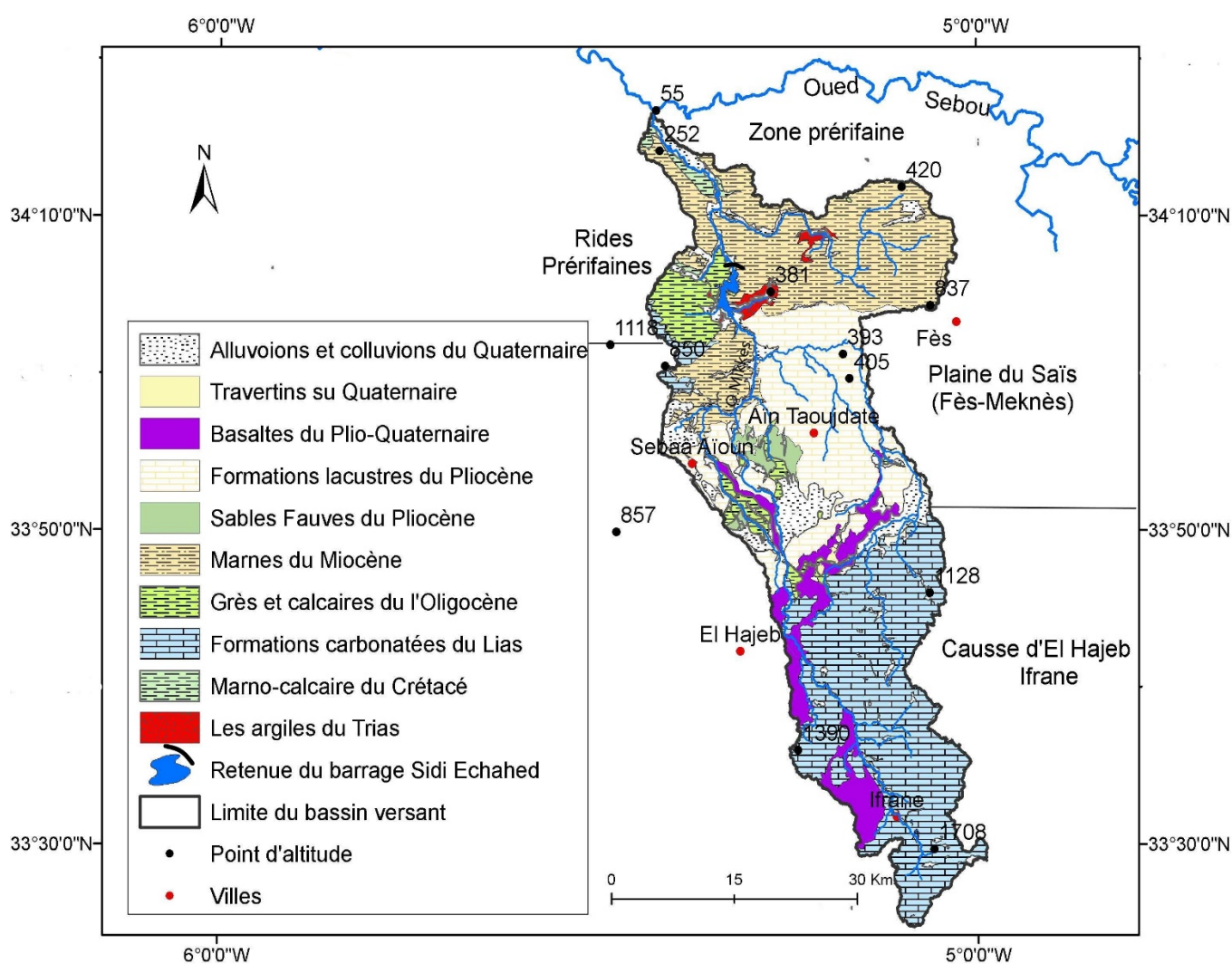


Figure 1.3 : carte lithologique du bassin versant Oued Mikkès

(D'après la carte géologique au 1/100000 feuilles de Fès Ouest 1942 et d'El Hajeb 1943).

La répartition lithologique dans le bassin versant de Mikkès (fig.1.4), montre qu'il comporte des formations variées, essentiellement perméables représentées par : les calcaires et dolomies

du Lias (29,75%) ; les calcaires lacustres du Pliocène (20,44%) ; les grès et calcaires d'Oligocène (6,09%), les basaltes du Quaternaire (5,24%). Les marnes imperméables du Miocène (24,15%) affleurent dans le Saïs et dominant dans le Prérif. Les alluvions des vallées et les colluvions du Quaternaire représentent 10,91%.

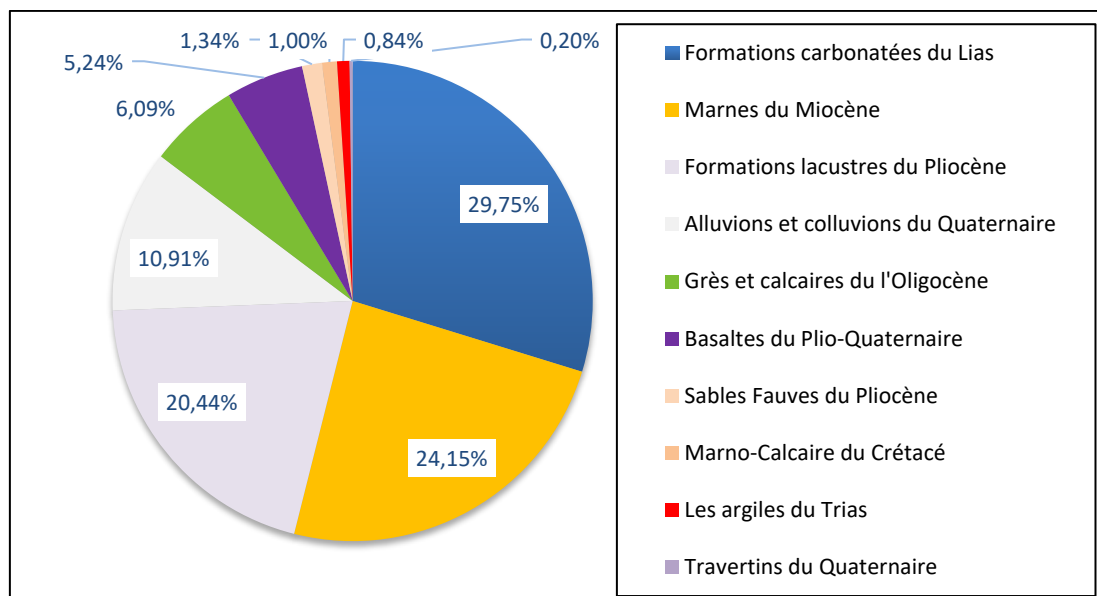


Figure.1.4: répartition lithologique dans le bassin versant du Mikkès.

3.1.- Trias

Les formations du Trias affleurent à la fois au Nord et au Sud du secteur d'étude. Au Nord, elles apparaissent au front de la nappe pré-rifaine où ils soulignent les plans de chevauchement causés par la tectonique alpine (O. Harmouzi, 2010). Ces affleurements qui s'étendent sur une superficie de l'Est vers l'Ouest sur plusieurs kilomètres, apparaissent au Nord du bassin versant de l'Ouest Mikkès au voisinage du site du barrage Sidi Echahed. Ils occupent un pourcentage faible de 0.84%. Au Sud, sur la bordure Nord-Ouest du causse d'El Hajeb –Ifrane, le Trias est caractérisé par sa trilogie classique à savoir : deux couches d'argiles rouges salifères, intercalées par une couche de basaltes doléritiques (K. Belhassan, 2011).

3.2.- Le Jurassique

Le Jurassique est représenté par les calcaires du Lias moyen et les dolomies et les calcaires dolomitiques du Lias inférieur. Au Nord-Ouest du bassin versant de l'Oued Mikkès dans les rides pré-rifaines, les formations jurassiques affleurent sur de faibles superficies, et se disposent sous forme de mégastructures plissées et faillées. Au Sud, les formations jurassiques dominent le paysage en coiffant la structure tabulaire du causse moyen atlasique. En effet, les couches du Lias inférieur et moyen occupent la quasi-totalité des affleurements géologiques du causse d'El

hajib-Ifrane. Au centre dans le Saïs, ces formations liasiques sont surmontées par les formations marneuses imperméables du Miocène (A. Essahlaoui, 2000).

3.3.- Le Crétacé Supérieur

La série complète du Crétacé apparaît uniquement au niveau des rides prérfaines, où elle repose sur le Jurassique par l'intermédiaire d'un conglomérat cénomanien à éléments jurassiques (K. Belhassan, 2011). Ces conglomérats sont surmontés par les calcaires du Turonien et des marnes à intercalations calcaires du Sénonien. Dans le Prérf externe, le Crétacé marneux apparaît en compagnie du Trias au front des écailles tectoniques. Les formations marno-calcaires du Crétacé supérieur couvrent près de 1% de la surface totale du bassin de Mikkès ; elles sont considérées comme des formations semi-imperméables qui favorisent le ruissèlement.

3.4.- L'Oligocène

Les formations de l'Oligocène couvrent 6,09 %, de la surface totale du bassin de Mikkès. Elles n'apparaissent que dans les rides prérfaines, au Nord du bassin et elles sont représentées principalement par les marnes, les grès et les calcaires à passées grésocalcaires (W. Bruderer et al. 1955).

3.5.- Le Miocène

Dans le domaine prérfain, l'Oligocène couvre 24, 15% de la surface totale du bassin versant. Il est surmonté en concordance par les dépôts miocènes. Il est marqué par une molasse blanche, surmontée par des marnes et des marno-calcaires à intercalations calcaires et grès. Cet ensemble est coiffé à Nazlat Beni Ammar par une formation essentiellement marneuse. Le gypse, la calcite en cristaux, apparaissent dans la partie supérieure des marnes (K. Belhassan, 2011). À Sidi Echahed, le Miocène recouvre les terrains charriés formant des cuvettes synclinales. Dans cet endroit le Miocène supérieur débute par des marnes bleues du Tortonien, qui sont surmontées par des grès coquilliers, roux et ferrugineux du Messénien.

3.6.- Le Pliocène

Au-dessus des formations marneuses du Miocène, se sont déposés des sables à matrice carbonatée du Pliocène inférieur (R. Wernli, 1988). À l'Ouest du bassin versant du Mikkès, ces sables peuvent atteindre une épaisseur de 50m (P. Taltasse, 1953 ; P. Cirac, 1987 ; L. Ait Brahim, 1991). Le Pliocène moyen est caractérisé par une formation sableuse de couleur très variable et d'une épaisseur qui avoisine trente mètres. Il s'agit des sables fauves qui affleurent dans les parties les plus orientales du bassin de Saïs (à Ain Taoujdade), et au Sud du plateau de

Meknès, en couvrant 1.34 % de la surface totale du bassin de Mikkès. Les formations du Pliocène supérieur au niveau du bassin de l'Oued Mikkès sont constituées principalement, de bas en haut : de sables et calcaires bioclastiques (2m) avec un pourcentage plus important d'encroustement algaire (P. Cirac, 1987) et des calcaires et calcilutes (30m à 100m). Les affleurements des sables fauves sont peu abondants au niveau du bassin versant de l'Oued Mikkès. Il est à noter que les calcaires lacustres pliocènes occupent une grande partie du bassin de Mikkès, soit 20,44% de sa surface totale.

3.7.- Le Quaternaire

Le Quaternaire est représenté par les alluvions et les colluvions qui occupent près de 10,91% de la superficie totale du bassin, et les basaltes y couvrent plus de 5,24%. Au niveau du Saïs et au Prérif, les formations du Quaternaire correspondent à un complexe fluviatile, daté du Quaternaire moyen et supérieur (M. Ahmamou, 1987). En revanche, dans le causse d'El Hajeb – Ifrane, le Quaternaire est marqué par plusieurs épisodes volcaniques ayant émis des quantités énormes de basalte alcalin. En effet le causse est percé dans sa partie Ouest par deux grands volcans du Plio-Quaternaire (Elkoudiate et Outgui), dont les coulées sont arrivées jusqu'au bassin de Saïs. Les coulées de lave issues du Jbel Outgui (1431 m), grand volcan éteint dominant le causse d'El Hajeb, ont traversé le bord du causse et se sont épanchées fort loin dans la plaine de Saïs, à une trentaine de Km à partir du cratère. Ces affleurements basaltiques se présentent comme des recouvrements de plateaux et des versants carbonatés, de comblement de fonds de vallées ou en recouvrement partiel des formations détritiques du Saïs (A. Dekayir et M. El-Maataoui, 2001). D'autre part, des alluvions et les colluvions quaternaires et récentes qui sont des dépôts limoneux nivèlent les parties basses des plaines et affleurent aux bords des cours d'eau. Elles s'étendent particulièrement dans la partie aval de la vallée.

4.- Contexte hydrogéologique

L'hydrogéologie du bassin de l'Oued Mikkès se caractérise par la présence de quatre nappes importantes (fig.1.5).

4.1.- La nappe du causse d'El Hajeb-Ifrane

Les formations carbonatées karstifiées de ce causse (calcaires et dolomies du Lias moyen et inférieur) qui sont drainées par Oued Tizguit, ont une structure tabulaire.

Elles constituent un réservoir hydrogéologique important ; elles sont limitées dans leur partie inférieure par un mur triasique imperméable, formé d'argiles rouges salifères et gypsifère, ce qui contribue à la formation de ce réservoir hydrogéologique (J. Martin, 1981). En effet, ces formations carbonatées karstifiées et fracturées sont perméables, ce qui favorisent l'infiltration

et l'alimentation de la nappe liasique profonde ; celle-ci donne lieu à plusieurs sources au niveau du piémont du causse du moyen atlas (sources des secteurs Ribaa-Bittit ; Aguemguem ; Atrous ; Si Lmir et Aïn Sbaa), qui alimentent l'écoulement de l'Oued Mikkès et de ces affluents supérieurs.

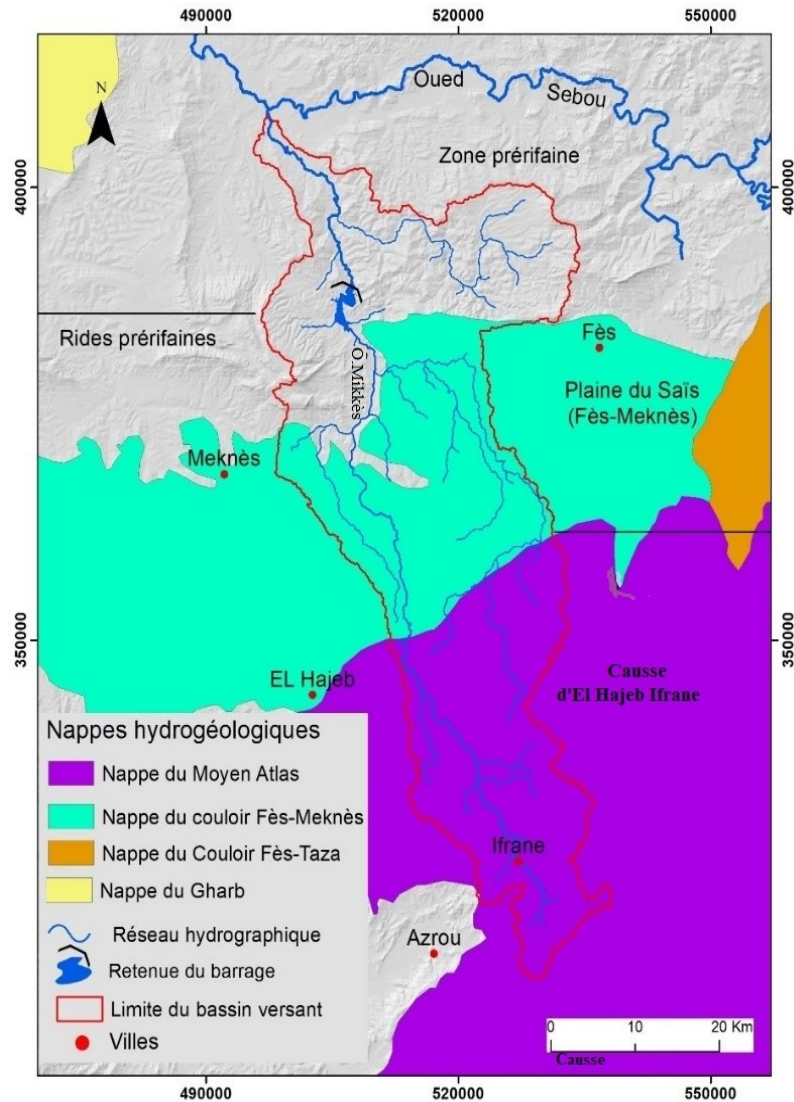


Figure 1.5 : les principales nappes hydrogéologiques dans le bassin de Mikkès (Source : ABHS, 2005)

4.2.- La nappe de Fès- Meknès

Deux réservoirs importants sont distingués dans le plateau de Fès-Meknès. Il s'agit de la nappe profonde des formations calcaro-dolomitiques du Lias et celle de surface qui circule dans les calcaires lacustres et les alluvions du plio-Quaternaire :

4.2.1.- La nappe profonde du Lias

Elle s'agit de la nappe captive du Lias moyen et inférieur, limitée dans sa partie inférieure par un mur triasique et dans sa partie supérieure par un toit miocène imperméable. Elle

s'alimente essentiellement des eaux météoriques qui s'infiltrant au niveau du causse et qui s'enfoncent graduellement sous le bassin lacustre et le remplissage miocène du Saïs pour atteindre des profondeurs dépassant 700m. En allant vers le Nord, cette nappe peut communiquer avec la surface, directement à l'aide d'accidents tectoniques ou indirectement en alimentant la nappe phréatique (J. Chamayo, 1975).

4.2.2.- La nappe phréatique libre plio-quadernaire

La nappe plio-quadernaire est la première nappe rencontrée à partir de la surface, sur des profondeurs moyennes comprises entre 10 et 30 m (A. Essahlaoui, 2000). Les zones plus profondes sont situées essentiellement le long de flexure d'Aïn Taoudate, à Sebaâ Aïoun et au niveau de la bordure du causse au Nord d'Imouzer (ABHS, 2005).

Il s'agit d'un réservoir constitué essentiellement de calcaires, de sables et de grès, séparés par des assises semi-perméables de marnes sableuses et calcareuses. Ce réservoir de surface est séparé de la nappe profonde du Lias par les marnes bleues du Tortonien dont l'épaisseur peut atteindre 1300m par endroit (R. Tilloy, 1955). L'alimentation de cette nappe est assurée principalement par les infiltrations directes des apports pluviométriques dans le plateau de Saïs, et des écoulements souterrains profonds de la nappe liasique qui s'étend en profondeur depuis le causse moyen atlasique. Elle est alimentée aussi par l'infiltration des eaux d'irrigations dans les différentes parties du plateau de Saïs (M. Bahir et *al.* 2002).

4.3.- La nappe des rides pré-rifaines

Au niveau des rides pré-rifaines, trois réservoirs superposés peuvent être distingués. Il s'agit des calcaires dolomitiques du Lias inférieurs ; des calcaires et des grès du jurassique moyen et des grès du Burdigalien (K. Belhassan, 2011). Ces réservoirs sont séparés par des formations imperméables essentiellement marneuses. Ils ont un potentiel relativement limité, et ils sont exploités au niveau de plusieurs forages et points d'eau pour adduction en eau potable. Des sources thermales apparaissent à l'occasion d'accidents tectoniques majeurs, comme c'est le cas des sources de Moulay Yakoub.

5.- Les sols et le couvert végétal

Les sols et la végétation du bassin versant de Mikkès sont contrôlés par des conditions climatiques méditerranéennes, influencées par les influences atlantiques. Nous revenons dans le deuxième chapitre sur les caractéristiques du climat du bassin.

5.1. Les sols

Le sol, selon sa nature et ses propriétés hydrodynamiques, structurales et physico-chimiques, influence largement les processus de ruissellement et d'infiltration. D'une manière générale, plus le sol est perméable, plus le ruissellement est faible et l'infiltration est forte. Le bassin versant du Mikkès est doté d'une grande diversité de sols (fig.1.6). Cette variation est liée en premier lieu à la diversité lithologique des roches et aussi au type du relief, qui est un des facteurs ayant la plus forte influence sur les variations et la répartition des sols. Les conditions climatiques et la végétation influencent également la typologie et la distribution des sols.

5.1.1.- Les sols du causse

Le climat favorise la formation du sol approprié à chaque type de roche mère. Les sols du causse moyen atlasique sont généralement dominés par des sols peu évolués d'érosion à inclusions de sols à sesquioxides de fer qui couvrent près de 29,37 % de la surface totale du bassin. Ces derniers, se caractérisent par la dominance des ions Ca^{2+} et/ou Mg^{2+} et se décompose en cinq classes (B. Le Poutre et J. Martin, 1967) :

- Les rendzines dolomitiques qui se développent sur la dolomie sableuse du Lias inférieur ou du Lias moyen ;
- Les sols rouges qui se développent sur les dolomies massives du Pliensbachien, et sur les calcaires dolomitiques et les calcaires du Lias moyen ;
- Les sols bruns forestiers qui se développent sous forêts de cèdre de chêne vert et de chêne zen ;
- Les rendzines calcaires qui se développent sur les marnes ou sur les calcaires marneux de l'Aalénien et du Toarcien.

Les sols rouges qui se développent sur les dépôts colluviaux et qui sont constitués généralement d'éléments fins. Ces sols montrent des structures et des textures qui favorisent l'infiltration, beaucoup plus que le ruissellement, ce qui explique la faible densité de drainage sur la zone de causse.

5.1.2.- Les sols de la plaine de Saïs

Les sols dans le Saïs appartiennent à la classe de sols iso-humiques et sols bruns et rouges fersiallitiques. Ils occupent près de 37,18% de la surface totale du bassin versant de Mikkès en dominant l'essentiel du paysage de la plaine de Saïs (fig.1.7).

Sur les zones à forte pentes et sur les bordures méridionales et aussi au niveau des vallées encaissées, se développent les sols peu évolués et les vertisols (forte érosion, charge en cailloux

élevée, faible épaisseur, taux de calcaire élevé,). (E. Rose et *al.* 2010). Il est à noter que généralement les sols qui dominent la plaine de Saïs, sont considérés comme bons sols agricoles, surtout que la faible pente les protège contre l'érosion hydrique

5.1.3.- Les sols du Prérif et rides prérifaines

Les sols caractérisant la partie Nord du bassin, sont des vertisols à inclusions de sols peu évolués d'érosion. Ils sont généralement développés sur des roches mères non calcaires, en particulier sur des grès et des mollasses tertiaires. La structure des vertisols, sous climat méditerranéen, favorise le ruissellement au dépend de l'infiltration. (G. Bryssin, 1965).

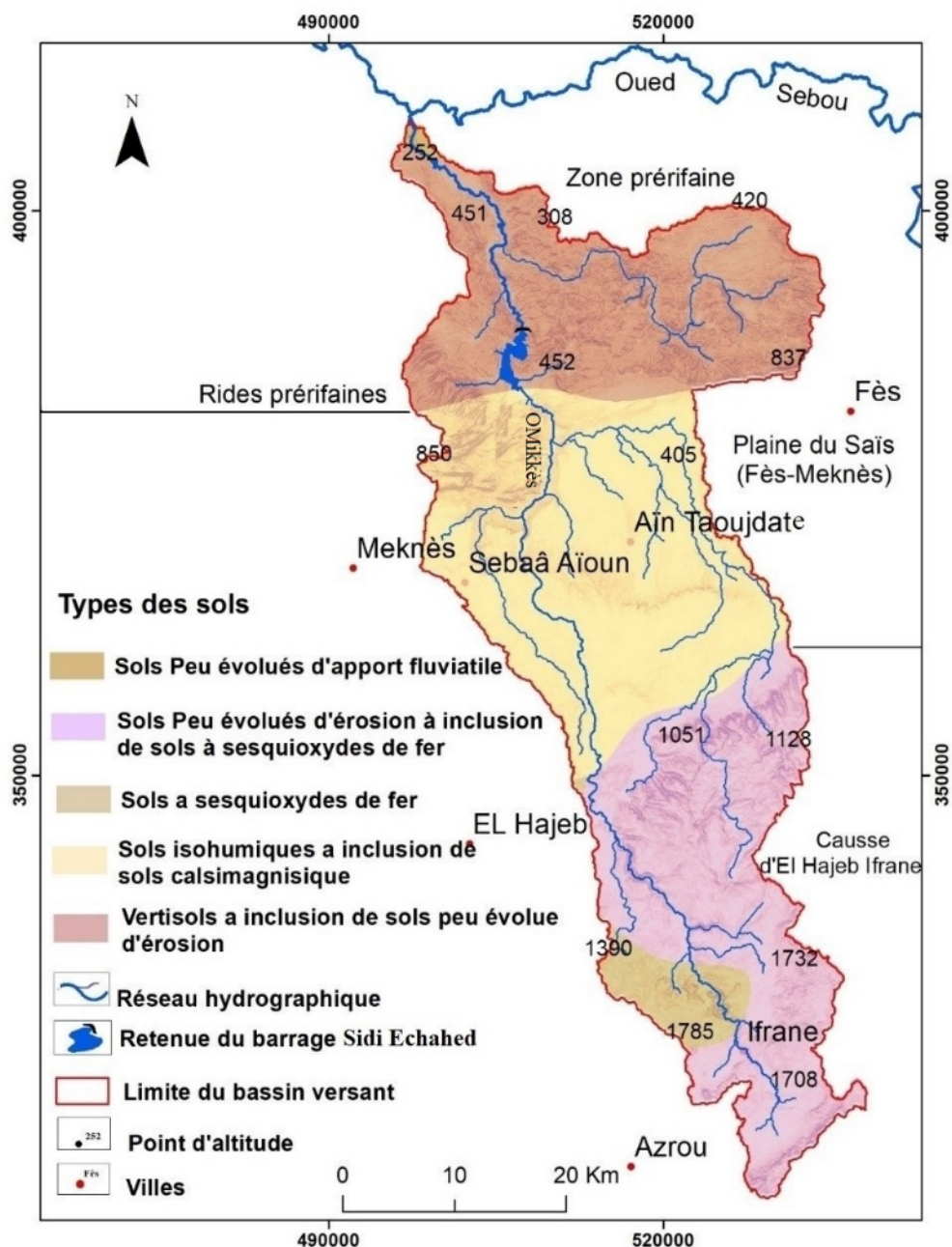


Figure1.6 : la carte de la distribution générale des types de sols du bassin versant de Mikkès (d'après la carte pédologique du Maroc 1/500000, 1950)

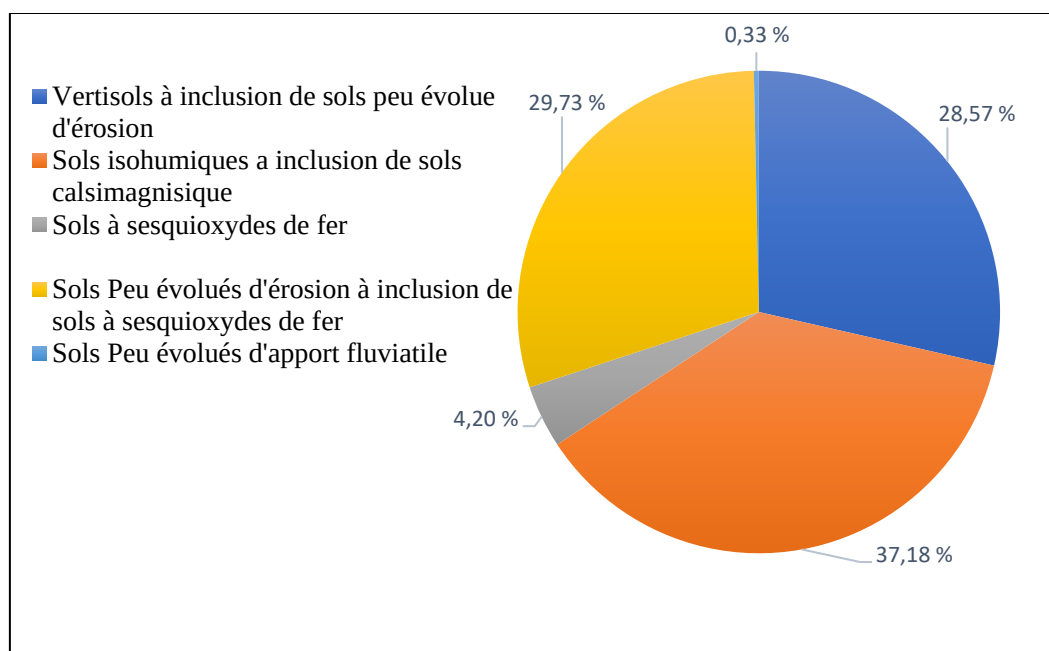


Figure 1.7 : répartition des types de sols du bassin versant Oued Mikkès

5.2.- Le couvert végétal

Le couvert végétal est une caractéristique physique qui influence fortement le comportement hydrologique d'un bassin versant. La végétation est un facteur d'interception de la pluie, qui diminue la pluie nette, faisant obstacle au ruissellement et protégeant les sols (D.J. Snelder., 1995). En effet, la végétation favorise l'infiltration et réduit le rendement en eau de ruissellement du bassin. C'est ainsi que la présence de végétation telle que la forêt joue un rôle important pour l'atténuation des pics de crues.

Le bassin versant de Mikkès se caractérise par une variation altitudinale, allant de 806m dans le domaine pré-rifain, 335m dans le Saïs, à 2076 m sur les reliefs carbonatés du causse. Sur le plan climatique le bassin montre une grande variation spatiale entre l'amont et l'aval, et temporelle d'une saison à l'autre. De point de vue lithologique le bassin montre une très grande variation entre les différents domaines structuraux qui le compose. Cette grande variation engendre un ensemble de conditions qui influencent largement le type, l'abondance et la répartition de la végétation naturelle. En effet la forêt est principalement située dans l'ambiance bioclimatique Subhumide à humide et s'installe surtout sur le causse et ses bordures à partir de 1300m. Le couvert forestier arboré et arbustive couvre 700,31 Km², soit 36,66 % de la superficie totale du bassin. La carte de végétation naturelle du bassin versant Mikkès (fig.1.8), montre trois grandes zones de végétation : celle du causse, celle du Saïs et celle des rides et Pré-rif.

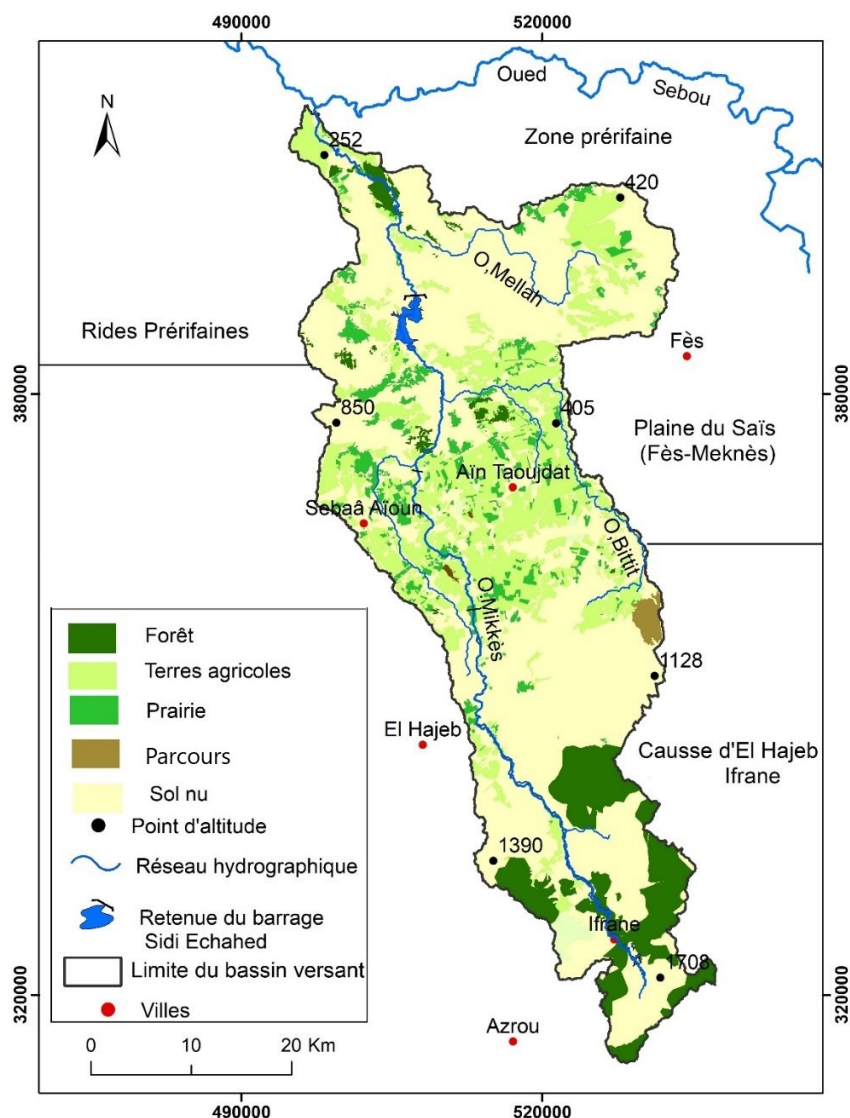


Figure 1.8 : carte simplifiée du couvert végétal et occupation du sol dans le bassin versant de Mikkès (d'après DPA, 2004).

5.2.1.- La zone du causse moyen-atlasique

Le causse est la zone à couvert végétal naturel dense et diversifié qui s'étend sur une superficie d'environ 79989 ha (17,33 % du bassin versant).

Ce couvert végétal est constitué principalement par des forêts de cèdre, chêne vert, pin maritime et chêne zen (pl.ph.1.2. a). Les parties non couvertes par la forêt sont occupées par l'agriculture et les terrains de parcoures.

5.2.2.- La plaine du Saïs

Cette partie s'étend sur une superficie d'environ 60666 ha (21,10 % du bassin versant). Le sol y est très riche, favorisant l'agriculture dans toute la plaine de Fès-Meknès. Les performances du secteur des productions végétales ont un effet direct sur le taux de couverture

des besoins alimentaires notamment en produits de base : céréales 50%, arboricultures 16%, maraîchères 11%, légumineuse 7.8%, fourrages 6.7%, oléagineuse 2%, cultures industrielles 0.5% et jachère 6% (DPA, 2004).



Planche photos 1.2 : aspect et typologie du couvert végétal dans le bassin versant de Mikkès
a) forêts de cèdre et chêne vert dans le causse. (04/04/2020). b) paysage agraire dominé par l'arboriculture dans la plaine du Saïs (05/07/22). c) couvert végétal dominé par l'oléastre et les plantations de l'olivier dans le Prérif (05/04/22).

5.2.3.- Le Prérif et les rides prérfaines

Cette zone s'étend sur une superficie d'environ 19558,49 ha (7,57% du bassin versant). La végétation naturelle est presque absente sur les pentes fortes, et lorsqu'elle existe, elle est constituée presque uniquement par une strate herbacée et parfois arbustive dans les zones des rides. Cependant, il est à noter que la partie Nord-Ouest des rides, du côté de Zerhoun, montre un couvert végétal naturel dominé surtout par l'oléastre et l'olivier et des reboisements à base de pin d'Alep de cyprès et des plantations fruitières comme l'olivier, le caroubier et le cactus (pl.ph.1.2.c).

6.- Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Mikkès

Le bassin versant est défini comme étant la surface drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont de l'exutoire, ou à l'amont d'une section donnée de ce cours d'eau (A. Taous, 2005). Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent sa réponse hydrologique

et le régime des écoulements du cours d'eau. Le temps de concentration qui caractérise la réaction du bassin versant lors des précipitations intenses, est influencée par diverses caractéristiques morphométriques. Il s'agit en premier lieu de la taille du bassin, sa forme, son élévation, sa pente moyenne et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique.

Ces facteurs d'ordres géométrique ou physique, s'estiment à partir de cartes adéquates ou par recours à des techniques digitales et à des modèles numériques du terrain.

6.1.- L'indice de forme

La forme du bassin versant influence les caractéristiques de l'écoulement résultant d'une pluie donnée (M. Roche, 1963). Les hydrologues ont ainsi tenté de caractériser cette morphologie par des indices simples calculables avec le seul concours des cartes topographiques. L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard. C'est ainsi que Gravelius (1914) a proposé le coefficient de compacité qui est défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface (C. Wisler et E. Brater, 1959 ; M. Roche, 1963 ; M. Robinson et *al*, 2017). Si le périmètre du bassin est noté P et sa surface A , le coefficient de compacité de Gravelius s'exprime par :

$$K_c = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}}$$

La superficie du bassin de Mikkès est de 1900 Km² et le périmètre est de 344 km. L'indice de Gravelius est égal à 2.2. Il s'agit donc d'un bassin très allongé ; la vitesse du rassemblement des eaux est faible car les régions éloignées tardent à faire ressentir leur influence sur l'écoulement à l'exutoire du bassin versant.

6.2.- Répartition des altitudes et hypsométrie du bassin versant

Vu que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude, il est intéressant d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude. La carte de classification des altitudes est obtenue grâce à la méthode de classification par les écarts-types. Elle a été réalisée après visualisation de l'histogramme des fréquences relatives, qui est un graphique sur lequel les valeurs des altitudes sont réparties en intervalles sur les abscisses et les surfaces correspondantes en % sont réparties sur l'axe des ordonnées. Les résultats obtenus (fig.1.9 et tab.1.1), font ressortir les grands ensembles orographiques du bassin. Dans le bassin du Mikkès la distribution des tranches d'altitudes (tab .1. 1), montre que les altitudes minimales sont de 46m, l'altitude médiane est de 985m, l'altitude moyenne est de 1484m. Pour les tranches

dominantes, elles sont situées entre 335 et 545 m avec un pourcentage de 25,30%. Les altitudes supérieures à 1655 m occupent plus de 7%.

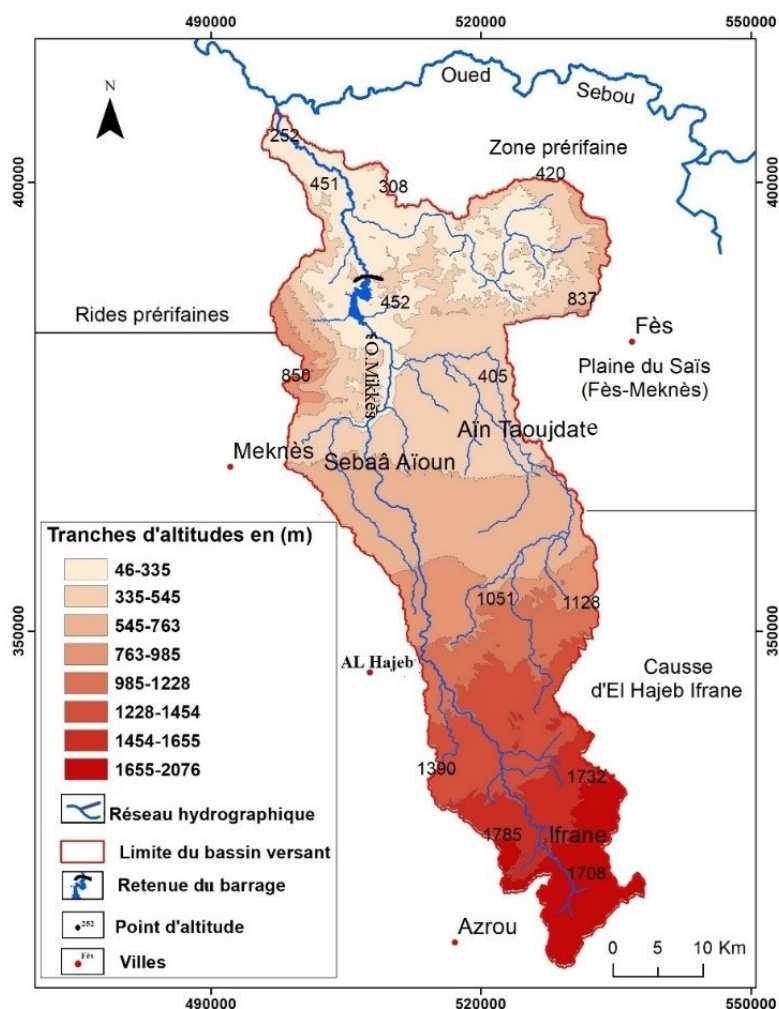


Figure.1.9 : la carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mikkès (établie sur la base du Modèle Numérique de Terrain à échelle 30 m).

Tranche d'altitudes en m	Surface en Km ²	Surface en %	Surface cumulée
46 - 335	383	20,05	100,00
335 - 545	483	25,30	79,95
545 - 763	354	18,54	54,65
763 - 985	140	7,35	36,11
985 - 1 228	121	6,34	28,76
1 228 - 1 454	181	9,60	22,42
1 454 - 1 655	100	5,58	12,82
1 655 - 2 076	138	7,24	7,24
Surface du bassin versant	1900	100,00	

Tableau 1.1 : répartition des superficies des tranches d'altitude dans le bassin versant du Mikkès

L'altitude du relief influence largement le comportement hydrologique et géodynamique du bassin versant, car de nombreux facteurs météorologiques tels que les précipitations, la température et les débits spécifiques des cours d'eau varient fortement avec l'altitude (A. Taous, 2005).

Les tranches d'altitude dans le bassin versant de l'Oued Mikkès présentent un gradient irrégulier de l'amont vers l'aval (fig. 1.9). Dans le causse le relief est mamelonné plus ou moins accidenté avec une altitude allant de 800 m à 2076 m ; mais presque l'ensemble de la zone de Saïs, cantonnée au centre du bassin, est caractérisée par une altitude variante de 300 m à 800 m, dont le relief plus ou moins doux. Quant à la troisième zone située au Nord du bassin, elle est également constituée par un relief accidenté avec une altitude allant de 49m à l'exutoire et 1000 m au Jbel Kannoufa du côté de Zerhoun.

La courbe hypsométrique est construite sur la base du modèle numérique de terrain et à partir d'une fonction continue rattachant l'aire à l'altitude. En fait, il s'agit d'un bon résumé des distributions altimétriques et topographiques qui fournit des renseignements qualitatifs sur l'allure des reliefs, le ruissèlement de surface, et sur le rendement sédimentaire des bassins versants (M. Amil. 1992. SK. Jain et *al.* 2005). D'autre part, une forme convexe de la courbe indique l'état jeune du bassin, tandis que la forme concave exprime un état de maturité, impliquant une érosion avancée du profil (A. Strahler, 1952). Autrement dit, plus une rivière est ancienne, plus son profil est concave et proche de l'équilibre dynamique ; mais la concavité du profil dépend aussi de l'évolution du débit, des affluents, de la charge et la taille des alluvions, de l'amont vers l'aval (J. Hack, 1973).

Dans le cas du Mikkès la courbe hypsométrique (fig.1.10), montre que le bassin versant est relativement mature, et montre de faibles différences d'altitudes ; il présente une faible pente dans les parties médianes et aval (à partir de 800m) ; alors que vers l'amont les différences d'altitude sont plus importantes et la pente est forte.

Deux principales concavités sont mises en évidence par cette représentation graphique ; l'une située au niveau de la transition entre le causse et le Saïs, ce qui permet par conséquent un drainage plus rapide des affluents amont vers les parties centrales du bassin ; l'autre est localisée vers l'aval.

6.2.1.- Les altitudes caractéristiques

La courbe hypsométrique nous a permis de déterminer les altitudes caractéristiques du bassin versant de l'Oued Mikkès.

a.- L'Altitude moyenne

Elle est peu représentative de la réalité, toutefois ; elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques (A. Laabidi, 2016). Elle se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. Elle est définie par :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot H_i}{A}$$

-H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en (m).

- A_i : La surface comprise entre deux courbes de niveau en (Km²).

- h_i : aire comprise entre deux courbes de niveau en (m).

- A : Surface totale du bassin versant en (Km²).

Selon les valeurs du (tab.1 2) l'altitude moyenne du bassin du Mikkès est : H_{moy} = 904,4 m

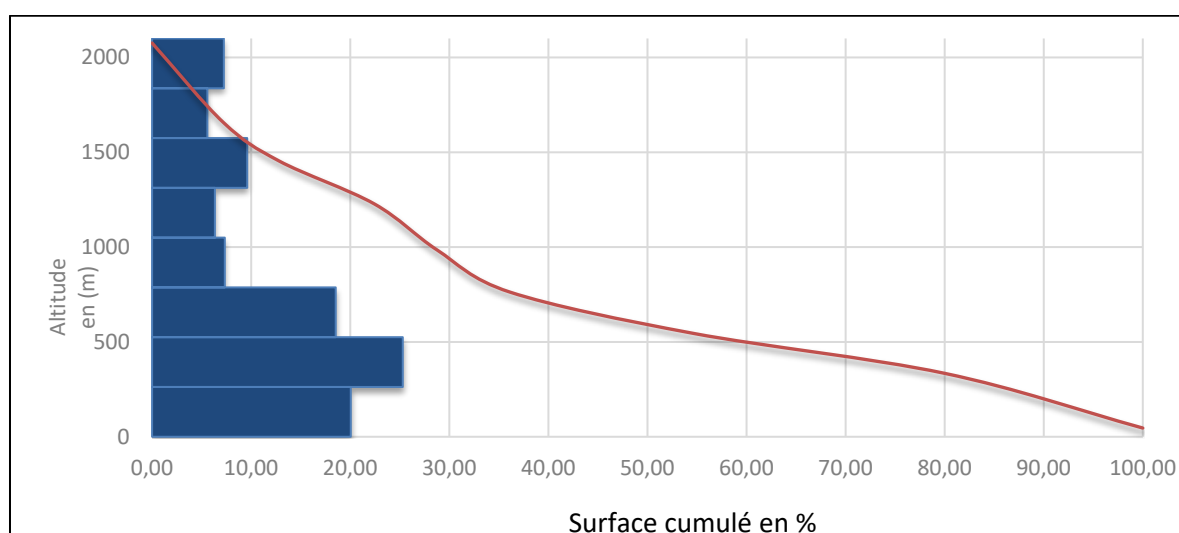


Figure 1.10 : histogramme de fréquence des tranches d'altitude et courbe hypsométrique du bassin

A _i (km)	H _i (m)	Surface en km ²	H _{moy} (m)
383	335	1900	904,4
483	545		
354	763		
140	985		
121	1228		
183	1454		
106	1655		
138	2076		

Tableau 1.2 : l'altitude moyenne du bassin versant de l'Oued Mikkès

b.- L'altitude la plus fréquente

Elle correspond au maximum de l'histogramme des fréquences altimétriques, c'est l'altitude de la plus grande surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau successives (A. Taous, 2005). Au niveau de Mikkès, l'altitude la plus fréquente est celle de la classe (335m-545m) avec une superficie de 20,47km² (fig.1.11), elle se localise au niveau des parties médiane et aval du bassin.

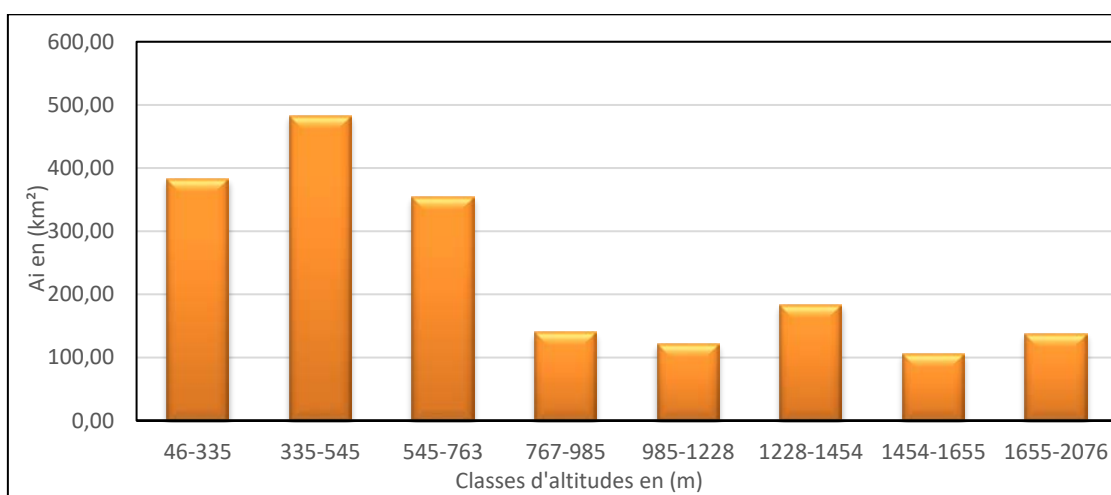


Figure 1.11 : histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la surface occupée dans le bassin

c.- L'altitude médiane

Elle correspond à l'altitude lue au point d'ordonnée 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique (A. Musy et *al.* 2014). L'altitude médiane de notre bassin versant au point de 50% de la surface totale est approximativement égale à (654m). Cette valeur est loin de celle de la moyenne (1484 m). L'écart résulte de la courbe hypsométrique qui a une pente irrégulière.

d.- La dénivelée utile (D)

Elle est estimée, à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5 et 95% de la superficie totale du bassin étudié ; altitudes dénotées, respectivement, par H5% et H95% (fig.1.10). La dénivelée utile est donc égale à : $D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1700 - 300 = 1400 \text{ m}$.

6.2.2.- Le rectangle équivalent

Le rectangle équivalent (fig.12) traduit l'influence de la forme géométrique du bassin sur les écoulements. Il s'identifie par une simple transformation géométrique du contour du bassin

en un rectangle de même surface (A), de périmètre (P), de longueur (L) et de largeur (l) (A. Musy *et al.* 2014).

Les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle (M. Roche., 1963). Pour un bassin de surface A et d'indice de compacité Kc. Soit L et l respectivement la longueur et la largeur du rectangle. Ainsi, L et l sont calculées selon les formules suivantes :

$$L = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \times \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right) ; \text{ dans le cas du Mikkès } L = 149,16 \text{ Km}$$

$$l = \frac{K_G \sqrt{S}}{1.12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right) ; \text{ dans le cas du Mikkès } l = 13,48 \text{ Km}$$

Avec

KG : Indice de compacité de Gravelius = 2.2.

S : Surface du bassin versant en km² = 1900

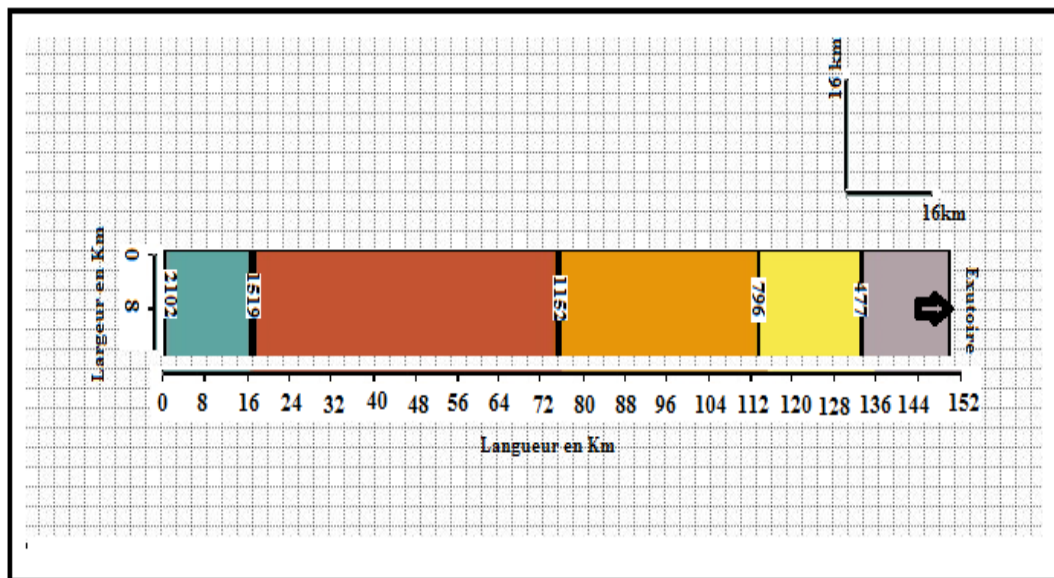


Figure 1.12 : rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Mikkès

6.2.3.- La réparation des pentes

Le système de pente est un paramètre qui définit le contraste du relief. Autrement dit, un relief est défini par sa pente, qui est une caractéristique variable et discontinue dans l'espace et globalement peu changeable à l'échelle historique (B. Hamza, 2018). C'est une composante naturelle essentielle dans toute étude géomorphologique en rapport avec le milieu physique. En effet, la pente est considérée comme une variable qui donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, sur le temps de concentration Tc, et influence

directement le débit de pointe lors d'une averse. Selon P. Steward (1974), la pente du bassin versant est naturellement un paramètre clé dans le ruissellement. B. Le poutre (1963) indique que la pente facilite le ruissellement. D'autre part la pente génère l'énergie hydrodynamique dans le système fluvial, et contrôle donc les phénomènes d'érosion et le transit sédimentaire (A. Taous, 2005).

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin versant. Comme la note M. Roche (1963), le calcul de la pente moyenne à partir de l'hypsométrie du bassin ou du rectangle équivalent sont deux moyens pour déterminer une longueur de référence sur laquelle on applique la différence d'altitude afin de calculer une pente moyenne.

a.- Indice de pente globale I_g

L'indice de pente global (I_g) est égal à la dénivelée utile du bassin versant divisée par la longueur du rectangle équivalent. La dénivelée globale est déterminée en effectuant la différence entre l'altitude qui laisse 5% de la superficie du bassin versant au-dessus d'elle et l'altitude qui laisse 5% de la superficie du bassin versant au-dessous (M. Roche, 1963).

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \text{ (m/km)}$$

Où $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ représentent respectivement les fractiles 5% et 95% (en m) de la courbe hypsométrique du bassin versant, et L la longueur du rectangle équivalent (km).

Le calcul de l'indice global de pente (I_g) du bassin versant de Mikkès donne une valeur de $\frac{1400}{149,16}$ soit 9,38 m/km, ce qui permet de le ranger dans la classe de relief modéré.

b.- Carte des pentes

La carte des pentes du bassin versant de Mikkès, (fig.1.13) est obtenue en procédant à leur classification en adoptant la méthode des écart-types calibrés. Les différents pourcentages des classes de pentes (tab.1.3 et fig.1.17), montrent que les pentes très faibles à faibles et modérées sont les plus dominantes dans le bassin (plus de 67 % de la surface totale), et elles sont localisées surtout dans la plaine de Saïs. Les pentes modérées à fortes et fortes se répartissent sur 19% de la superficie de bassin, et se situent surtout dans la zone pré-rifaine, les rides pré-rifaines, l'extrémité Sud du causse et au Nord Est du causse. Les pentes très fortes, dépassant des valeurs de 22%, n'atteignant que 1 % de la superficie totale de la zone d'étude. Elles caractérisent les rides de Jbel Kannoufa près du barrage Sidi Echahed et les bordures du causse d'El Hajeb-Ifrane

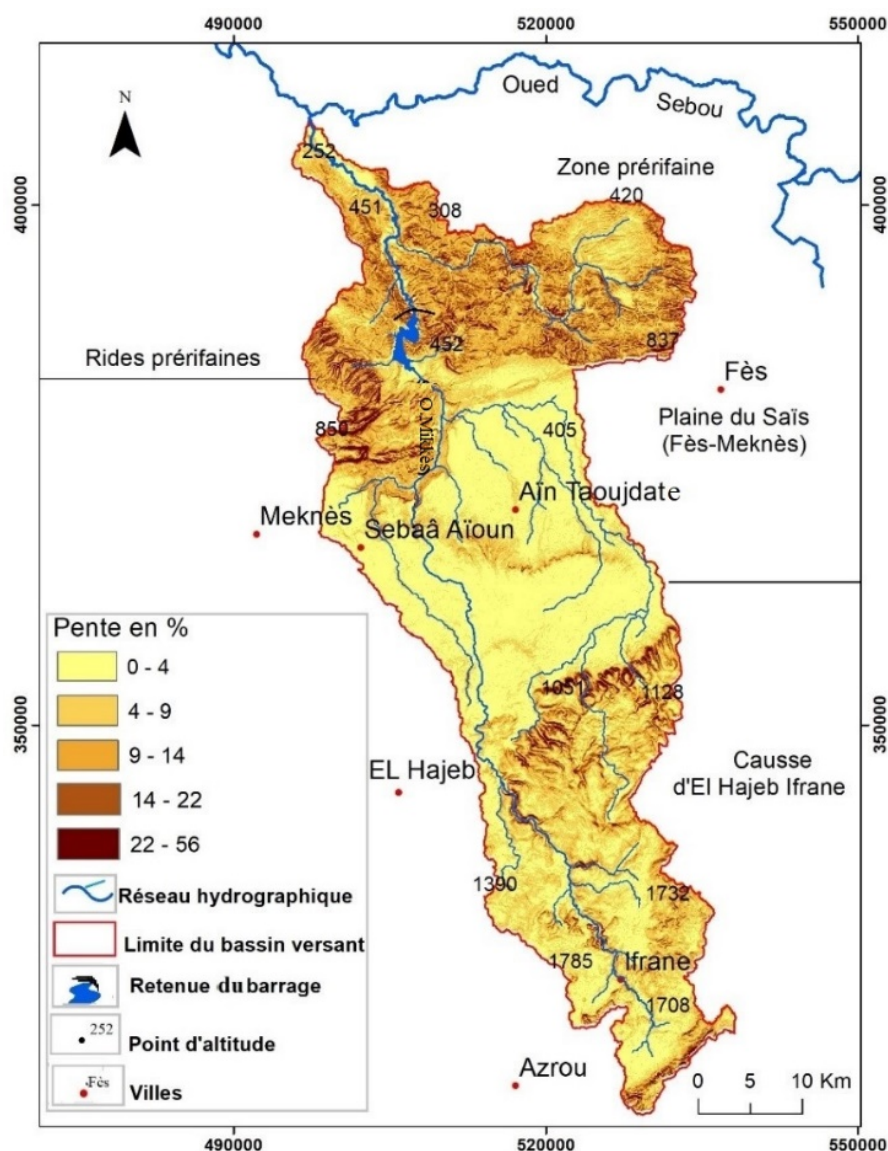


Figure 1.13 : la carte des pentes du bassin de l'Oued Mikkès (établie sur la base du Modèle Numérique de Terrain à échelle 30 m)

Les différents pourcentages des classes de pentes (tab.1.3), montrent que les pentes très faibles à faibles et modérées sont les plus dominantes dans le bassin (plus de 67 % de la surface totale), et elles sont localisées surtout dans la plaine de Saïs. Les pentes modérées à pentes fortes se répartissent sur 19% de la superficie de bassin, et se situent surtout dans la zone pré-rifaine, les rides pré-rifaines, l'extrémité Sud du causse et au Nord Est du causse. Les pentes très fortes, dépassant des valeurs de 22%, n'atteignent que 1 % de la superficie totale de la zone d'étude. Elles caractérisent les rides de Jbel Kannoufa près du barrage Sidi Echahed et les bordures du causse d'El Hajeb- Ifrane. Ces différents dans les valeurs des pentes favorisent d'une part le ruissellement par rapport l'infiltration au niveau des rides pré-rifaines et sur les bordures du causse El Hajeb-Ifrane, et l'évaporation et l'infiltration au niveau de la plaine de Saïs.

Classe des pentes en %	Surface en (km ²)	Surface en (%)	Classes de Pentes
0 _ 4	778	41	Très faibles à faibles
4 _ 9	512	27	Modérées
9 _ 14	351	18	Modérées à fortes
14 _ 22	199	10	Fortes
22 _ 56	60	3	Très fortes

Tableau1.3 : répartition classes des pentes dans le bassin versant du Mikkès

6.2.4.- L'orientation des versants

L'exposition des versants influence les conditions d'humidité et d'ensoleillement et par conséquent la répartition et l'étagement de la végétation. Elle contrôle également les conditions de ruissellement, d'érosion et de production de sédiments. Il s'agit d'un facteur déterminant parce qu'il conditionne le potentiel morphogénique et oriente ainsi la dynamique érosive (J.M. Avenard, 1995).

L'analyse de la carte des pentes du bassin de Mikkès, réalisée sous Arc Gis à partir du modèle numérique de terrain (fig.1.14), montre une variété de couleur reflétant la diversité des expositions des versants. 5 classes d'expositions des versants sont à distinguer en allant du Sud vers le Nord. Le diagramme de répartition des classes des expositions des versants (fig.1.15), montre que les versants exposés vers le Nord (Nord, Nord-Est, Nord-Ouest), dominant le bassin, avec un pourcentage de 34,49 %, suivies de ceux exposés vers le Sud (Sud, Sud-Est, Sud-Ouest) avec 27,40 %. En revanche, les versants exposés vers l'Est ne couvrent que 7,55 %, et les zones plates couvrent 17,52 % de la superficie totale du bassin. L'exposition des versants joue un rôle important dans l'évolution de la couverture végétale du bassin versant de Mikkès. A cet effet, les versants exposés au Sud sont plus chauds et moins humides que ceux orientés vers le Nord. Ce qui discrimine naturellement la répartition spatiale de la végétation dans les espaces de plateau et de montagne. Le contexte microclimatique lié à l'exposition est susceptible d'y avoir joué un rôle : les ubacs présentent en effet des températures hivernales plus rigoureuses et une sécheresse estivale moins marquée que les adrets (G. Cadel et *al.* 1963 ; P. Ozenda, 1985). L'exposition adret favorise un dessèchement édaphique plus marqué en raison d'un meilleur échauffement du sol.

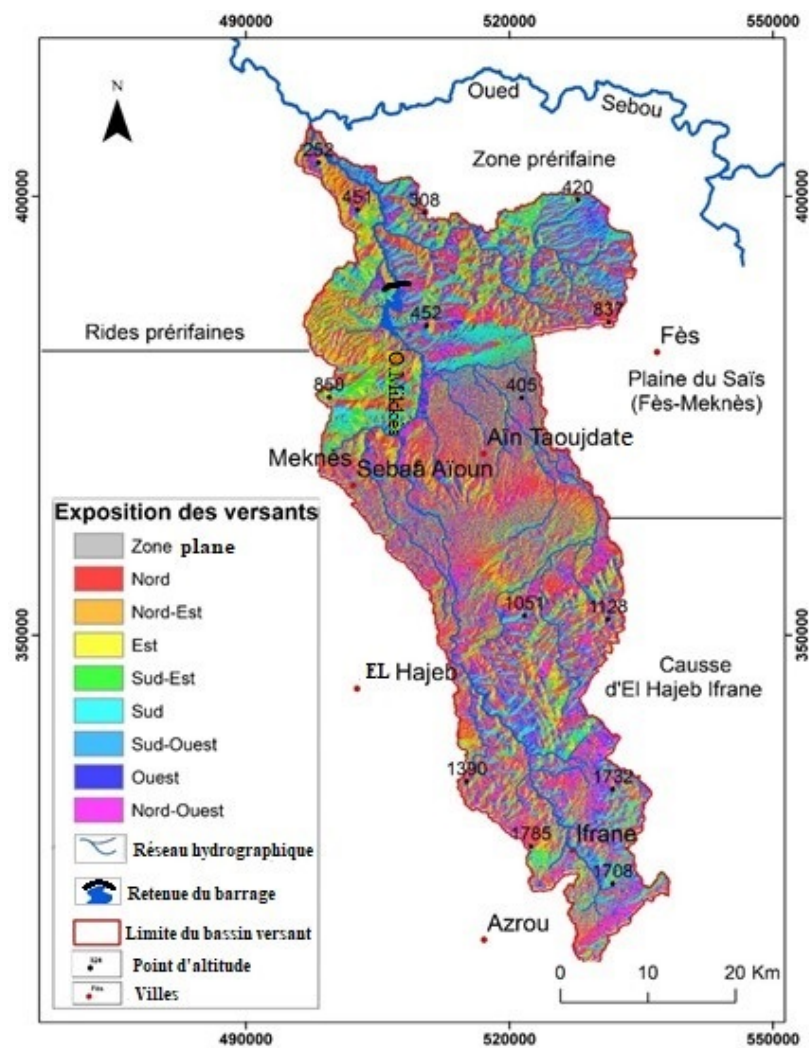


Figure 1.14 : carte d'exposition des versants dans le bassin versant de l'Oued Mikkès (établie sur la base du Modèle Numérique de Terrain à échelle 30 m)

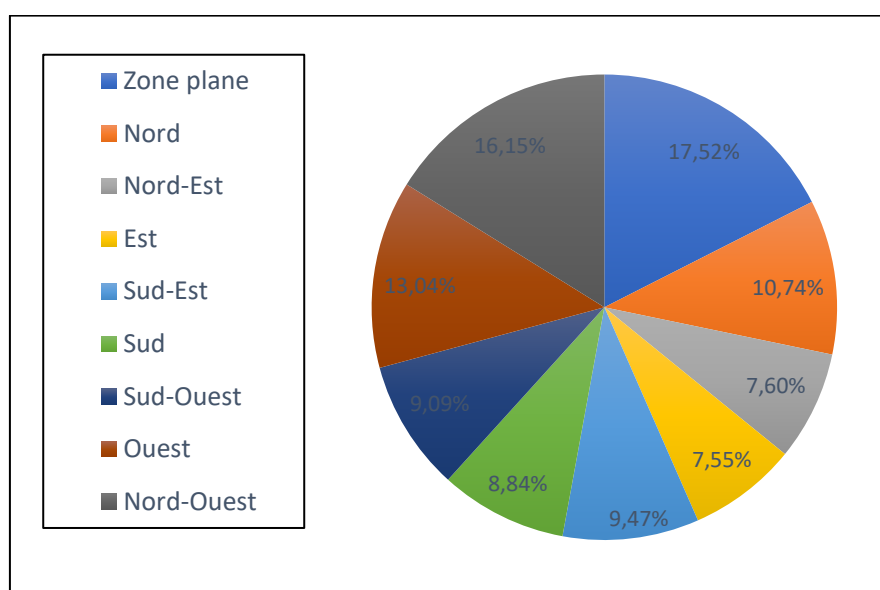


Figure 1.15 : répartition de l'exposition des versants en (%)

L'exposition des versants a une grande influence sur le ruissellement et la dynamique des versants qui est variable selon les domaines :

Au niveau du Prérif, les observations montrent que les versants d'expositions Nord (et variantes Nord-est/Nord-Ouest) ont des pentes relativement moins accentuées. Leurs sols sont épais et montrent une érosion par décapage généralisé et par solifluxion et aussi des mouvements de masse par glissement. À l'inverse les expositions Sud présentent des pentes plus fortes, des sols très érodés, parfois dépourvus de toute végétation, avec la présence de toutes les formes de ravinement.

En effet, l'évolution des versants paraît très différente dans le domaine prérfain, même si cette tendance générale ne doit pas être ramenée à un schéma réducteur : par exemple si la solifluxion prédomine sur les versants exposés au Nord elle n'exclue pas certains phénomènes de décapage par ruissellement au moins en certaines périodes de l'année (J.M. Avenard, 1995).

Dans la plaine du Saïs l'orientation est généralement au Nord, la topographie des terrains est presque plane. Ces deux paramètres jouent en faveur des sols riches et variés. Sur le causse, quelle que soient l'altitude et l'exposition des versants les types des sols sont surtout déterminés par la nature des roches mères (B. Le poutre et J. Martin, 1967).

6.2.5.- Le réseau hydrographique

Le bassin hydrographique se définit comme une portion de la surface terrestre à l'intérieur de laquelle les pentes topographiques amènent tout le ruissellement qui s'y produit vers un seul exutoire. Dans un bassin versant, la topographie définit la trajectoire des écoulements ainsi que l'organisation du drainage. Le réseau hydrographique est donc l'ensemble des cours d'eau permanents et temporaires qui participent à l'écoulement linéaire à la surface topographique. Selon les conditions climatiques et édaphiques et la nature du milieu physique, le réseau hydrographique peut prendre multitude de formes.

En effet, sa diversité est due principalement à quatre facteurs qui sont : la pente du terrain, la géologie, le climat et la présence humaine (Ch. Xiaomin et *al.* 2004). La figure 1.16 montre l'extension du bassin de Mikkès. L'oued prend son origine dans le Moyen Atlas, en amont d'Ifrane dans la partie sud du causse Ifrane-Elhajeb, où il prend le nom d'Oued Tizguit. Le réseau hydrographique du bassin de Mikkès est marqué par la présence de six affluents principaux :

- **Oued Tizguit** : représente l'affluent le plus important. Il est considéré comme étant le haut Mikkès. Sa longueur atteint 68 km drainant un bassin versant de 430 km². Il prend naissance au niveau du causse d'Ifrane sur une altitude de 1760 m. Contrairement à l'Oued

Atchane, le chenal de l'Oued Tizguit est bien tracé de l'amont jusqu'à sa confluence avec l'Oued Mikkès.

Son écoulement est permanent, alimenté par plusieurs sources au niveau du causse d'Ifrane et au plateau de Saïs. Cependant, son débit est très variable de l'amont à l'aval à cause des infiltrations au niveau des coulées basaltiques ainsi que les prélèvements des riverains.

- **Oued Atchane** : s'étend sur une longueur de 57 km avec une superficie du bassin de (457km²). Son amont est distingué par des terrains karstiques et basaltiques du causse d'Ifrane. De ce fait, son réseau hydrographique n'est que des vallées sèches. Son chenal ne s'individualise qu'à partir du Dir moyen atlasique, où il est alimenté par une série de sources de débordement (Ain Ageumgeum ; Ain Ribaa et Ain Bittit).

Malgré les débits importants de ces sources, l'Oued Atchane perd ses écoulements au contrebas de la flexure d'Ain Taoujdate. Son écoulement devient alors intermittent jusqu'à aux sources Chrarda et Ezzroureg qui le réalimentent pour rejoindre l'Oued N'Ja à 6 km de sa confluence avec Oued Mikkès.

- **Oued N'Ja** : long de 35 km et draine un bassin de 135km², il prend sa source au niveau du plateau Ain Taoujdate, à la source Hijja. Cette dernière ne garantit pas la permanence de son débit. Ce n'est qu'à partir de la grande source « Ghara » que son écoulement devient permanent.

-**Oued Ain Taoujdate** : draine la plaine de Saïs sur 20 km à partir de la flexure d'Ain Taoujdate. Son écoulement devient permanent à partir d'Ain Taoujdate jusqu'à son exutoire sur l'Oued N'Ja à 2 km de la confluence avec l'Oued Mikkès.

-**Oued Jdidda** : s'écoule sur 47 km à partir du Dir d'El Hajeb. Son chenal s'individualise à partir du plateau de Saïs, car en amont, le réseau hydrographique est presque absent à cause des coulées basaltiques qui infiltrent la totalité de la lame d'eau précipitée. Il rejoint la rive gauche de la vallée encaissée de l'Oued Mikkès à 14 km de la retenue du Barrage Sidi Echahed.

-**Oued Mellah** : prend sa source en aval du barrage Sidi Echahed sur une longueur de 52 km son bassin a une superficie de 37 km². Son écoulement est temporaire et torrentiel à cause des pentes fortes et la faible perméabilité de ses terrains marneux.

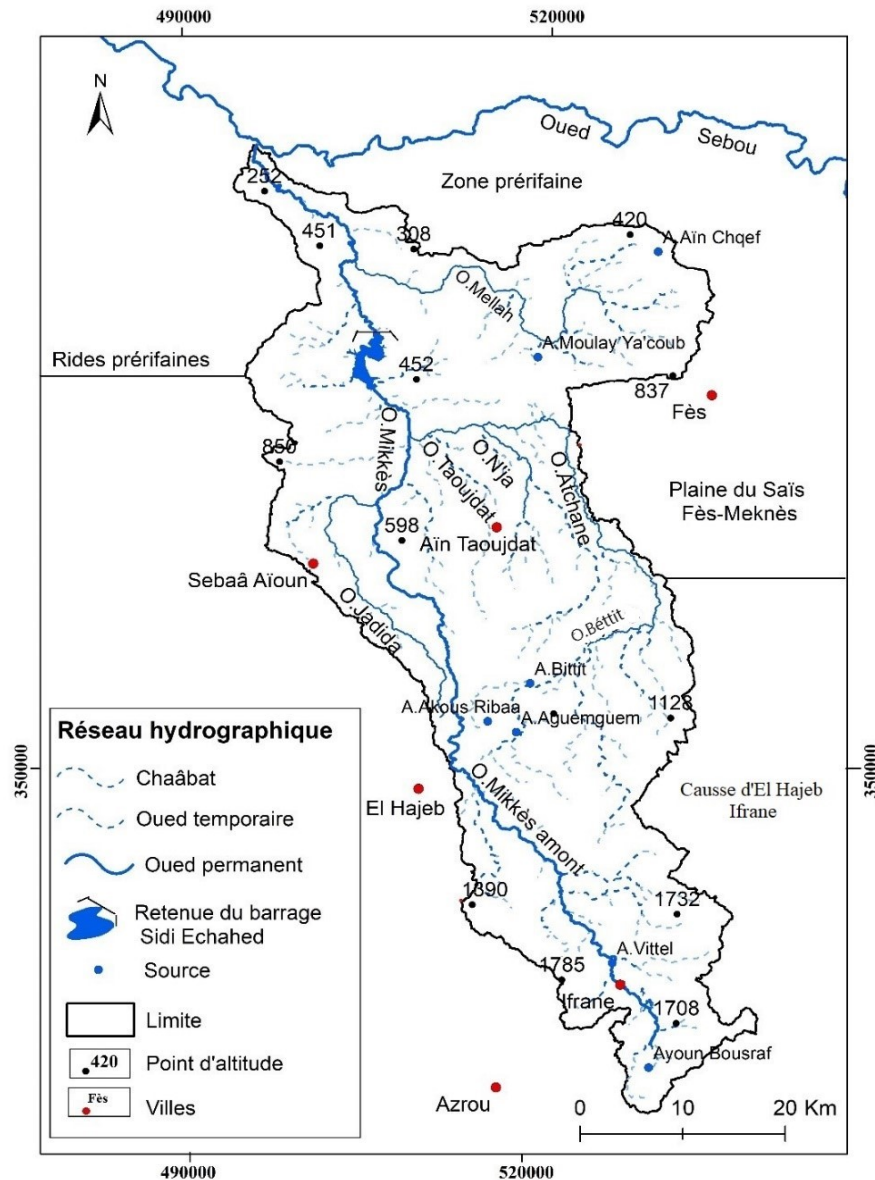


Figure 1.16 : la carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Mikkès
(D'après les cartes topographiques ;Ifrane 1942 ,Fès Ouest 1972 ,Aïn Taoujdate 1943,Bni Ammar 1942,Sebâa Aioun1974 au1/50000)

a.- La densité de drainage

Établie par R. E. Horton, (1945), la densité de drainage D_d représente la longueur totale de réseau hydrographique du bassin divisée par sa superficie. C'est une propriété fondamentale qui reflète les conditions locales du bassin versant (lithologie, relief, conditions climatiques,). Elle est calculée selon la relation :

$$D_d = \frac{L}{A} \text{ (En km/km}^2\text{)}$$

L est la longueur totale du réseau hydrographique en km ;

A est la surface totale du bassin versant en km^2 .

La densité de drainage dépend à la fois de certains éléments morphométriques, des conditions climatiques, et du comportement hydrologique des terrains, notamment le degré de perméabilité des roches. Ainsi, des variations régionales de densité de drainage sont généralement expliquées par des différences de capacité d'infiltration (R. E. Horton, 1945) dues à des variations de perméabilité du sol. Par ailleurs, M. A. Melton (1957), a montré qu'il existe une corrélation inverse entre la densité de drainage et l'indice de précipitation. En 1967, F. Hirsch a montré, dans l'ordre d'importance, que le comportement des sols (capacité d'infiltration), la pente et la végétation sont trois facteurs principaux qui ont une influence sur la densité de drainage. Cette dernière évolue également avec le temps, selon le stade d'évolution géomorphologique du bassin étudié, les changements climatiques à long terme et selon les actions anthropiques.

Dans le cas du Mikkès, la densité de drainage a été déterminée à l'aide du logiciel Arc gis, en se basant sur le modèle numérique de terrain (20m). La densité de drainage obtenue est de 0,96 km/km². Mais cette valeur varie selon les secteurs du bassin versant (tab.1.4) : 0,84 km/km² dans le Saïs, 0,93 km/km² dans le causse et 1,24 km/km² dans le Prérif.

Généralement, ces valeurs restent modérées, malgré les fortes précipitations qui caractérisent la zone étudiée. En effet cette faible densité, est liée à de fortes perméabilités des formations qui dominent le bassin versant et à la couverture forestière du causse et aussi à la forte activité anthropique qui caractérise la zone d'étude.

La valeur de densité la plus élevée est enregistrée au niveau du secteur de Prérif, Cette valeur, peut s'expliquer par l'imperméabilité des terrains et la forte pente qui favorisent l'écoulement concentré dans un nombre réduit d'affluents. Tandis que celle la plus faible est enregistrée sur le causse kartifié.

Secteur	Densité de drainage (D _d)
causse d'El Hajeb Ifrane	0,84
Plaine de Saïs	0,93
Prérif	1,24
Densité de drainage du bassin versant de Mikkès : 0,95	

Tableau 1.4 : densité de drainage dans les différents secteurs du bassin de Mikkès

b.- L'organisation et la hiérarchisation du réseau hydrographique

La hiérarchisation des éléments hydrographiques se base sur des systèmes des numérotations qui expriment leur degré de ramification en tenant compte de l'ordre des cours d'eau qui composent le réseau (A. Taous, 2005).

Il existe plusieurs méthodes pour hiérarchiser un réseau hydrographique. Nous avons adopté celle de Strahler qui considère que tout drain qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, un drain d'ordre 2 est issu de la confluence de deux drains d'ordre 1, ainsi de suite. L'ordre de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du drain principal à l'exutoire (A. Musy, 1998). En termes de résultats, le tableau 1.5 présente l'organisation et la hiérarchisation des réseaux hydrographiques du bassin versant de l'Oued Mikkès.

Ordres des drains	Nombres des drains	Longueurs des drains (Km)	Nombre des drains en %	Longueurs des drains en %
Cours d'eau ordre 1	663	730	57	51,30
Cours d'eau ordre 2	265	282	23	19,81
Cours d'eau ordre 3	120	146	10	10,26
Cours d'eau ordre 4	111	137	10	9,62
Cours d'eau ordre 5	2	99	0,17	6,95
Cours d'eau ordre 6	1	29	0,09	2,03
Total	1162	1423	100 %	100 %

Tableau 1 5 : ordination du réseau hydrographique du bassin versant Oued Mikkès

L'ordre de Strahler obtenu pour le Mikkès est 6 (fig.1.17), ce qui montre que le réseau hydrographique de son bassin est peu développé. En effet, le réseau est constitué principalement des drains d'ordre 1, soit 57 % du nombre total des drains. En outre, le nombre des branches d'ordre 2 et d'ordre 3 diminue considérablement par rapport aux drains primaires d'ordre 1. Cela s'explique par le mauvais acheminement de l'écoulement, à cause de l'hétérogénéité lithologique des terrains, les processus karstiques dans le causse, et l'influence anthropique.

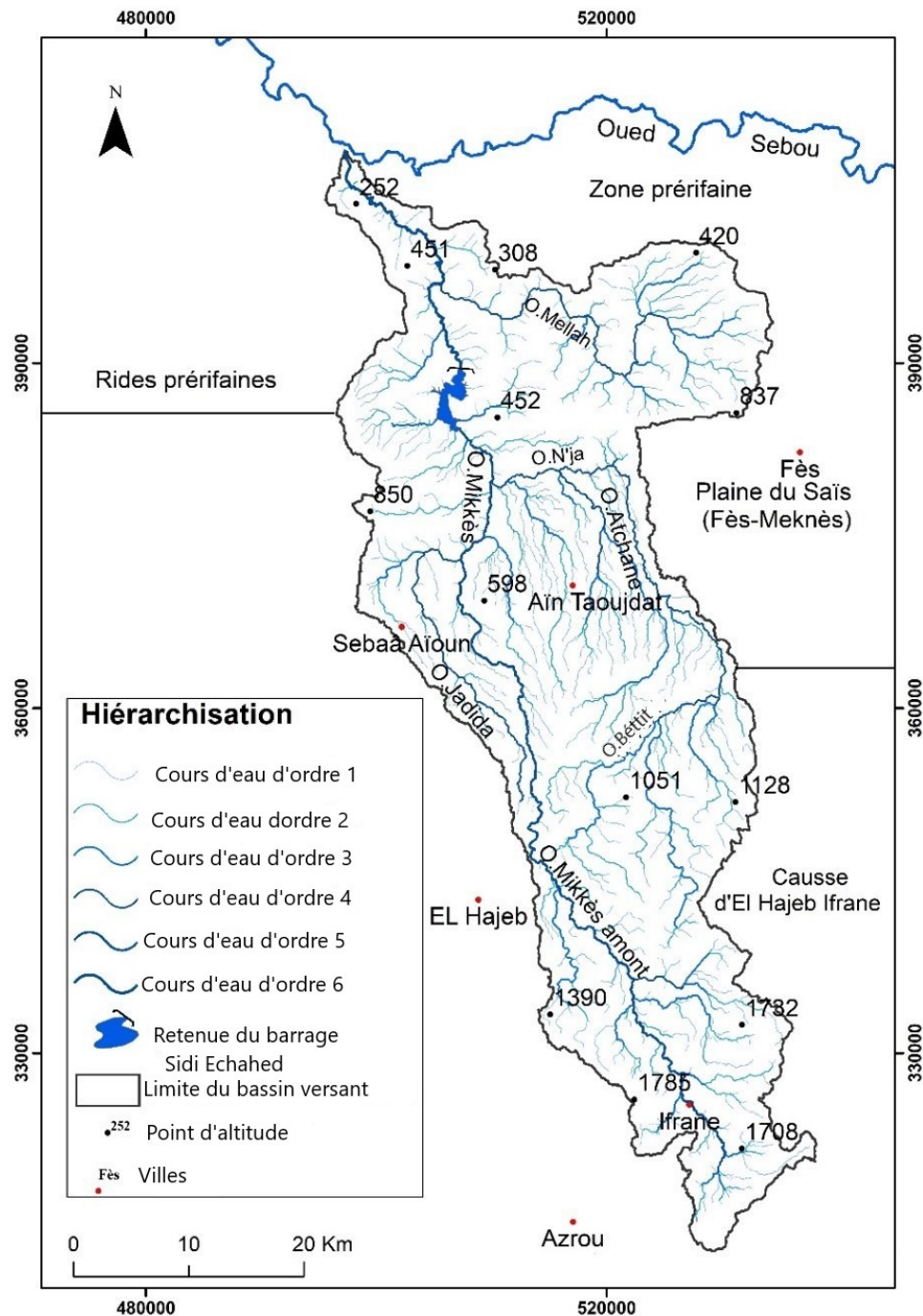


Figure 1.17 : carte d'hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin de Mikkès, selon la méthode de strahler (D'après les cartes topographiques ;Ifrane 1942, Fès Ouest 1972,Aïn Taoujdate 1943, Bni Ammar1967, Sebâa Aïoun 1974 à échelle 1/50000).

c.- Le temps de concentration

Le temps de concentration est le temps écoulé entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant. Il correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de ruisseler du point le plus reculé du bassin versant jusqu'à l'exutoire. (A. Mailhot et *al.*, 2016). Le calcul de ce paramètre est donné par la formule suivante :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A + 1.5L}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

T_c : le temps de concentration (heures).

A : surface du bassin (Km^2).

L : longueur du thalweg principale (km).

H_{moy} et H_{min} : l'altitude moyenne et altitude minimale du bassin versant (m).

Le temps de concentration obtenu dans le cas du bassin versant de Mikkès est de 9,15 heures.

Ce temps relativement élevé est lié à l'influence de la forme allongée du bassin versant, à la faible pente générale du bassin. La lithologie et le couvert végétal influent également sur le temps de concentration en jouant le rôle d'entrave empêchant l'eau de s'écouler.

d.- La vitesse d'écoulement de l'eau

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_c = \frac{L_p}{T_c}$$

Avec :

V_c : vitesse d'écoulement de l'eau en m/s.

L_p : Longueur du talweg principal

T_c : temps de concentration

Dans le cas du Mikkès :

$L_p = 164\text{km} = 164000\text{m}$

$T_c = 9,15 \text{ h} = 32940\text{s}$

Donc : $V_c = 4,43\text{m/s}$

La vitesse d'écoulement enregistré est 4,43m/s. Cette valeur montre la force tractrice d'écoulement est plus importante et s'avère cruciale pour la morphogenèse et la morphodynamique des unités hydrogéomorphologiques fonctionnelles du fond de vallée.

Conclusion

En conclusion de ce premier chapitre, on peut retenir que le bassin versant du Mikkès, sur le plan géologique et géomorphologique, offre une large variété de terrains aux conditions de drainage et de fourniture des sédiments différentes. Ce bassin draine trois domaines morpho-structuraux majeurs qui sont, le causse moyen- atlasique au Sud, la plaine de Saïs dans la partie centrale et la zone des rides et du Prérif au Nord, où le cours d'eau conflue avec le Sebou.

La litho-stratigraphie s'échelonne du Paléozoïque au Quaternaire, avec une nette dominance des formations d'âge jurassique et pliocène (calcaires, dolomies et calcaires lacustres). L'orographie du bassin varie d'une zone à l'autre. Au Moyen Atlas, le relief est de cause carbonatée est plus au moins accidenté, avec des altitudes allant de 800 m à 2076m ; dans la plaine de Saïs, les altitudes variant de 300 m et 800m, et le relief est plus au moins doux ; au Prérif et aux rides prérfaines, le relief est accidenté ; l'altitude y varie entre 49m à l'exutoire de l'Oued Mikkès et 1000m sur les hauts sommets à Jbel Kanonufa du côté de Zerhoun.

La forme de la vallée du Mikkès est plus ou moins influencée par ce compartimentage morphostructural, selon la nature lithologique des terrains traversés ; elle est relativement encaissée et étroite dans le cause, évasée et peu profonde dans le Saïs et s'encaisse de nouveau au passage dans les rides et dans le Prérif.

L'analyse des caractéristiques morphométriques du bassin, montre que le réseau hydrographique est peu dense, et il est dominé par les drains du premier ordre. La densité de drainage est variable dans les domaines morphologiques ; elle est faible dans le cause, (0,84 %) et devient de plus en plus forte à l'aval (respectivement 0,93 dans le Saïs et 1.24 % dans le Prérif).

En ce qui concerne le couvert végétal, la forêt du bassin versant du Mikkès ne couvre que 29% seulement de la superficie totale du bassin. Elle est représentée surtout en amont dans la zone du cause. En conséquence, la majorité des terrains sont exposés aux différentes formes d'érosion hydrique, ce qui augmente la charge sédimentaire transportée dans le réseau hydrographique ; on note à ce propos l'activation des phénomènes de dissolution et de karstification dans les terrains carbonatés du cause, l'érosion hydrique et le ravinement dans les terrains marneux des zones du Saïs et du Prérif.

L'interaction du climat avec les autres composantes du bassin versant (géologie, géomorphologie, sols, végétation...), influence largement la configuration et la densité du réseau hydrographique et par conséquent la réponse hydrologique en périodes des pluies. Elle détermine le comportement hydrodynamique du bassin versant de l'Oued Mikkès et règle les processus de l'écoulement et de la morphogenèse fluviale le long du cours d'eau.

Dans les chapitres suivants on va continuer l'étude des phénomènes physiques en analysant les principales caractéristiques climatiques et hydrologiques du bassin versant du Mikkès, dans les trois domaines morpho-structuraux caractérisés dans ce chapitre.

Chapitre 2 :

Conditions climatiques et hydrologiques du bassin versant du Mikkès

Introduction

- 1.- Les conditions climatiques du bassin versant du Mikkès**
- 2.- Fonctionnement hydrologique de l'Oued Mikkès**

Conclusion

Introduction

Après la présentation de la géologie, la géomorphologie et les caractéristiques morphométriques du bassin versant Mikkès, le présent chapitre est consacré à l'analyse des autres facteurs qui influencent les écoulements et les processus fluviaux qui seront traités dans les chapitres suivants (Chapitres 3, 4 et 5). Il s'agit de caractériser les conditions et facteurs climatiques du bassin versant du Mikkès et de son fonctionnement hydrologique. Le climat en général et les précipitations en particulier sont de loin les plus importants facteurs qui conditionnent les écoulements aussi bien de surface que souterrain. L'étude des conditions climatiques est donc plus que nécessaire pour pouvoir d'une part comprendre et analyser le comportement hydrologique de l'oued étudié, et en conséquence appréhender les conditions de la morphogenèse fluviale le long de son lit.

L'étude des séries des précipitations menées sur une durée assez longue permet de bien caractériser le régime pluviométrique du bassin versant. Dans cette optique, nous allons examiner l'évolution météorologique quotidienne, mensuelle et annuelle pendant plusieurs décennies. Pour cela, on se basera essentiellement sur l'analyse des données relatives aux précipitations et la température, qui influencent largement le comportement hydrologique du bassin versant et du cours d'eau du Mikkès. Ensuite sera réalisée une étude hydrologique basée sur le traitement des données hydrométriques relatives à une période de 31ans, dans la station hydrologique de Sidi Echahed qui est située dans la portion aval de la vallée. Pour cela, nous utiliserons les données de l'ABHS et les travaux antérieurs (F. Amraoui, 2005 ; K. Belhassan, 2011. Z. Qadem, 2020...).

1.- Les conditions climatiques du bassin versant du Mikkès

1.1.- Contexte climatique

La zone d'étude est soumise à un climat de type méditerranéen, caractérisé par deux saisons différentes, une saison hivernale humide et fraîche et une autre, estivale sèche et chaude. Le contraste orographique au niveau du bassin influence largement la quantité et la répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace. En fait, il existe un contraste spatio-temporel des précipitations. L'altitude joue un rôle très important dans la répartition des précipitations à l'échelle du bassin versant. La zone du causse (l'amont du bassin), reçoit les quantités les plus importantes des précipitations car, vu son exposition au Nord-ouest, elle constitue une barrière pour les perturbations humides atlantiques. En revanche, sur la plaine de Saïs, où l'altitude est faible, les précipitations sont faibles et principalement concentrées en hiver. Vers le Nord, au

niveau du Prérif, les pluies les plus importantes se concentrent généralement en quelques jours de la saison humide.

1.2. – Les précipitations

1.2.1.- Répartition des précipitations à l'échelle annuelle

Pour étudier les caractéristiques des précipitations du bassin versant de l'Oued Mikkès, nous sommes basés sur l'analyse des données des stations climatiques : Sidi Echahed, Ain Taoujdate et Ifrane. Le choix de ces stations s'est basé sur la disponibilité des données des précipitations sur une longue durée, ainsi que leur représentativité et leur répartition sur le territoire du bassin versant, puisque la station d'Ifrane est située en amont du bassin, celle de Ain Taoujdate, dans sa partie médiane tandis que celle de Sidi Echahed est située en aval. L'analyse des précipitations moyennes annuelles des trois stations étudiées montre que de la zone d'étude se caractérise par une grande variabilité interannuelle :

+ La station d'Ifrane (fig.2.1.), montre durant la période entre 1980 et 2010, une succession d'années sèches et humides ; la valeur maximale des précipitations dépassant 1800mm a été enregistrée en 1995/1996, soit 1865,07 mm ; tandis que la valeur minimale a été enregistrée pendant l'année hydrologique 2007, soit 583,2mm. La moyenne interannuelle entre 1980 et 2010 est de 736,07mm.

+ Dans le Saïs, au niveau de la station d'Ain Taoujdate (fig.2.2), les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 414,72mm, avec une valeur maximale de 688,5mm, enregistrée pendant l'année hydrologique 2008/2009, et une valeur minimale de 224 mm enregistrée pendant l'année 1993/1994.

+ Dans le Prérif, la station de Sidi Echahed (fig.2.3), les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 331,07 mm, la valeur maximale des précipitations dépassant 800 mm a été enregistrée en 1995/1996, tandis que la valeur minimale est 11,0 mm enregistrée pendant les années 2013/2014.

La comparaison des données des trois stations, montre que la zone du causse reçoit le maximum des précipitations, tandis que la zone du Prérif au Nord du bassin est la moins arrosée.

Cette variation de précipitations entre les stations montre un gradient pluviométrique croissant du Nord vers le Sud du bassin du Mikkès. Ce qui est dû essentiellement à l'effet de l'altitude et de l'exposition.

Dans l'objectif de déterminer les années excédentaires et les années déficitaires, nous avons calculé le coefficient pluviométrique relatif (H), pour chaque station.

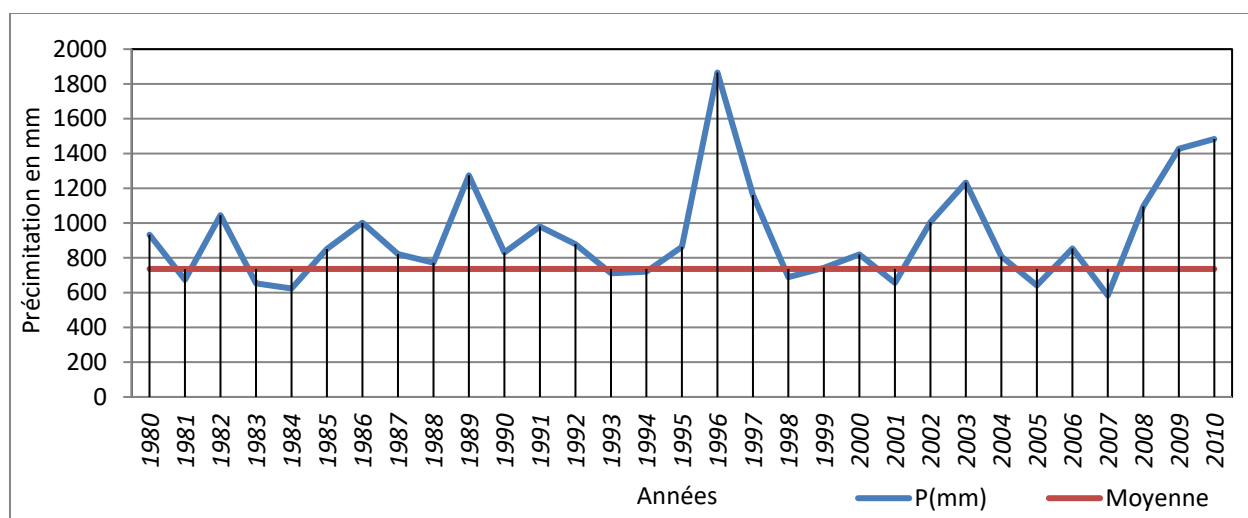


Figure 2.1 : répartition annuelle des précipitations au niveau de la station d'Ifrane (1980-2010)

(Source des données : ABHS, 2014).

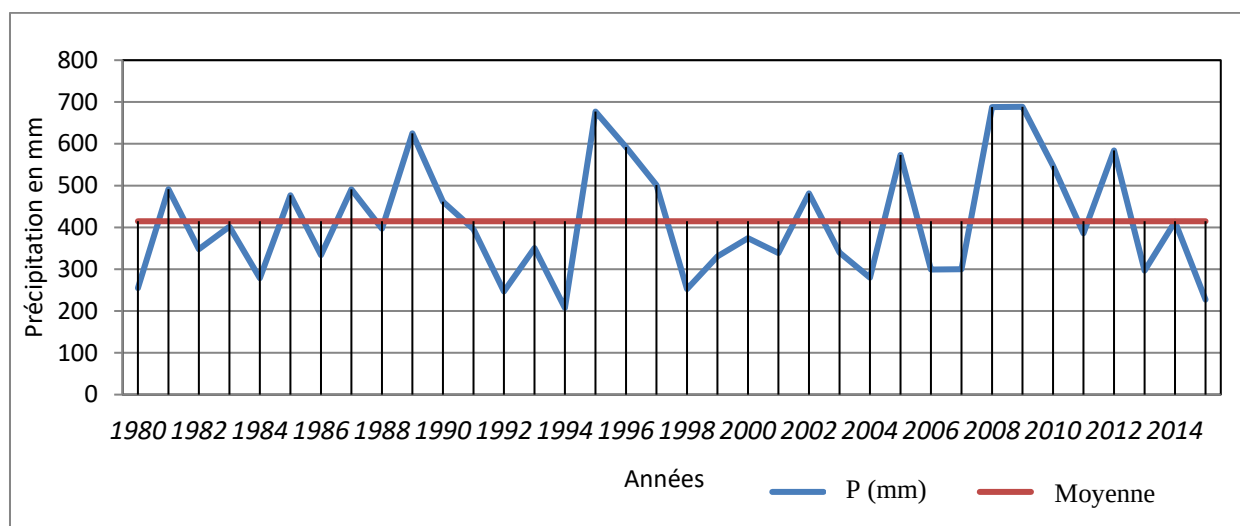


Figure 2.2 : répartition annuelle des précipitations au niveau de la station Ain Taoujdate (1980-2014)

(Source des données : ABHS, 2014).

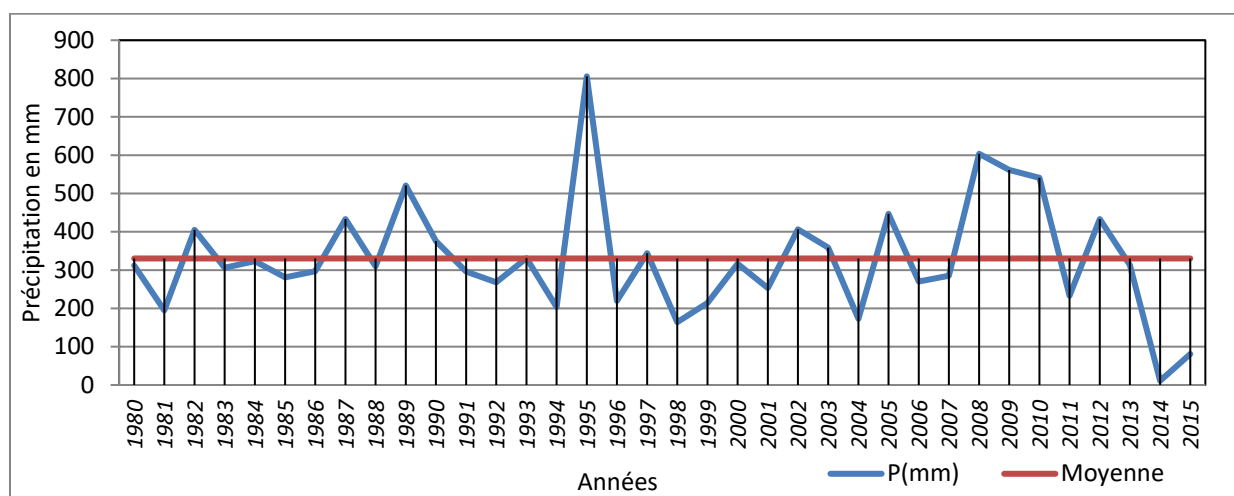


Figure 2.3 : répartition annuelle des précipitations au niveau de la station Sidi Echahed (1980-2015)

(Source des données : ABHS, 2015).

Ce coefficient est défini comme une quantité de pluie qui tombe réellement dans un mois et celle qui serait tombée si la pluie avait été répartie uniformément durant toute l'année ; c'est le quotient de la fraction pluviométrique et du coefficient qui correspond à une pluie uniformément répartie. (R. Musset, 1935).

Le premier constat que l'on peut tirer des résultats obtenus (fig.2.4) c'est que le coefficient pluviométrique relatif, des trois stations du bassin versant de l'Oued Mikkès (Ifrane, Ain Taoujdate, Sidi Echahed), a mis en évidence que les années d'observation (1980-2010) enregistrées à la station d'Ifrane généralement humide, sont caractérisées par des années dont la plupart sont excédentaires ; tandis que les stations Ain Taoujdate et Sidi Echahed marquent des périodes très sèches, particulièrement les années qui s'étendent de 1980 à 1995.

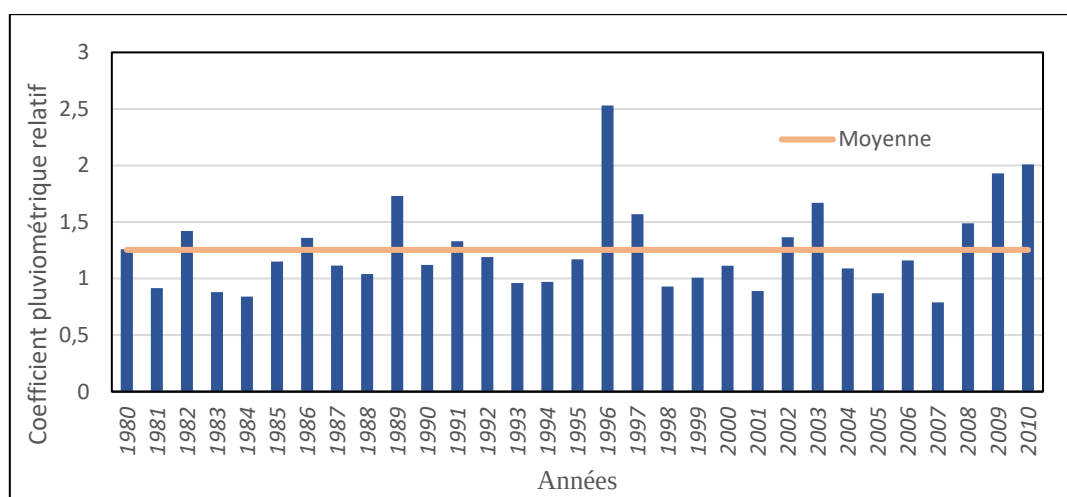


Figure 2.4 : variation annuelle du coefficient pluviométrique relatif à la station Ifrane
(Source des données : ABHS, 2014).

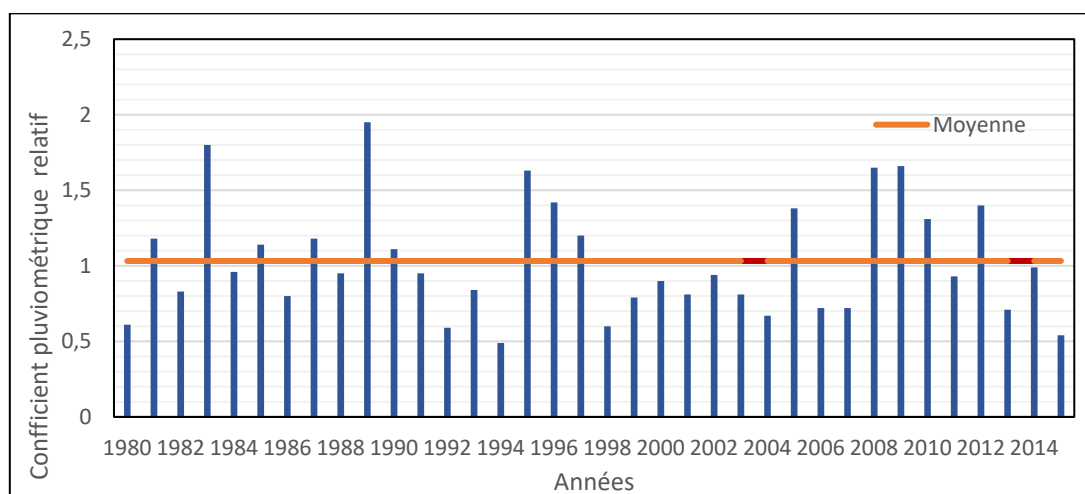


Figure 2.5 : variation annuelle du coefficient pluviométrique à la station Ain Taoujdate. (Source des données : ABHS, 2014).

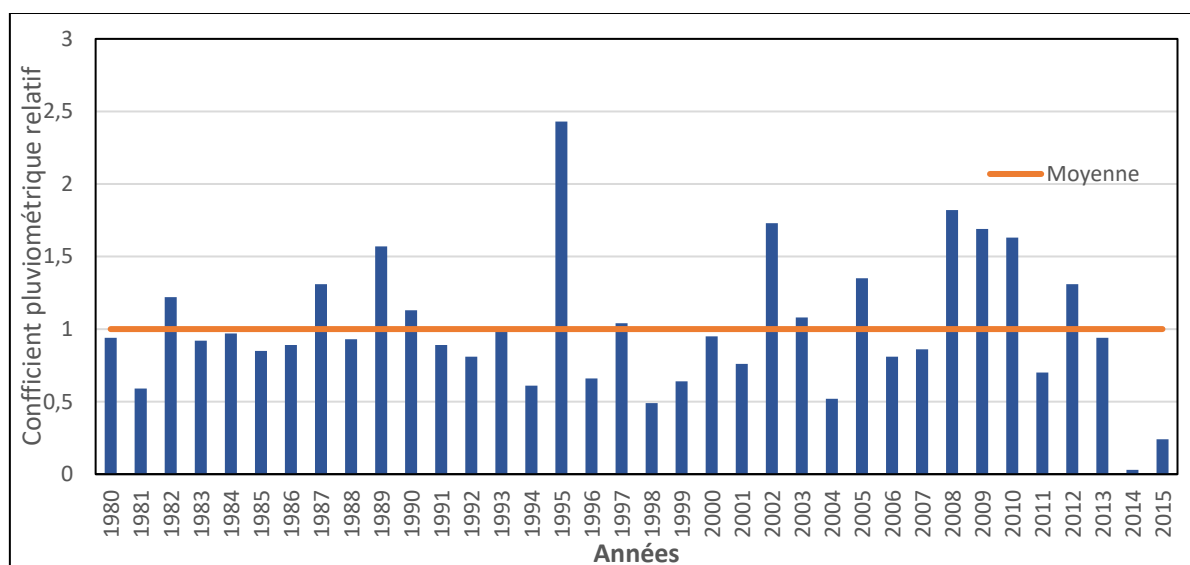


Figure 2.6 : variations annuelles du coefficient pluviométrique relatif à la station Sidi Echahed.

(Source des données : ABHS, 2015).

1.2.2.- Analyse fréquentielle des précipitations annuelles

L'analyse fréquentielle est un des outils de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes est l'analyse fréquentielle. Cette méthode statistique a comme objectif principal d'utiliser des mesures d'événements passés pour estimer les probabilités futures d'occurrence. L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel x_T auquel est associé un période de retour T (quantile de période de retour T ou de probabilité au dépassement $p = 1/T$). L'estimation X_T de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $F(x; e)$ à un échantillon de n observations $x = \{x_1 \dots x_n\}$, où e représente le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité F . (A. St-Hilaire., 2007).

a.-Ajustement par la loi de Gumbel des précipitations maximums annuelles

L'analyse fréquentielle des précipitations maximales annuelles du bassin versant de l'Oued Mikkès a été réalisée en appliquant la loi à double exponentielle de Gumbel en se limitant aux trois stations pluviométriques (Ifrane : série de 27 ans ; Ain Taoujdate : série de 32 ans et Sidi Echahed : série de 55 ans) et ce pour des périodes d'observation différentes. Les résultats de l'ajustement par la loi de Gumbel des pluies annuelles maximales sont représentés selon les stations pluviométriques, en donnant les estimations des précipitations maximales journalières pour les différentes périodes de retour (tab. 2.1). L'ajustement des précipitations maximums annuelles par la loi de Gumbel passe par les étapes suivantes :

Etape 1 : Préparation de la série de données des précipitations maximums annuelles

* Trier les valeurs dans l'ordre croissant.

* Attribuer un rang à chaque valeur $\mathbb{R}$.

Etape 2 : Calcul de la fréquence empirique pour chaque rang :

$F(x) = r-0,5/n$, Avec : r = la valeur du rang et n = la taille de l'échantillon

Etape 3 : Calcul de la variable réduite « u » du Gumbel qui est égale à :

$U = -\ln(-\ln(F(x)))$.

Etape 4 : Représentation graphique des couples (u_i, x_i) de la série à ajuster.

Etape 5 : Ajustement d'une relation linéaire de type aux couples (u_i, x_i) et en déduire les deux paramètres a et b . $a=n$ et $b = \log(n)$.

L'ajustement graphique des séries pluviométriques des trois stations (tab2.1) montre que la pluie s'ajuste suivant une loi normale. À cet effet, nous avons procédé à l'arrangement des précipitations annuelles par ordre croissant, et au classement des valeurs par rang $\mathbb{R}$.

Stations	Moyenne (mm)	Médiane (mm)	Ecart-type	Coef de variation %
Ifrane	736,07mm	223.9 mm	87.9	36
Ain Taoujdate	414,72mm	113.3 mm	38	34
Sidi Echahed	331,07mm	92.4 mm	35.2	37

Tableau 2.1 : calcul des paramètres statistiques des précipitations dans les trois stations

Les résultats de l'ajustement par la loi de Gumbel des pluies maximums annuelles sont représentés selon les stations pluviométriques, en donnant les estimations des précipitations maximums annuelles pour les différentes périodes de retour :

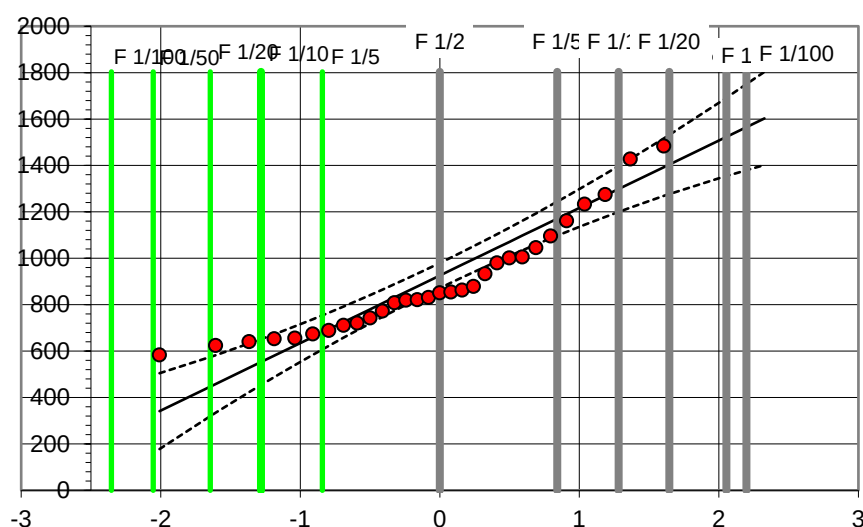


Figure 2.7 : ajustement statistique des précipitations annuelles de la station d'Ifrane à la loi Normale

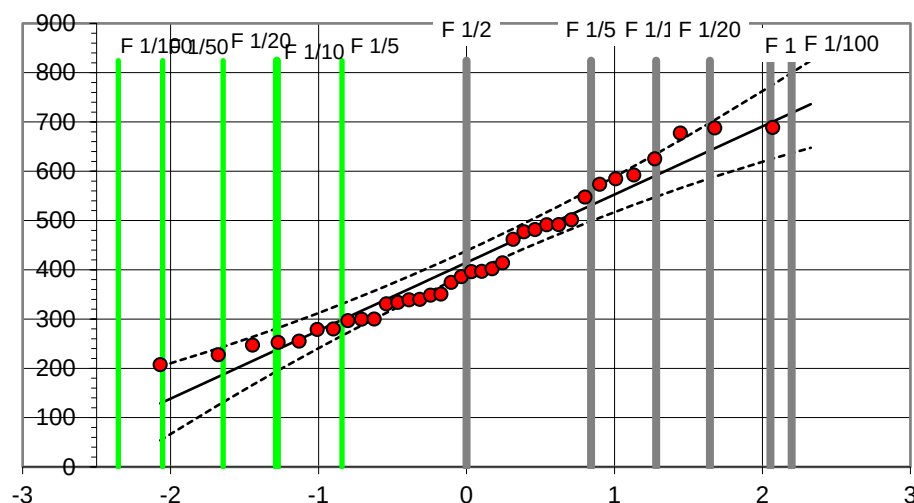


Figure 2.8 : ajustement statistique des précipitations annuelles de la station Ain Taoujdate à la loi Normale

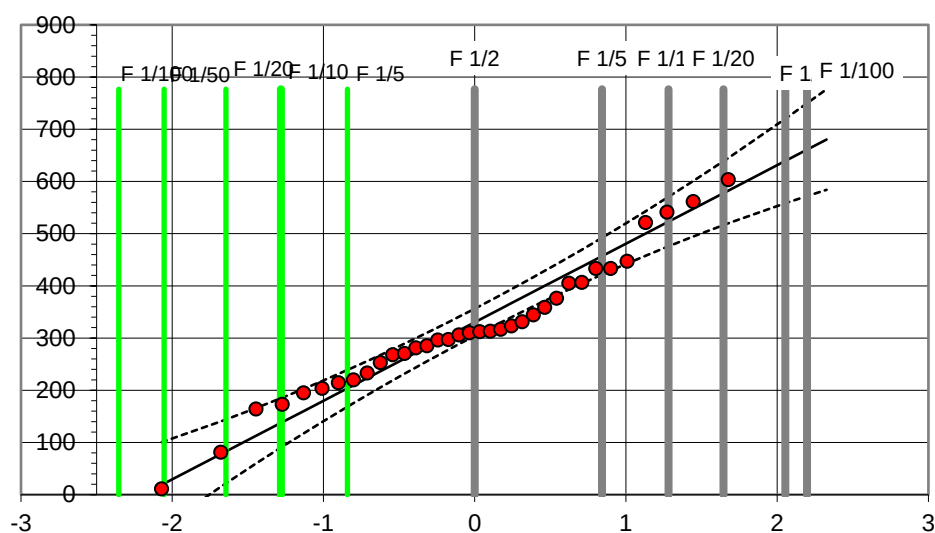


Figure 2.9 : ajustement statistique des précipitations annuelles de la station Sidi Echahed à la loi Normale

b.- Fréquence et période de retour de récurrence théorique

La période de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée (M. El Ghachi et *al.* 2015). D'après les valeurs obtenues (tab.2.2), on note clairement que la moyenne de la station d'Ifrane entre les années 1980-2010 est 925,7 mm, et la valeur maximale enregistrée à la chronique est 1523,3 mm correspondant à une fréquence 1/50.

Au niveau de la station d'Ain Taoujdate la moyenne interannuelle pour la période 1980-2014 est de 414,73 mm et la valeur la plus faible de la chronique est 21,3 mm qui correspond à une fréquence de 1/50.

La station Sidi Echahed enregistre une moyenne de 330,3 mm durant la période 1994-2015 correspondant à une fréquence de $\frac{1}{2}$, tandis que la valeur maximale (639.3mm) appartient à la fréquence 1/50.

Ainsi, on peut en déduire qu'il y'a une grande variabilité des précipitations annuelles, surtout entre les extrêmes secs et humides.

	Vers le sec				1/2	Vers l'humide			
Fréquence	1/50	1/20	1/10	1/5		1/5	1/10	1/20	1/50
Temps de retour	50ans	20ans	10ans	5ans	2ans	5ans	10ans	20ans	50ans
Station Sidi Echahed	21,3	82,8	137,5	203,7	330,3	456,9	523,1	577,8	639,3
Station Ain Taoujdate	131,1	187,6	237,7	298,5	414,73	530,96	591,72	641,9	698,4
Station Ifrane	328,1	447,1	552,8	680,8	925,7	1170,6	1298,6	1404,4	1523,3

Tableau 2.2 : fréquences des précipitations annuelles et leurs temps de retour pour les stations d'Ifrane, Aïn Taoujdate et Sidi Echahed.

1.2.3. - Estimation de la lame d'eau tombée par la méthode des isohyètes

Il s'agit d'une méthode rigoureuse pour calculer la moyenne des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques à proximité du bassin versant est fondée sur l'utilisation des isohyètes. Ces dernières sont des lignes de même pluviosité (iso-valeurs de pluies annuelles, mensuelles, journalières, etc.). Grâce aux valeurs des précipitations de 22 stations pluviométriques, réparties dans la région d'étude (tab. 2.3), on peut tracer le réseau des isohyètes.

La lame d'eau tombée est la moyenne des valeurs obtenues pour les différentes stations. Afin de mieux appréhender la lame d'eau précipitée sur la totalité de la zone d'étude, on a fait appel à la méthode des isohyètes, moyennant l'outil SIG, tout en se basant sur les données de 18 stations situées à l'intérieur et au voisinage du bassin (tab.2.3).

Les isohyètes sont définies comme étant les lignes d'égale précipitations. Ces lignes sont tracées sur une carte qui comporte les données pluviométriques moyennes relatives à chaque station. Les valeurs des précipitations moyennes annuelles pour le bassin ont été déterminées par la

formule :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum P_i * S_i}{S_t}$$

Avec

Pi : Précipitation moyenne entre deux isohyètes consécutives ;

Si : Surface entre deux isohyètes ;

St : Surface totale du bassin ;

		Cordonnées			Précipitations
Stations	Durée et période d'observation	X	Y	Z	Moyenne (mm)
Aguelman Sidi Ali	1975 – 2010 35 ans	537800	276000	2078	405
Agouray	1993-2012 (19ans)	480000	340000	869	497
Ain Taoujdate	1981-2015 (34ans)	517000	371000	465	414
El Hajeb	1993-2012 (19ans)	504000	344000	1050	525
Sidi Echahed	1994-2015 (24ans)	508000	382000	215	364
Ifrane	1968-2010 (40ans)	525000	325000	1635	965
Moulay Idriss	1968-2009 (41ans)	489000	384000	550	599
Fès	1968-2009 (41ans)	538000	370300	569	516
Azrou	1968-2009 (41ans)	515000	315000	1508	965
Ain Aicha	1981-2007 (21ans)	564000	428800	280	494
Galez	1979-2012 (33ans)	555000	439000	214	636
Mjarâa	1958-2012 (54ans)	513000	443000	96	601
Soultan Azib	1962-2000 38 ans	492000	413000	45	466
Ait khebach	1971-2010 (39ans)	557000	314000	1478	336
Azzaba	1958-2010 (52ans)	569000	359000	478	363
Pont Mdez	1958-2009 51ans	581000	341000	725	307
Tabouda	1985- 2009 24ans	524000	461000	180	597
Ain Bétit	1978-2011 (33ans)	520000	355000	1007	504
El Mers	1981-2009 29 ans	593477	316846	1210	424
Sidi El Mekhfi	1975-2010 35ans	507536	312324	1075	539
Boulmane	1975-2010 (35 ans)	562000	307000	1724	717
Dar El Arssa	1975-2010 (35ans)	543280	399660	164	432

Tableau 2.3 : Données des précipitations annuelles des stations utilisées pour réaliser la carte des isohyètes du bassin de Mikkès. (Source des données : ABHS).

La carte de la répartition des précipitations (fig.2.10), établie sur la base des données étalées sur une période homogène, confirme que la partie du causse reçoit le maximum des précipitations alors que le domaine du Prérif et la plaine de Saïs, reçoivent moins de précipitations, soit 1041,98 mm contre 31,89 mm. Mikkès. (Source des données : ABHS).

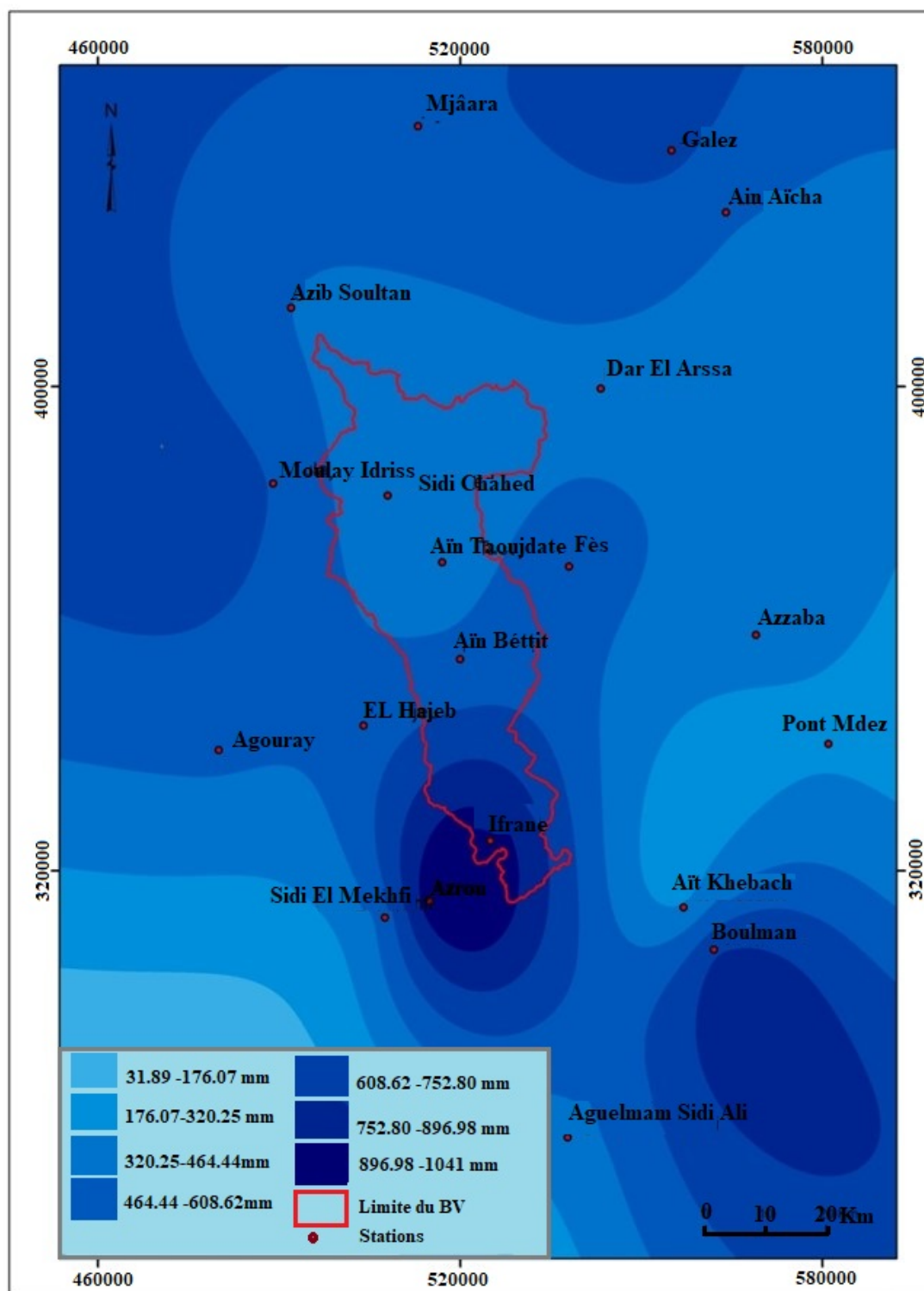


Figure 2.10 : carte des isohyètes du bassin de l'Oued Mikkès

1.2.4.- Les précipitations mensuelles

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau des trois stations étudiées (fig 2.11), montre que les précipitations les plus importantes sont enregistrées au niveau de la station d'Ifrane. La répartition mensuelle des précipitations montre que la période pluvieuse s'étale entre Novembre et Avril, avec des pics enregistrés pour la plupart des stations, entre les mois de Décembre et Février. Le mois de Décembre est en général le plus arrosé, alors que les mois de Juillet et Août sont les plus secs. Ces deux derniers mois peuvent cependant connaître des averses orageuses très concentrées et brutales, pouvant déclencher un écoulement même dans les Oueds secs.

Les variations moyennes mensuelles des précipitations varient de l'amont vers l'aval ; en effet, plus on se dirige vers l'aval du bassin, plus la moyenne des précipitations mensuelles diminuent. On voit sur le graphe que l'évolution des pluies moyennes mensuelles est similaire au niveau des trois stations, mais avec des hauteurs de pluies plus importantes au niveau de la station d'Ifrane que celle de la plaine de Saïs. Les irrégularités mensuelles des précipitations montrent aussi un régime pluviométrique extrêmement variable d'un mois à l'autre.

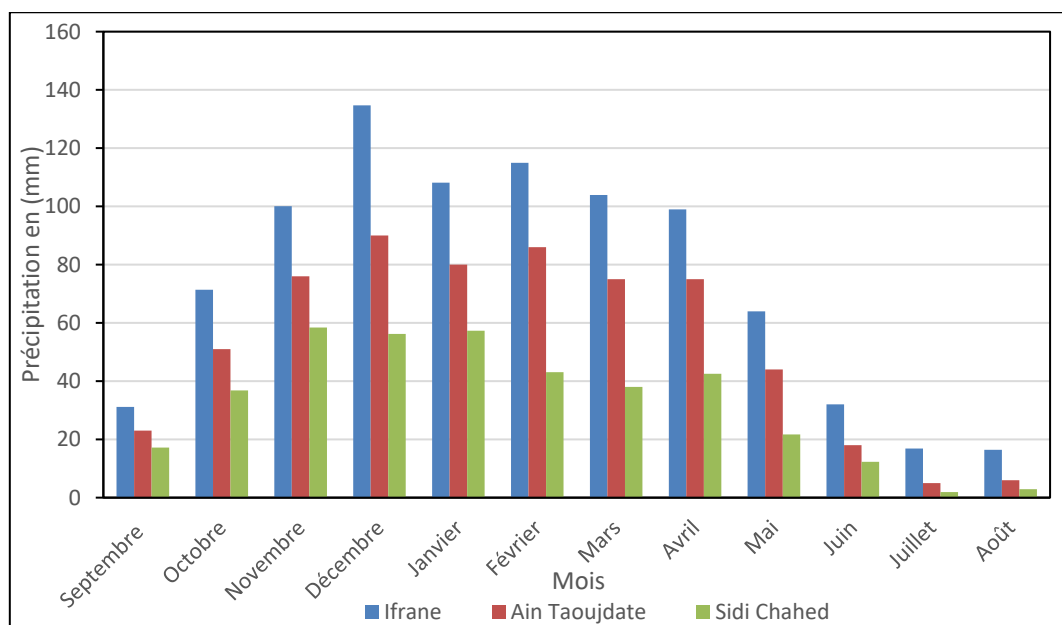


Figure 2.11 : précipitations moyennes mensuelles aux stations d'Ifrane, Sidi Echahed, Ain Taoujdate pour la période 1980-2014 (Source des données : ABHS, 2014).

Pour analyser les précipitations maximales, nous avons extrait les valeurs maximales enregistrées dans les trois stations d'Ifrane Ain Taoujdate et Sidi Echahed.

Les résultats obtenus (fig.2.12) montrent clairement que le mois de Janvier enregistre les précipitations les plus importantes de l'année.

En effet, les précipitations maximales dépassent 544 mm à Ifrane, 218 mm à Ain Taoujdade et 140 mm à Sidi Echahed. Ces fortes valeurs sont principalement liées aux précipitations orageuses qui touchent le bassin de Mikkès, et notamment au niveau du causse moyen - atlasique.

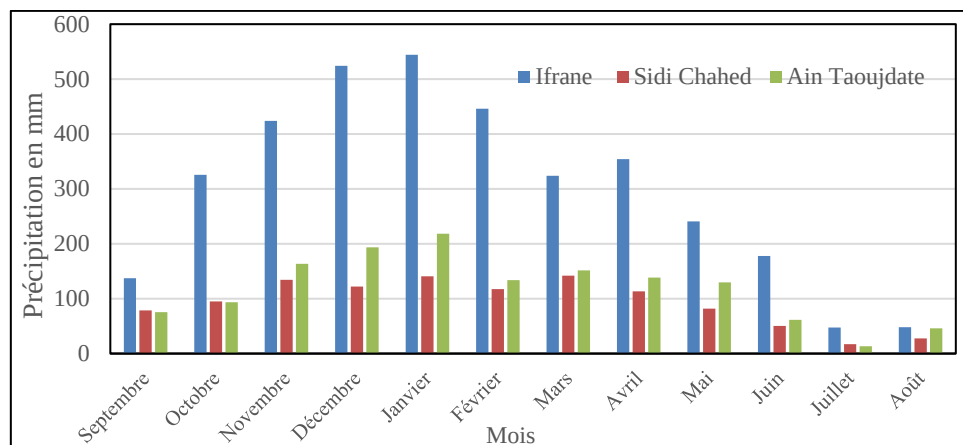


Figure 2.12 : variation des valeurs pluviométriques mensuelles maximales aux stations d'Ifrane, Ain Taoujdade et Sidi Echahed. (1983-2014). (Source des données : ABHS, 2014).

1.2.5.- Les précipitations saisonnières

La variation saisonnière des précipitations (fig.2.13), montre que l'été est la saison la plus sèche de l'année. Les précipitations enregistrées durant cette saison sont de l'ordre de 21,78 mm à Ifrane, 4,4 mm à Ain Taoujdade et 5,7 mm à Sidi Echahed. La période hivernale est la saison la plus humide de l'année avec des valeurs moyennes qui atteignent 119,20 mm à Ifrane ; 55,5 mm à Ain Taoujdade et 52,2 mm à Sidi Echahed. Pendant la saison d'automne, le bassin de Mikkès reçoit des précipitations orageuses importantes et très intenses qui provoquent souvent de fortes crues.

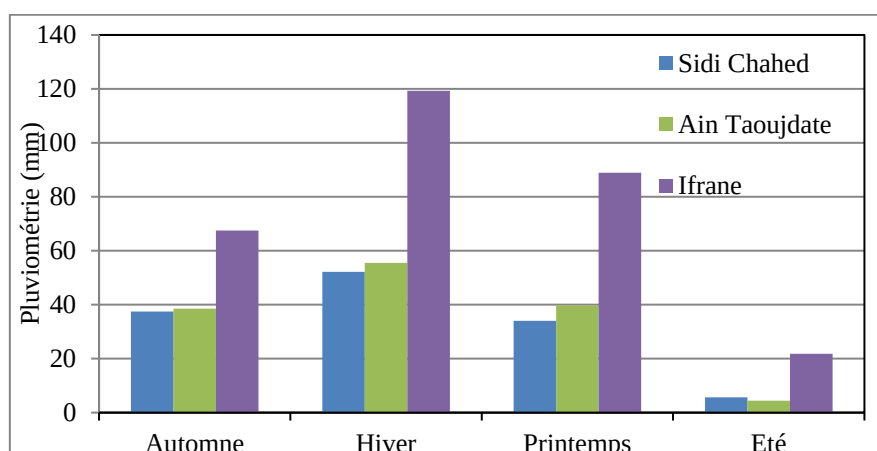


Figure 2.13 variations saisonnières des précipitations aux stations d'Ifrane Ain Taoujdade et Sidi Echahed. (1983-2014) (Source des données : ABHS, 2014)

Les cartes des isohyètes des précipitations saisonnières, élaborées sur la base des précipitations moyennes saisonnières (fig.2.14), ont mis en évidence un net contraste entre l'amont et l'aval du bassin versant. En effet, les précipitations sont bien concentrées sur les altitudes, par contre les basses altitudes enregistrent une moyenne moins importante. Comme on l'avait déjà signalé, ce phénomène reste essentiellement lié au facteur orographique.

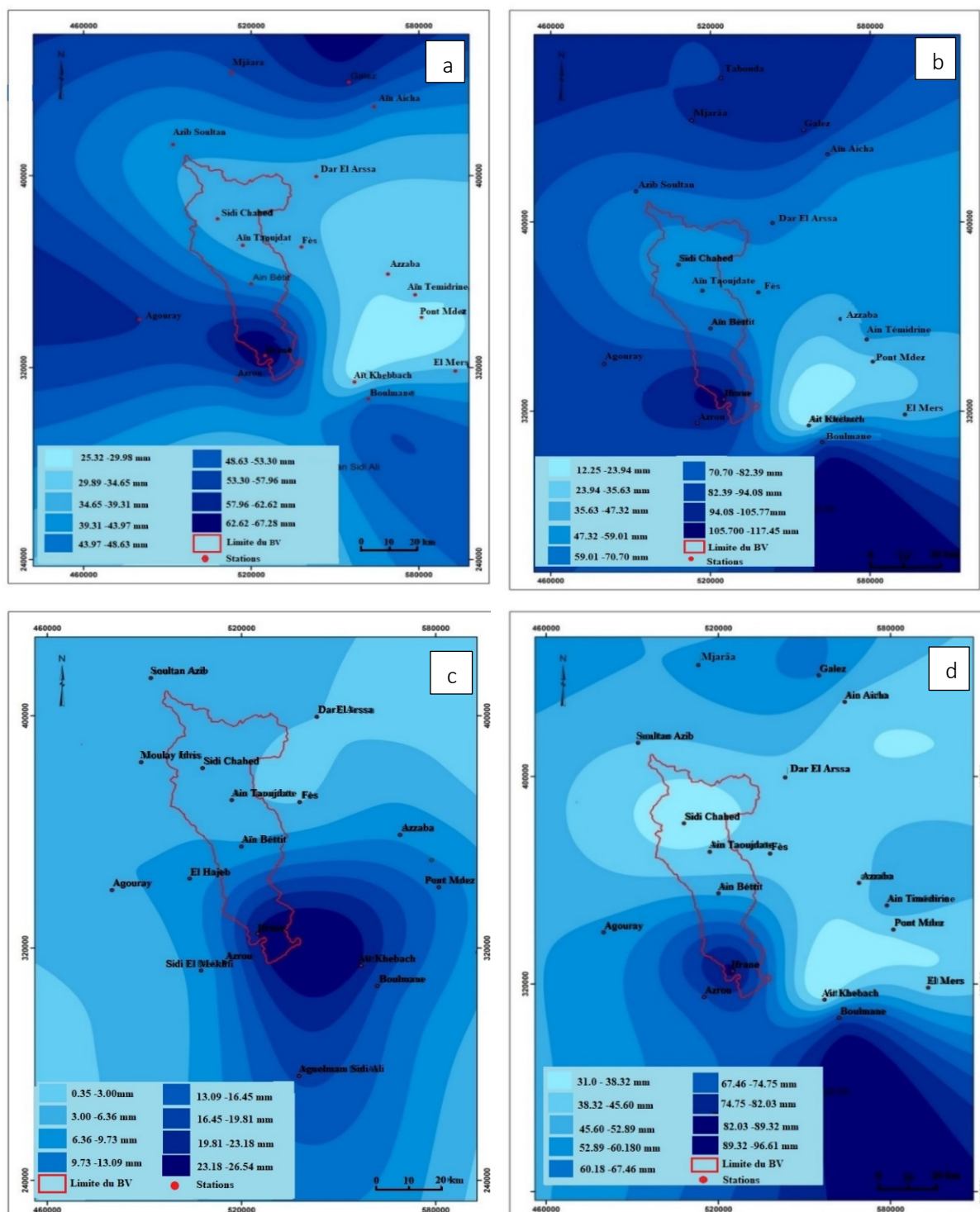


Figure 2.14 : carte des isohyètes des précipitations saisonnières dans le bassin de Mikkès : a) : situation automnale. b) situation hivernale. c) : situation printanière. d) : situation estivale

1.3.- Température, évaporation et bilan hydrique

Du fait de l'absence des données au niveau des stations de Sidi Echahed et d'Ain Taoujdate, l'analyse spatio-temporelle des températures a été effectuée sur la base des données thermométriques de la station d'Ifrane (alt.1649 m) et de celle de Fès (alt.569 m), qui n'est pas loin d'Ain Taoujdate.

1.3.1.- Les températures mensuelles

Les températures moyennes mensuelles de ces deux stations (fig.2.15), montrent qu'il y a une différence de température de plus de 8°C entre la station du causse (Ifrane) et celle de Saïs (Fès). Cette différence est principalement liée à l'effet d'altitude.

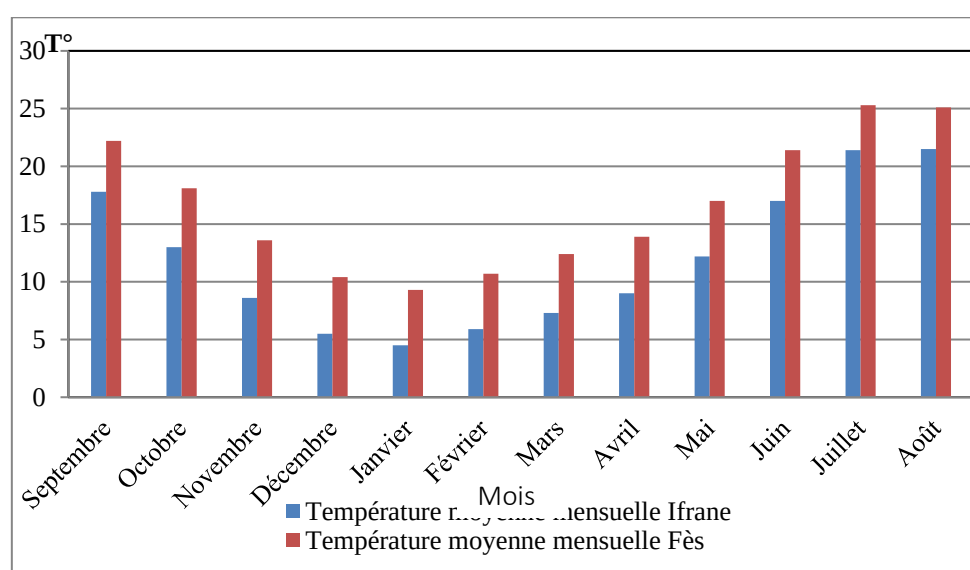


Figure 2.15 : variation des températures moyennes mensuelles des stations d'Ifrane et Fès (1968-2013). (Source des données : ABHS, 2014).

La saison froide commence de Décembre à Février, c'est la période des records des températures basses. A Ifrane, la température moyenne mensuelle se situe entre un maximum de 21,5°C en Août et un minimum de 4,5°C en Janvier. À Fès, la température moyenne mensuelle varie de 25,3°C en Juillet à 9,3°C en Janvier.

L'impact du régime thermique dans le bassin versant de Mikkès est ressenti sur les plans hydrologique, biogéographique et les activités anthropiques. Les fortes températures interviennent dans l'augmentation de l'évaporation ; elles entravent le développement du couvert végétal naturel et agit ainsi sur les écoulements de Mikkès et de ses affluents. D'autre part, elles imposent d'avantage la demande à l'irrigation pour l'agriculture et par conséquent la mobilisation de plus en plus des eaux drainées par l'Oued Mikkès et ses affluents.

1.3.2.- Relation entre la température et les précipitations

La caractérisation du climat dans une région peut être estimée à travers la relation de la température et les précipitations.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen, permet de définir le mois sec, à travers la comparaison entre le total des précipitations de ce mois en mm et le double de sa température moyenne, en utilisant la relation suivante : $P = 2T$.

Avec :

P : Précipitation mensuelles (mm).

T : Température moyenne mensuelles (°C).

D'après la formule de Gaussen, un mois sec est celui où le total des précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés Celsius. De ce fait, quand la courbe des températures se place au-dessus de celle des précipitations, la zone est considérée comme sèche durant la période étudiée. Le diagramme ombrothermique de Gaussen désigne une représentation graphique indiquant les variations conjointes de la température moyenne mensuelles et des précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné.

Le diagramme ombrothermique de la station d'Ifrane (fig.2.16), située sur le causse à l'extrême sud du bassin, montre que la période sèche s'étale du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre (soit environ 4 mois), tandis que le diagramme ombrothermique de la station de Fès (fig.2.17) située dans le Saïs, montre que la période sèche s'étale du mois de Mai au mois d'Octobre (environ 6 mois). En comparant les diagrammes ombrothermiques à la station d'Ifrane et celui de Fès, on constate que le nombre de mois sec est de 4 mois dans le causse et il est de 6 mois dans la plaine du Saïs. Ce qui montre que la sécheresse s'étale et varie dans le temps et l'espace dans le bassin de Mikkès.

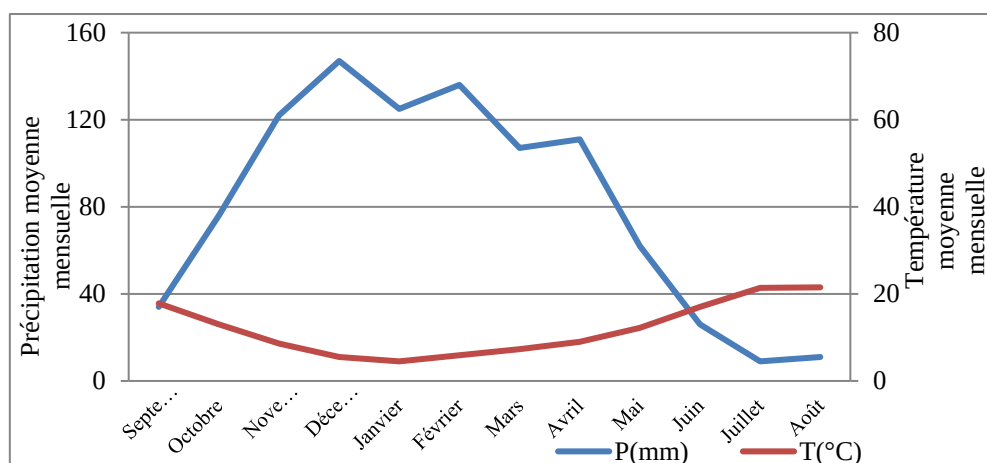


Figure 2.16 : diagramme ombrothermique de la station d'Ifrane (Source des données : ABHS, 2014).

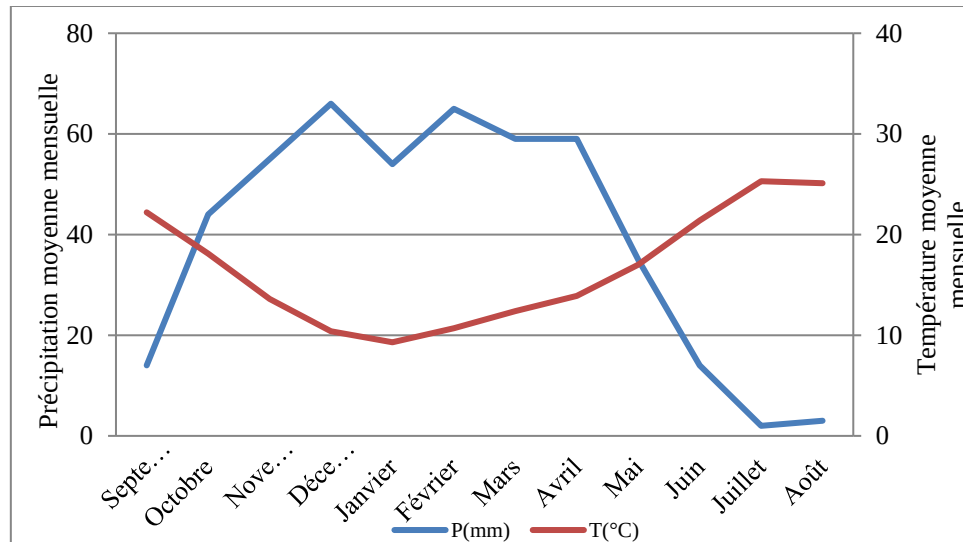


Figure 2 .17 : diagramme ombro-thermique de la station Fès (Source des données : ABHS, 2014).

1.3.3.- L'évapotranspiration

Le processus d'évaporation, est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. C'est la voie par laquelle se font les transferts d'eau de la surface du globe terrestre à l'atmosphère. (S. Bigot et *al.* 2003).

La transpiration est le mouvement de l'eau passant dans les plantes vers l'atmosphère, cette opération demeure plus difficile à appréhender à cause des très nombreux processus interactifs impliquant des réactions bio-physico-chimiques et parce que ces réactions sont très variables dans le temps et dans l'espace en fonction des associations végétales présentes dans le bassin versant. Généralement, on distingue l'évaporation potentielle (ETP) et l'évaporation réelle (ETR).

a.- L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Selon C.W. Thornthwaite (1948), elle correspond à la perte en eau par évaporation directe du sol et par transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme, couvrant totalement le terrain, en pleine période de croissance, et abondamment pourvue en eau en fonction de la demande atmosphérique. Dans un bassin versant, elle est calculée par la formule suivante :

$$ETP = 16 \left(10 * \frac{TM}{I} \right)^a$$

ETP : l'évapotranspiration mensuelle en mm

TM : la température moyenne en °C pour le mois considéré

I : l'indice annuel qui est la somme des 12 indices thermiques mensuels

a : $= (6.75 \cdot 10^{-7}) - (I \cdot 3.71 \cdot 10^{-5} \cdot 12) + (1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I) + 0.49$

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total	
Température	17,8	13	8,6	5,5	4,5	5,9	7,3	9	12,2	17	21,4	21,5		
Indice annuel	6,84	4,25	2,27	1,16	0,85	1,28	1,77	2,43	3,86	6,38	9,04	9,10	49,23	a=1,26
ETP	81,67	54,82	32,46	18,41	14,28	20,13	26,37	34,39	50,58	77,04	103,16	103,77	617,06	

Tableau 2.4 : calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite à la station Ifrane

(Source des données : ABHS, 2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total	
Température	22,2	18,1	13,6	10,4	9,3	10,7	12,4	13,9	17	21,4	25,3	25,1		
Indice annuel	9,55	7,01	4,55	3,03	2,56	3,16	3,96	4,7	6,38	9,04	11,64	11,5	77,09	a=1,72
ETP	99,19	69,74	42,6	26,82	22,12	28,17	36,32	44,23	62,6	93,1	124,27	122,58	771,74	

Tableau 2.5 : calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite de la station Fès (Source des données : ABHS, 2014).

La comparaison des deux stations de Fès et d'Ifrane (fig.2.18), montre que l'évapotranspiration est plus importante dans le Saïs en comparaison avec la zone du causse (771,74 mm) au niveau de la station de Fès, contre uniquement (617,06 mm) pour la station Ifrane). Cette différence est principalement liée à la variation de la température entre l'amont et l'aval du bassin versant. En effet, le grand dénivelé des terrains (1635m-569 m) crée un grand contraste thermique entre l'amont et l'aval, ce qui affecte l'ETP, largement influencé par la température.

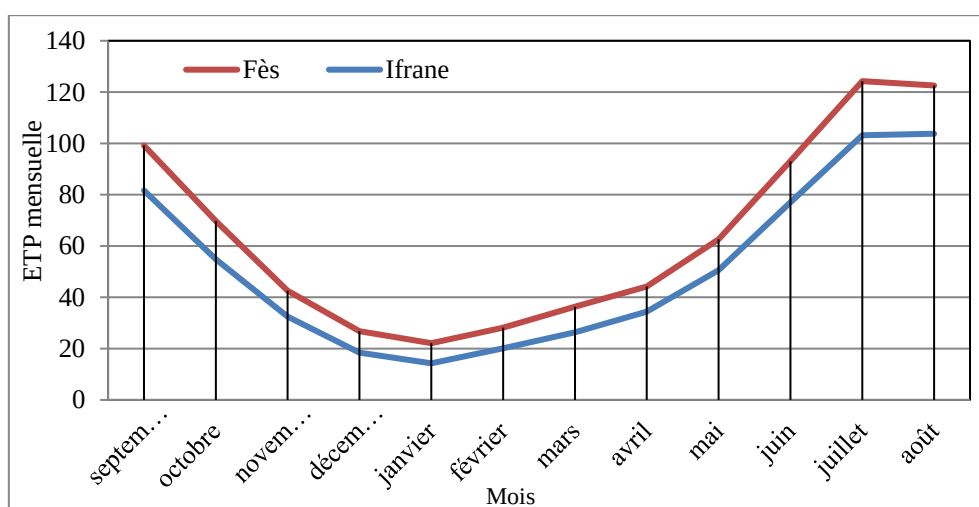


Figure 2.18 : évolution de l'ETP mensuelle des stations Ifrane et Fès (1968-2009)

b.- L'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau retournée dans l'atmosphère sous forme de vapeur par évaporation physique ou transpiration végétale dans les conditions réelles d'humidité du sol et de développement physiologique et sanitaire des plantes (S. Bigot et *al.* 2003). L'ETR est donc une grandeur observée, à l'inverse de l'ETP. Son estimation pour les deux stations étudiées a été calculée par la formule de Coutagne :

$$ETR = D = P - mp$$

Avec

ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm)

D : déficit d'écoulement

P : pluie moyenne annuelle (en m)

m : coefficient régional

$$m = \frac{1}{0.8 + 0.14 * T \text{ (Température en } ^\circ\text{C)}}$$

Les résultats obtenus (tab.2.6), montre que l'évapotranspiration réelle enregistrée au niveau de la station de Fès dépasse largement celle enregistrée au niveau de la station de Ifrane, soit 565mm contre uniquement 326 mm.

Station	Ifrane	Fès
Température (C°)	12,0	16,6
Précipitation en (m)	965	516
m	0,40	0,19
ETR (mm)	326	565

Tableau 2.6 : résultat du calcul de l'ETR par la méthode de Coutagne

c.- Calcul de l'ETR par la formule de Turc

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de l'ETR calculées par la formule de Turc (1961) qui a utilisé la formule suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en (mm)

P : précipitation annuelle en (mm)

L : $300 + 25T + 0.05T^2$ (T : température moyenne annuelle)

Station	Ifrane	Fès
Température (C°)	12,0	16,6
Précipitation en (mm)	965	516
L	600,6	715,83
ETR (mm)	405,30	609,5

Tableau 2.7 : résultats du calcul de l'ETR par la méthode de Turc

Le calcul de l'ETR par la formule de Turc (tab.2.7), montre que l'évapotranspiration réelle annuelle enregistrée au niveau de la station de Fès est plus importante que celle enregistrée au niveau de la station d'Ifrane, soit 405,30 mm contre 609,5 mm.

Il est bien évident que le surplus hydrologique est plus important à Ifrane où l'altitude et la pluviométrie sont plus élevées et il est plus faible à Fès où l'altitude et la pluviométrie sont plus faibles. En effet, l'évapotranspiration diminue quand l'altitude augmente.

2.- Le fonctionnement hydrologique de l'Oued Mikkès

Comme nous l'avons vu précédemment, l'étude pluviométrique a démontré que le climat du bassin versant de Mikkès, se caractérise par une grande variabilité interannuelle, saisonnière et spatiale des précipitations. Cette grande variation influence directement les écoulements et la réponse hydrologique de l'Oued Mikkès. Cette réponse est étroitement liée à l'effet combiné des conditions climatiques et principalement les précipitations, et de la nature lithologique des terrains du bassin versant.

Il s'agit d'un régime pluvial à influence nivale très irrégulier, qui dépend à la fois des pluies (essentiellement), de la fonte des neiges d'hiver du Moyen Atlas et des apports de la nappe hydrogéologique karstique. Dans la zone aval, après les rides pré-rifaines, l'écoulement de l'Oued Mikkès est régularisé par le barrage de Sidi Echahed, mis en service en 1996.

Dans la présente étude, l'analyse hydrologique des écoulements de l'Oued Mikkès s'est basée sur les données hydrométriques de la station Sidi Echahed pour la période 1959-2014. Nous avons aussi utilisé les connaissances apportées par des travaux antérieurs de certains auteurs (F. Amraoui .2005 ; K. Belhassan, 2011 ; Z. Qadem, 2020, H. Achiban, 2022).

2.1- Variation du débit moyen annuel

La chronique d'étude des débits annuels de l'Oued Mikkès (fig.2.19), montre une forte fluctuation interannuelle et que les écoulements sont généralement faibles. A la station de Sidi Echahed, les débits les plus élevés sont observés en 1994, 2008, 2009 et 2012 ($10,2 \text{ m}^3/\text{s}$; $15,4$

m^3/s ; $25,8 \text{ m}^3/\text{s}$; et $13,9 \text{ m}^3/\text{s}$; alors que les valeurs les plus basses sont enregistrées en 1991 et de $(0,4 \text{ m}^3/\text{s})$. La valeur moyenne du débit interannuel pour la période d'étude est de $4,85 \text{ m}^3/\text{s}$.

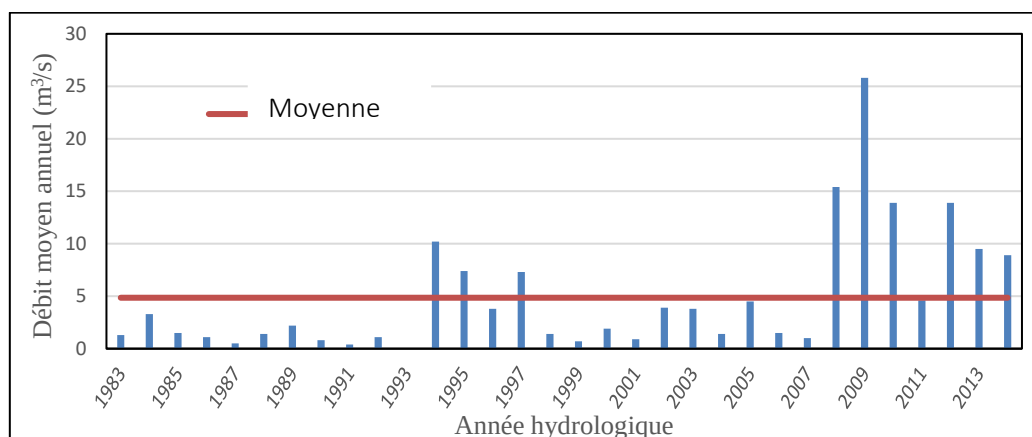


Figure 2.19 : variation du débit moyen annuel de l'Oued Mikkès à la station Sidi Echahed (1983-2014).

(Source des données : ABHS, 2014).

2.2.- Variation du coefficient d'hydraulicité

La variation du régime d'écoulement d'un cours d'eau à l'échelle annuelle est définie par son coefficient d'hydraulicité, qui représente le rapport entre le débit moyen annuel de l'année considérée au débit moyen interannuel obtenu après le traitement de la longue série d'observation. L'analyse de la répartition du coefficient d'hydraulicité annuelle de la période 1983 -2013 (fig. 2.20), montre que le nombre des années déficitaires dépasse largement celui des années humides, soit 70% de la série statistique.

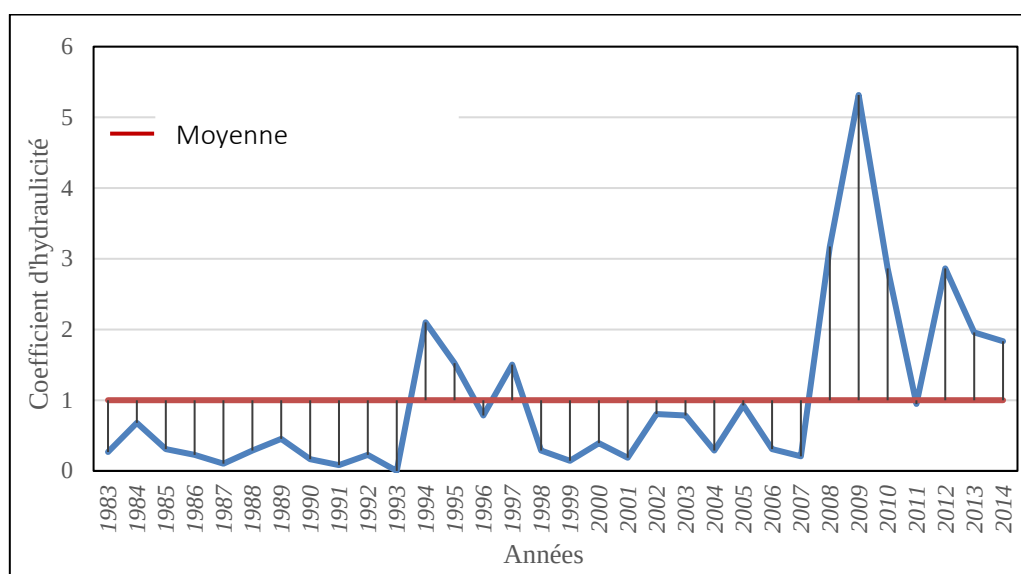


Figure 2.20 : variation du coefficient d'hydraulicité moyenne annuelle à la station Sidi Echahed (1983-2014) (Source des données : ABHS, 2014).

En effet, les valeurs de l'hydraulicité appartenant à la période humide oscillent entre 2,10 m³/s en 1994 et 5,31 m³/s en 2000. L'année hydrologique 1993 a connu un grand déficit d'écoulement, avec un coefficient de 0,26 m³/s. L'importance de l'écart entre les valeurs extrêmes du coefficient d'hydraulicité comme c'est le cas pour année 1994, 2009 et 2012, exprime une forte fluctuation des débits d'une année à autre. Après avoir analysé le coefficient d'hydraulicité moyen annuel, peut-on dire que les périodes excédentaires et celles déficitaires en écoulement, coïncident partiellement avec la fluctuation des précipitations.

En effet, la comparaison entre le coefficient pluviométrique et le coefficient d'hydraulicité (fig.2.21), montre que 42% des années humides présentent une bonne corrélation avec celle excédentaires en termes de débit et 33% des années sèches montrent une corrélation significative avec les années déficitaires. Ceci s'explique par les conditions géomorphologiques et la nature lithologique des terrains, qui conditionnent le fonctionnement du ruissellement.

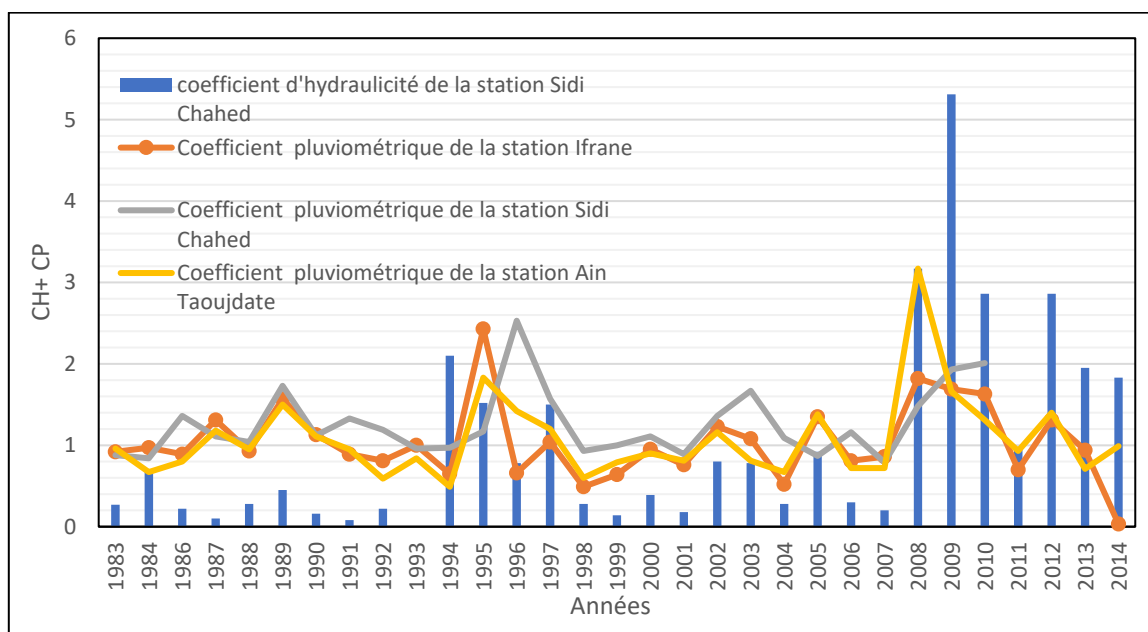


Figure 2.21 : relation entre le coefficient pluviométrique (CP) et le coefficient d'hydraulicité (CH).
(1983-2014) (Source des données : ABHS, 2014).

2.3.- Variation des débits moyens mensuels

L'étude de l'écoulement à l'échelle mensuelle permet de mieux comprendre le type du régime fluvial. L'évolution des débits moyens mensuels (fig.2.22), montre que les débits les plus importants sont enregistrés entre Janvier et Avril, avec des valeurs allant de 12,54 m³/s enregistrées en mois de Février et (6,39 m³/s) et au mois de Mars (5,64 m³/s). En revanche, les débits les plus faibles sont observés entre Juin et Septembre, avec des valeurs qui varient entre (0,55m³/s) et (0,59 m³/s). La valeur moyenne du débit inter-mensuel est 2,58 m³/s.

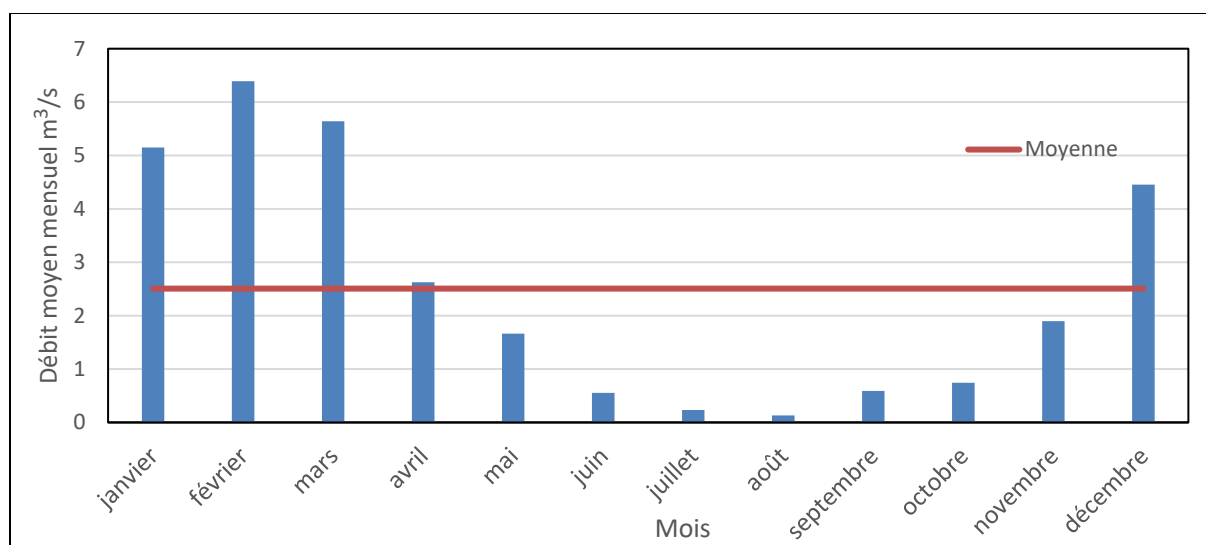


Figure 2.22 : évolution des débits moyens mensuels du Mikkès à la station Sidi Echahed (1983-2014)
(Source des données : ABHS, 2014).

Pour mieux caractériser le régime hydrologique du Mikkès, nous avons utilisé quelques paramètres intéressants tels que, le coefficient mensuel des débits et le coefficient de variation.

2.3.1.- Le coefficient mensuel des débits

La variation mensuelle de débit est souvent exprimée par le coefficient mensuel de débit qui est le rapport entre le débit moyen mensuel du mois considéré et la moyenne annuelle de la série. Ce coefficient caractérise les mois des basses et hautes eaux. En effet, les valeurs supérieures à 1, caractérisent la période des hautes eaux, tandis que celles inférieures à 1, caractérisent la période des basses eaux.

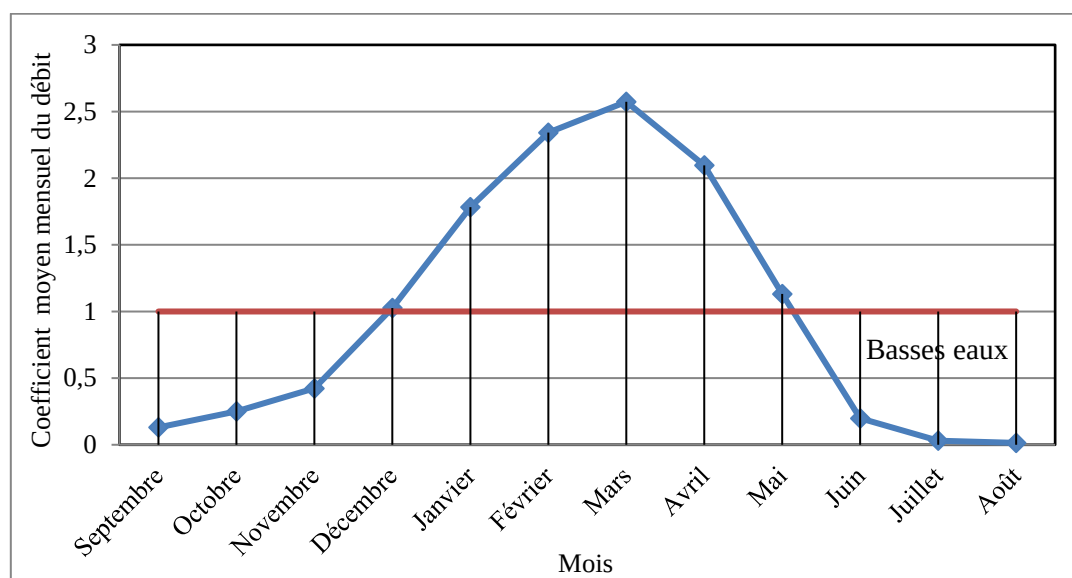


Figure 2.23 : variation du coefficient mensuel de débit du Mikkès (1983-2014)
(Source des données : ABHS, 2014).

Les résultats obtenus pour l'Oued Mikkès (fig. 2.23), montrent que la période des hautes eaux se situe entre les mois de Décembre et Mai, tandis que la période sèche commence à partir du mois de Mai et persiste jusqu'à la fin du mois de Novembre. En se référant au diagramme ombro-thermique (fig. 2.15), on constate un décalage d'un mois, entre la période des hautes eaux et la saison pluvieuse. Ce retard est généralement lié aux caractéristiques des terrains du bassin versant et notamment au temps nécessaire au remplissage de la nappe des réservoirs hydrogéologiques.

2.3.2.- Le coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement d'un bassin versant représente le rapport entre la sortie (le débit) et l'entrée (la pluie) (O. Frysou, 2008). L'étude de la variation du coefficient d'écoulement à l'échelle mensuelle donne une bonne approche du régime fluvial et saisonnier du bassin. L'évolution de ce coefficient pour la station de Sidi Echahed (fig.2.24), montre clairement que les écoulements ne deviennent significatifs qu'à partir du mois de Décembre (7,08%).

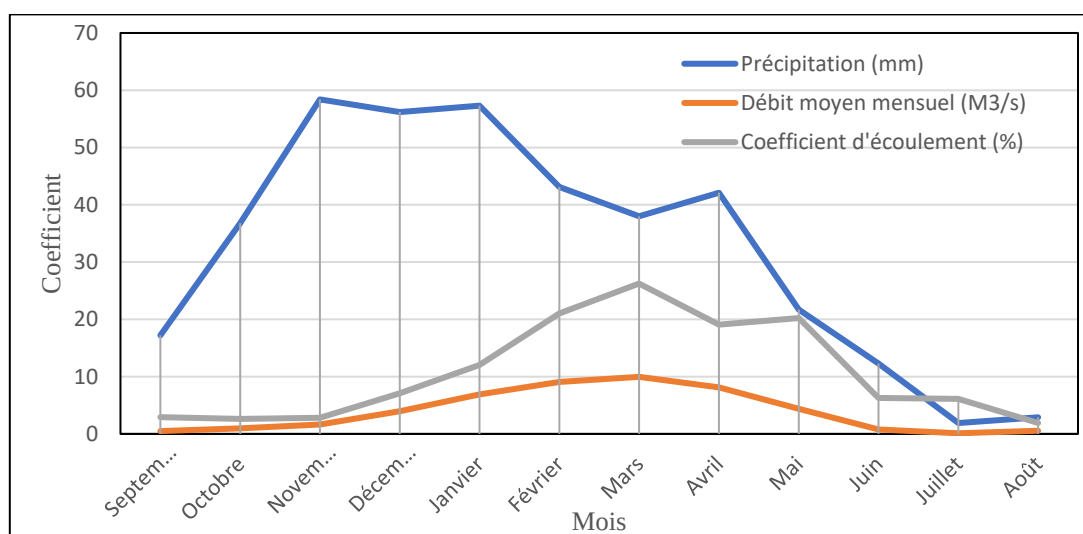


Figure 2.24 : variation du coefficient d'écoulement à l'échelle mensuelle

Le maximum s'enregistre au mois de Mars (1,91%), puis on assiste à une diminution après pour atteindre un pourcentage de (1,91 %) en Août. La courbe montre également que les valeurs extrêmes du coefficient d'écoulement mensuel coïncident parfaitement avec celles des précipitations ; ce qui démontre que ce coefficient est directement lié à l'importance des précipitations.

2.4.- Les débits extrêmes

Les débits extrêmes (crues et étiages) jouent un rôle essentiel dans les processus de la morphologie fluviale, notamment les crues qui correspondent à de grands moments

morphogènes qui favorisent les phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt dans le milieu fluvial (A. Taous, 2005).

2.4.1.- Les crues

Les crues sont des situations particulières du comportement des cours d'eaux qui représentent des gonflements hydrométriques, débordant ou non, qui affectent, sans périodicité le plus souvent, les écoulements. Elles sont des phénomènes fréquents et irréguliers qui peuvent se produire en toute saison, tant en saison de hautes eaux qu'en saison de basses eaux et donnent les débits les plus forts de l'année (B. Cherrad, 1997). L'étude des débits de crues permet de caractériser la réaction de l'Oued Mikkès aux précipitations importantes avec convergence des facteurs géologiques et physiographiques du bassin versant. Sur le plan méthodologique, l'étude des crues se base essentiellement sur les débits maximums journaliers. Dans notre cas, du fait de l'absence de ces données aux stations du bassin, nous nous sommes basés sur les débits mensuels ; ce qui a pour objectifs, de donner une idée globale sur les caractéristiques hydro-géomorphologique des crues du Mikkès.

a) - L'analyse fréquentielle des crues

L'analyse fréquentielle est une technique statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin de définir les probabilités d'apparition future. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en oeuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus ; ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée (P. Meylan et al, 2008).

- Ajustement par la loi de Gumbel des débits maximums mensuels

La technique d'ajustement par la loi de Gumbel consiste en premier lieu à classer les débits instantanés maximums dans un ordre croissant et attribuer à chaque débit le rang correspondant, dans un deuxième temps, on calcule pour chaque débit sa fréquence empirique selon l'équation suivante :

$$F(x) = \frac{r-0,5}{n}, \text{ Avec : } r = \text{la valeur du rang et } n = \text{la taille de l'échantillon.}$$

Ensuite, on calcule la variable réduite « u » du Gumbel selon l'équation suivante :

$$U = -\ln(-\ln(F(x))). \text{ Et le débit } Q_{\max} = a U(x) + b$$

Les valeurs a et b, sont définies par l'ajustement graphique des valeurs des deux variables (U_i , x_i) de la série (tab.2.8).

Année	Qi max	Rang	Année	Qi max	Rang	Année	Qi max	Rang
1983	2,6	1	1994	20,1	12	2005	39,3	23
1984	3	2	1995	20,7	13	2006	41,5	24
1985	3,3	3	1996	28,6	14	2007	43,4	25
1986	4,5	4	1997	30	15	2008	43,5	26
1987	7,6	5	1998	30,1	16	2009	55,1	27
1988	7,7	6	1999	31,2	17	2010	90,7	28
1989	8,8	7	2000	34,7	18	2011	108	29
1990	12,5	8	2001	35,5	19	2012	110	30
1991	15,5	9	2002	36,1	20	2013	123	31
1992	16,7	10	2003	36,8	21	2014	178	32
1993	16,7	11	2004	37,5	22			

Tableau. 2.8 : les débits maximums mensuels de 1983 à 2014 à la station Sidi Echahed (Sources des données : ABHS, 2014).

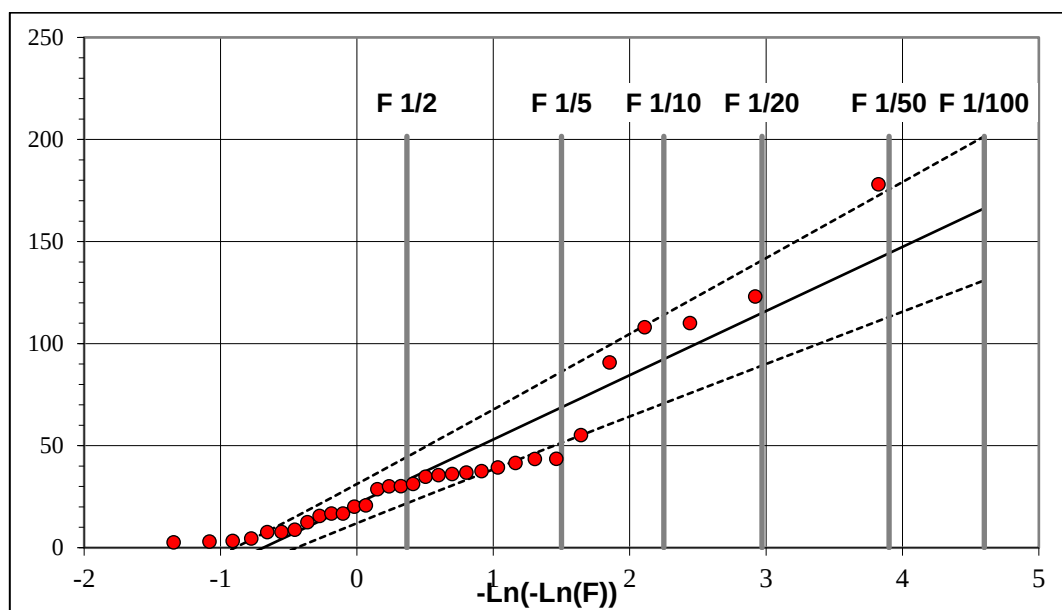


Figure 2.25 : ajustement graphique des débits maximums mensuels de l'Oued Mikkès à la station de Sidi Echahed pour la période (1983 – 2014).

Temps de retour T	2	5	10	20	50	100
Probabilité de non dépassement de Qimax	0.5	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Qimax pour le temps de retour T m ³ /s	39,8	73,7	91,5	106,1	122,6	133,6

Tableau. 2.9 : débits maximums mensuels de l'Oued Mikkès calculés pour les différents temps du retour

Récurrence de ces débits à l'échelle de la chronique étudiée, montre que de 91,5m³/s pour une période de 10 ans ; 106,1 m³/s pour une période de 20 ans et 133,6m³/s pour une période de 100 ans.

b.- Les caractères généraux de la genèse des crues

Les crues de la saison estivale se caractérisent par des durées et des extensions spatiales plus faibles que celles des crues de saison hivernale. Elles sont liées généralement à des averses localisées et limitées dans le temps, et peuvent atteindre des débits instantanés jamais connus en période de hautes eaux, ce qui est le cas du bassin versant amont Tizguit, où le débit maximum est estimé à 125m³/s (2009) (ABHS, 2013), (pl.ph.2.1).

A l'échelle de la répartition saisonnière des pluies, la genèse des crues diffère d'une saison à l'autre. Les crues automnales sont plus nombreuses, leur genèse et répétition sont dépendantes des phases pluvieuses qui caractérisent cette saison. À son début, les premières crues s'observent dès le mois de Septembre. Les eaux coulent sur le sol et les alluvions secs, cause pour laquelle, elles sont rapidement atténuées par l'infiltration et l'évaporation. En Octobre et Novembre, s'observent les crues les plus spectaculaires.

Elles interviennent brusquement au moment où le sol est relativement saturé. Cette fin d'automne coïncide aussi avec le début de la saison froide, où la baisse des températures limite particulièrement l'évaporation. Pour les crues printanières, elles apparaissent généralement au mois de Mars et arrivent au mois de Mai. Elles résultent des précipitations printanières, relativement peu abondantes par rapport à celles automnales. Ainsi, les crues de cette saison sont peu violentes et peu abondantes.

Finalement, les crues de la saison estivale sont très rares se produisent le plus fréquemment en début et en fin de saison, et plus précisément en Juin et en Septembre. Celles de fin de saison se caractérisent par une gravité plus élevée en raison de la forte intensité des averses sur un sol sec et presque nu. Les averses génératrices de grandes crues se produisent essentiellement dans

la portion amont Tizguît qui constitue un bassin versant au relief relativement accidenté, idéal pour la réception et de concentration rapide des eaux de ruissellement, favorables pour la genèse d'événements hydrologiques extrêmes.



Planche photos 2.1 : les crues de l'Oued Mikkès amont et endommagement des aménagements de protection au niveau du Zaouia Sidi Abdeslam en 2009.

Sources : (<https://lesrecueilsderapha.com/2021/08/10/chronique-dune-mort-programmee-i/comment-page-1/>).

2.4.2.- Les étiages

Les étiages représentent les débits les plus faibles durant l'année en période de déficit de l'alimentation : l'absence des précipitations et une évapotranspiration potentielle importante favorisent la forte décroissance des écoulements en phase d'assèchement. Les étiages sont très prononcés, durables et restent des phénomènes annuels qu'on peut appréhender à l'échelle du mois (B. Cherrad, 1997). Leur évolution dans le temps et leur répartition spatiale rendent compte de l'hydrologie de l'Oued Mikkès (présence de nappes, capacité des aquifères, l'endoréisme, karstification...).



Planche photos 2.2 : aspects de l'Oued Mikkès en étiage. a) cliché pris en Décembre 2021, amont de la ville d'Ifrane, b) cliché pris en Décembre 2021, au voisinage du centre Mikkès.

Les facteurs physiographiques et géologiques dans les différentes zones de Mikkès favorisent, à l'été, une absence presque totale de soutien des nappes et un important prélèvement d'eau pour l'irrigation des terres (pl.ph.2.2).

a.- Etiages mensuels et leur sévérité

Le débit mensuel d'étiage correspond à la valeur mensuelle la plus basse de l'année hydrologique (Kh. Obda, 2004). Dans le cas du Mikkès, les valeurs d'étiage mensuel à la station de Sidi Echahed pour la période (1983- 2014), fluctuent entre un minimum de 0 m³/s durant les mois d'Août pour les différentes années, et un maximum de 16,6m³/s enregistré au mois de Novembre 1987 (fig.2.26).

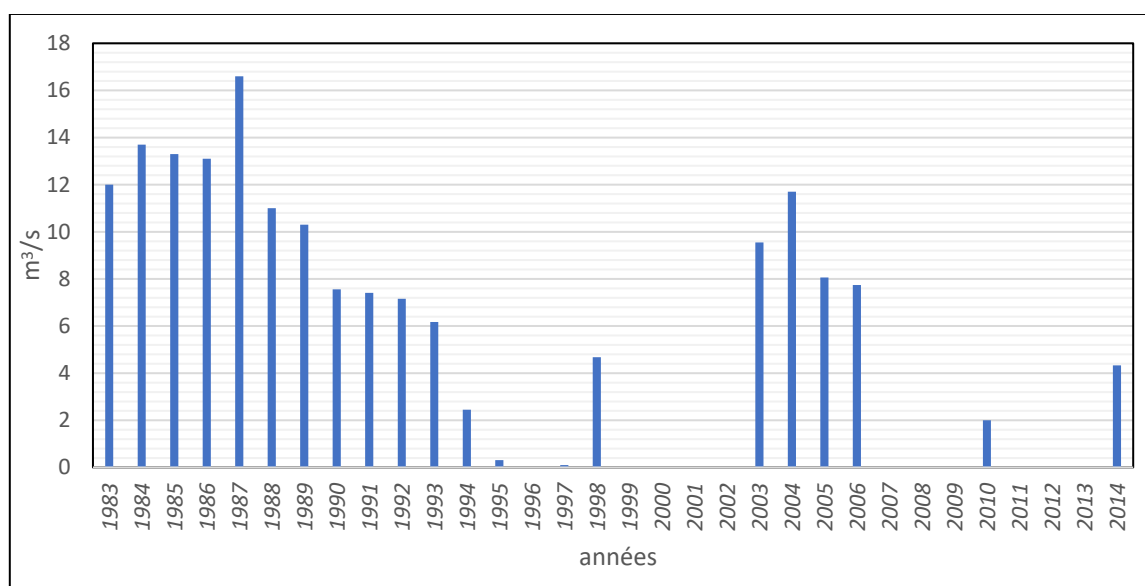


Figure 2.26 : débits d'étiages mensuels de l'Oued Mikkès pour la période (1983-2014)

(Source de données : ABHS, 2014)

La répartition des valeurs précitées est contrôlée par les conditions climatiques, puisque les mois qui ont connu la grande récurrence des étiages mensuels sont les mois de la saison sèche située à la fin de l'année hydrologique. Le facteur lithologique intervient également car il favorise l'infiltration. Quant à l'action anthropique, elle influence l'évolution des débits des cours d'eau en question. Les canaux d'irrigation ou d'alimentation en eau capturent la majorité des débits des affluents, qui sont alimentés en principe par les eaux des grandes sources de débordement ou des résurgences.

b.- Influences des pertes karstiques et des sources sur l'écoulement d'étiage du Mikkès

L'hydrologie du haut Mikkès (Tizguit), qui prend naissance en amont de la ville d'Ifrane, dans le causse moyen atlasique est largement influencée par les pertes karstiques, qui réduisent les écoulements de surface et alimentent le réservoir carbonaté du Lias. En effet, le long de son

trajet dans le causse, le cours d'eau de Tizguit, perd une grande partie de son débit, en alimentant les émergences karstiques situées plus à l'aval (F. Amraoui, 2005 ; A. Taous et *al.* 2020, H. Achiban, 2021).

Par la suite, dans le secteur de la ville d'Ifrane, le débit de l'oued augmente grâce à la présence des sources karstiques qui alimentent son écoulement (sources Vittel et Zerrouka). Selon les données de l'ABHS (Z. Qadem, 2020), les débits de ces sources dépassent souvent 100 l/s durant les mois des hautes eaux, (période de la fonte de la neige, 115 l/s en Avril 2015) ; ils diminuent à moins de 67 l/s en Septembre.



Planche photos 2.3 : sources de débordement au niveau de contact de la plaine de Saïs avec le causse moyen atlasique. a) cliché pris en Mai 2018 à Ain Ribâa. b) cliché pris en Mai 2018 à Ain Attrous.

Au passage dans le Dir, en raison des pertes karstiques, des infiltrations dans les basaltes, et des prélèvements anthropiques l'Oued Tizguit perd tous ses apports hydriques, avant de rejoindre le plateau de Saïs. Ici, les écoulements de l'Oued ne réapparaissent que durant les épisodes pluvieux de fortes intensités. Au contact du Dir au plateau de Saïs, on note la présence de plusieurs grandes sources (Ain Bittit, Ain Ageumgeum, Ain Ribaa, Ain Atrous, Ain Akkous...) (pl.ph.2.3), qui contribuent à l'augmentation des débits d'étiage des affluents du Mikkès, en prévenance du Moyen Atlas (fig.2.28).

En effet, la source El Rhara est la principale source d'alimentation de l'Oued N'Ja, et celle d'Akkous alimente Oued Jdidda, au niveau du plateau de Saïs. Malgré le débit important de cette dernière (120 l/s en Septembre 2015 ; 200 l/s en Avril 2015 ; 170 l/s en Avril 2017), son débit est presque prélevé entièrement pour l'irrigation (Z. Qadem, 2020).

En fait, les contextes géomorphologique, géologique et hydrologique du bassin du Mikkès favorisent, l'apparition de nombreuses résurgences et différents types de sources qui participent

à l'alimentation du cours d'eau principal et notamment le soutien de son étiage en période estivale sèche (fig.2.26 et fig. 2.28). La structure géologique, la tectonique et la lithologie du substratum déterminent globalement la distribution spatiale des sources et leurs caractéristiques hydrologiques. Ces sources peuvent être regroupées en quatre types :

- Les sources d'émergence-déversement de la nappe phréatique, situées généralement dans les bordures et les talwegs du cours d'eau principal du Mikkès et de ces affluents ;
- Les sources de débordement de la nappe liasique libre, situées le long de la zone de contact de la plaine de Saïs avec le causse moyen atlasique, (Ribâa-Béttit ; Aguemguem ; Ain AAtrous...) ;

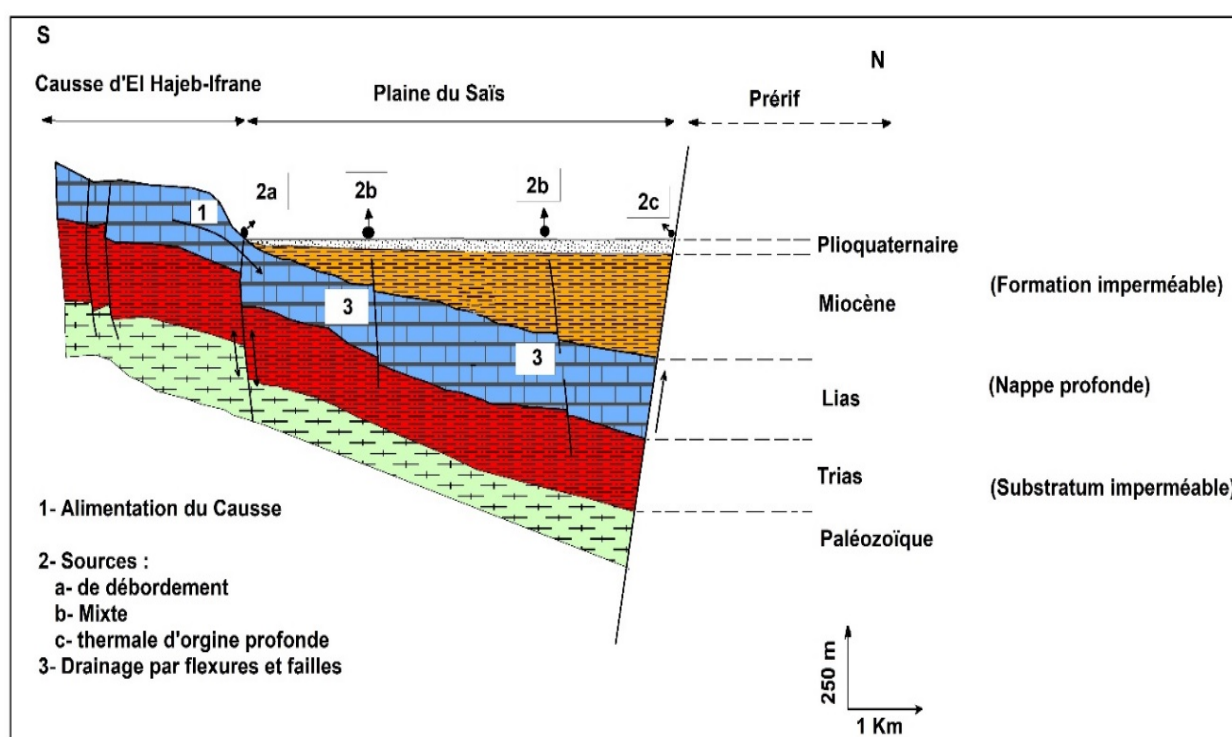


Figure 2.27 : coupe schématique montrant le contexte hydrogéologique des principales sources du bassin de Mikkès (K. Belhassan, 2011).

- Les sources thermo-minérales et qui sont issues essentiellement des calcaires liasiques et qui apparaissent au niveau des failles profondes tel qu'Aïn Skhounat ;
- Les sources mixtes, dont le débit provient en proportion variable de la nappe profonde et de la nappe superficielle (Aïn Amellal, Aïn Ghara, Aïn Jouaou...). Leur émergence est généralement liée à la présence de failles ou de flexures (K. Belhassan, 2011).

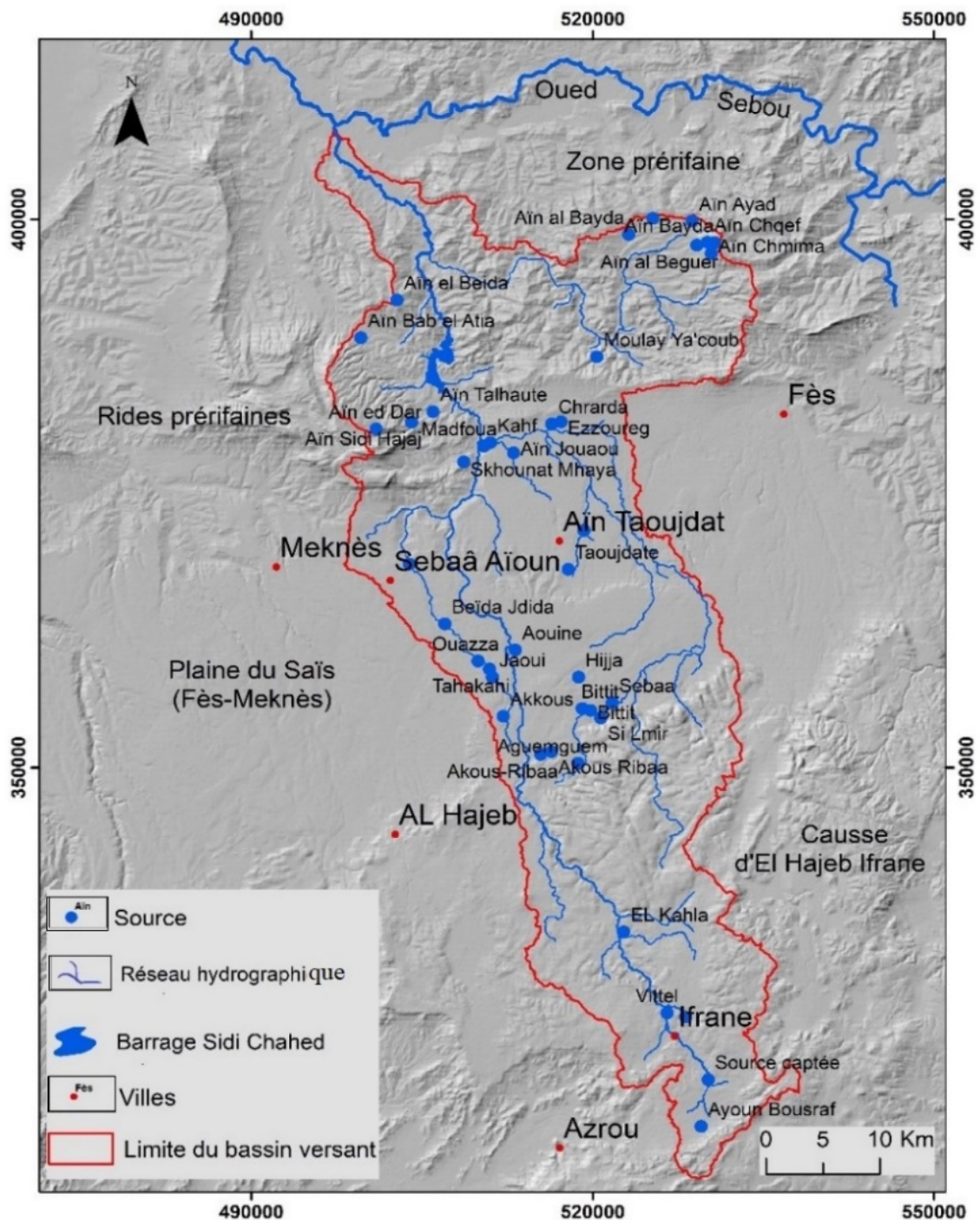


Figure 2.28 : la carte de la répartition des principales sources dans le bassin versant de Mikkès
(D'après les cartes topographiques ;Ifrane 1942, Fès Ouest 1972,Aïn Taoujdate 1943, Bni
Ammar1967, Sbâa Aïoun 1974 à échelle 1/50000.)

Conclusion

L'étude des conditions climatiques de la zone d'étude a mis en évidence une forte variabilité spatio-temporelle, interannuelle et inter-saisonnière des précipitations et une forte dissemblance spatiale entre l'amont et l'aval du bassin de Mikkès. Les variations annuelles et

saisonniers révèlent une alternance irrégulière de périodes humides et de périodes sèches, tandis que l'analyse de la répartition des précipitations montre que la zone du causse reçoit le maximum des précipitations en comparaison avec le Saïs et le Prérif. Les quantités importantes des précipitations hivernales et printanières assurent les écoulements de l'Oued et ses crues. Elles alimentent aussi les nappes hydrogéologiques karstiques et basaltiques, favorisant en conséquence, le jaillissement des sources qui alimentent Oued Mikkès et soutiennent ses étiages.

Le fonctionnement hydrologique naturel de l'Oued Mikkès est complexe, puisqu'il est étroitement lié à l'effet combiné des conditions climatiques et principalement les précipitations, et de l'influence de la nature lithologique des terrains du bassin versant. Il s'agit d'un régime pluvial très irrégulier influencé par les eaux de fonte des neiges d'hiver. L'importance et la fréquence des crues sont très variables selon les années, en fonction des précipitations ; les apports de la nappe hydrogéologique karstique d'origine moyen atlasique jouent un grand rôle puisqu'ils assurent la pérennité de l'oued, notamment dans la zone du causse.

L'examen des données hydrologiques de la station Sidi Echahed, située dans la portion aval, montre que le débit de l'Oued Mikkès, connaît des alternances saisonnières et interannuelles importantes, ce qui reflète l'irrégularité des précipitations au niveau de la zone d'étude. Les débits moyens mensuels les plus importants sont enregistrés entre Février et Avril (saison hivernal). En général, on peut dire qu'il existe une liaison étroite à l'échelle mensuelle et annuelle entre les précipitations et le régime de l'oued, puisque les précipitations sont le facteur essentiel qui conditionne les régimes hydrologiques.

L'influence anthropique sur le fonctionnement hydrologique de l'Oued Mikkès est évidente le long de l'oued, que ce soit dans le causse, le Saïs ou le Prérif. Alors que depuis 1996, le barrage de Sidi Echahed constitue un impact majeur, modifiant le rythme hydrologique naturel à son aval.

Après avoir exposé les principales caractéristiques hydroclimatiques du bassin versant du Mikkès dans les trois domaines morphostructuraux du bassin versant (causse, Saïs et Prérif), dans les chapitres suivants on va aborder l'analyse des caractéristiques morphosédimentaires résultant du fonctionnement hydrologique de l'oued et leurs significations hydrodynamiques dans différents tronçons de la vallée.

Chapitre 3 :

Morpho-dynamique fluviale du Haut Mikkès (Oued Tizguit) dans le causse moyen atlasique

Introduction

- 1.- Les contextes géologique et géomorphologique et morphologie de la vallée de Tizguit**
- 2.- La plaine alluviale de l'Oued Tizguit**
- 3.- Le lit fluvial de l'Oued Tizguit**
- 4.- Typologie des berges, ripisylves**
- 5.- Etude diachronique**

Conclusion

Introduction

Après avoir caractérisé les conditions climatiques, hydrographiques et hydrologiques du bassin versant du Mikkès dans le chapitre précédent, le présent chapitre aborde la question de la géomorphologie fluviale de l'Oued Mikkès à l'échelle du tronçon. Il est consacré à l'étude des caractéristiques morphologiques et sédimentaires du tronçon amont de l'Oued Mikkès qui prend la nomination de l'Oued Tizguit.

Comme nous l'avons montré dans le chapitre premier cette partie du bassin versant se situe essentiellement au Moyen Atlas central septentrional, dans la province d'Ifrane ; elle évolue dans un contexte géologique carbonaté karstifié, avec dominance des terrains de dolomies et calcaires du Lias, recouverts localement d'épanchements basaltiques quaternaires.

L'étude à l'échelle du tronçon, abordée dans ce chapitre, consiste à faire une analyse géologique et géomorphologique des terrains encaissants de la vallée du Haut Mikkès (Oued Tizguit) et des aspects géométriques des versants (profils en travers, les pentes et les formes...). Ensuite, sera abordée l'étude du fond de la vallée et de la plaine alluviale (description morphologique, mesures morphométriques, étude de coupes et analyses des sédiments).

L'analyse abordera par la suite le lit de l'oued et s'intéressera à son style morphologique, ses unités hydromorphologiques, ses sédiments et ses berges et la ripisylve associée. Une étude diachronique est effectuée pour déterminer l'évolution spatiale du chenal durant les 5 dernières décennies et du fond de vallée (la largeur et la pente longitudinale). L'étude consiste également à suivre l'évolution de l'ajustement morphologique récent du lit de Tizguit dans certains secteurs, à partir d'une étude diachronique qui se basera sur l'interprétation des photographies aériennes et des images satellitaires.

Notre étude dans ce chapitre se base essentiellement sur le travail de terrain. La caractérisation du matériel alluvial est réalisée in situ sur le terrain (fraction grossières) et au laboratoire (fractions fines) et sur les cartes topographiques et géologiques aux échelles 1/50000 et 1/100000 (feuilles d'El Hajeb et Ifrane), sur la photo aérienne à échelle 1/20 000 (1962) et les images satellitaires Google Earth (2021) et Sas Planet (2017).

1.- Contextes géologique et géomorphologique et morphologie de la vallée

1.1.- Contextes géologique et géomorphologique

Le bassin versant de l'Oued Tizguit draine les causses d'El Hajeb-Ifrane et d'Imouzzer. Il est constitué des dolomies et calcaires d'âge liasique à structure tabulaire (fig.3.1). Le Lias couvre en effet presque toute la surface du causse moyen atlasique et repose en concordance sur le

Permo-Trias. À la base, le Lias inférieur est caractérisé d'abord par des dolomies peu résistantes, fractionnées et concassées, ou très altérées fournissant le faciès des dolomies sableuses. De façon moins générale, la dolomie se présente ensuite, en bancs donnant des abrupts discontinus. Ce Lias inférieur est surtout représenté au Sud et au Nord-ouest du bassin versant (B. Lepoutre et *al.* 1970).

Sur les versants de rive ouest de la vallée, des épanchements volcaniques quaternaires, couvrent partiellement les terrains carbonatés. Ce sont des basaltes alcalins issus des volcans du Jbel Outgui (1431 m) et Jbel Koudiat (1783 m) situés aux environs de la ville d'Ifrane. Ils sont datés d'un âge K-Ar de 1,5 +/- 0, 3Ma BP (C. Harmand et *al.*, 1984). Leurs épanchements descendent sur les versants ouest et le long du fond de vallée de Tizguit pour s'étendre plus loin au Nord jusqu'à la plaine du Saïs à moins de 800m d'altitude (J. Martin, 1981 ; L. Karrat, 1989). Les affleurements basaltiques se présentent en deux types :

- Recouvrements de plateaux et de versants carbonatés à faible pente dans le causse : ce type est le plus étendu à la périphérie des cônes pyroclastiques. La surface des basaltes, assez plane, est constituée de blocs durs, arrondis de taille pluri-décimétrique, épars dans une terre rougeâtre.
- Comblement du fond des vallées de Tizguit et de ses affluents dans le causse. Dans ce cas la surface chaotique des basaltes, est épisodiquement démantelée par l'écoulement fluvial.

D'autre part, le causse moyen atlasique est le siège d'une activité néotectonique. Il est affecté par plusieurs failles qui montrent des mouvements néogènes et quaternaires. Les principales déformations observées sont variées : failles, plis, flexures, gauchissements (J. Martin, 1981 ; B. Fedan et G. Thomas, 1986 ; A. Charrière, 1990).

Sur le plan géomorphologique, la plupart des terrains du bassin versant sont carbonatés, ce qui est traduit par le développement de la karstification, de cascades de cours d'eau et des concrétions travertineuses. Cependant, la disposition structurale des terrains n'influence pas directement le tracé du cours d'eau, qui est indifférent à la structure et recoupe plusieurs ondulations du causse. D'autre part, la nature lithologique de différentes formations du bassin influence directement sur les phénomènes hydrologiques. La prédominance des terrains calcaires faillés et fracturés a favorisé les résurgences des aquifères karstiques qui assurent la pérennité des écoulements même pendant les périodes de sécheresse les plus sévères. C'est ainsi qu'elles favorisent une sédimentation principalement travertineuse le long du lit de l'oued. (A. Taous et *al.* 2020 ; H. Achiban, 2021).

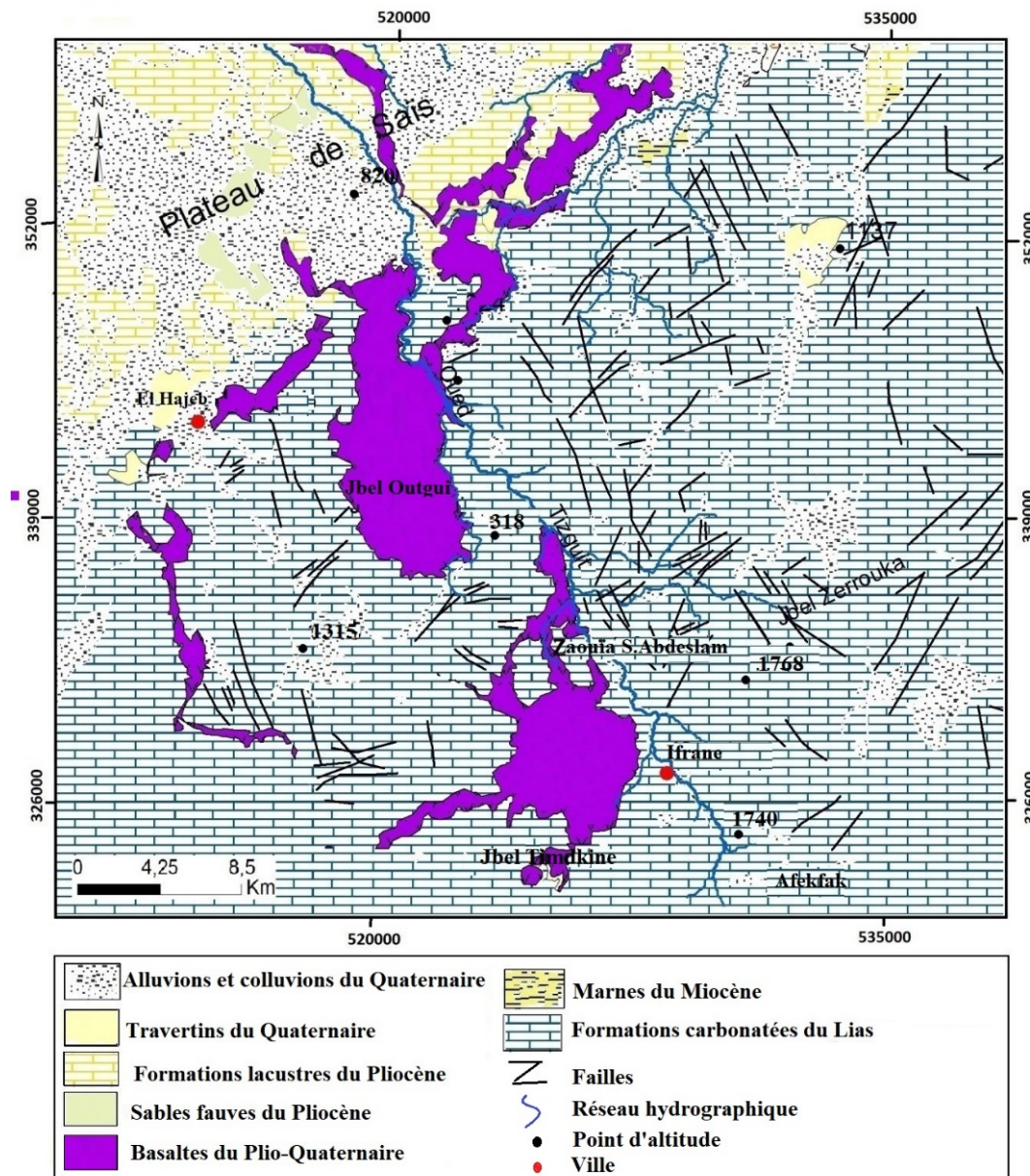


Figure 3. 1 : croquis géologique et géomorphologique simplifié du bassin versant de Tizguit
(Extrait des cartes géologiques d'El Hajeb 1943 à échelle 1/100000)

1.2.- Morphologie de la vallée de Tizguit

La vallée de Tizguit constitue la limite, Sud-sud-est et Nord-nord-ouest, entre le causse d'Imouzzet et le causse d'El-Hajeb. En dépit de la lave qui s'est fauillée dans le fond de la vallée, l'oued dessine un coude pour suivre une direction Sud-ouest et Nord-est en traçant une série de méandres dans des secteurs où la vallée est relativement large de 300 m à 600 m. Mais l'affleurement des roches de dureté variable perturbe cette disposition et crée une succession d'étranglements et d'élargissements.

La vallée se resserre parfois considérablement dans les roches dures au point de prendre l'allure de gorge comme c'est le cas au niveau du secteur de Larjem, à la sortie du causse.

Pour montrer les caractéristiques topographiques générales de la vallée du Tizguit et de ses versants, on a réalisé trois profils transversaux (fig.3.2 et fig. 3.3), qui représentent la forme des versants et du fond de vallée dans les secteurs amont, médian et aval de la zone d'étude.

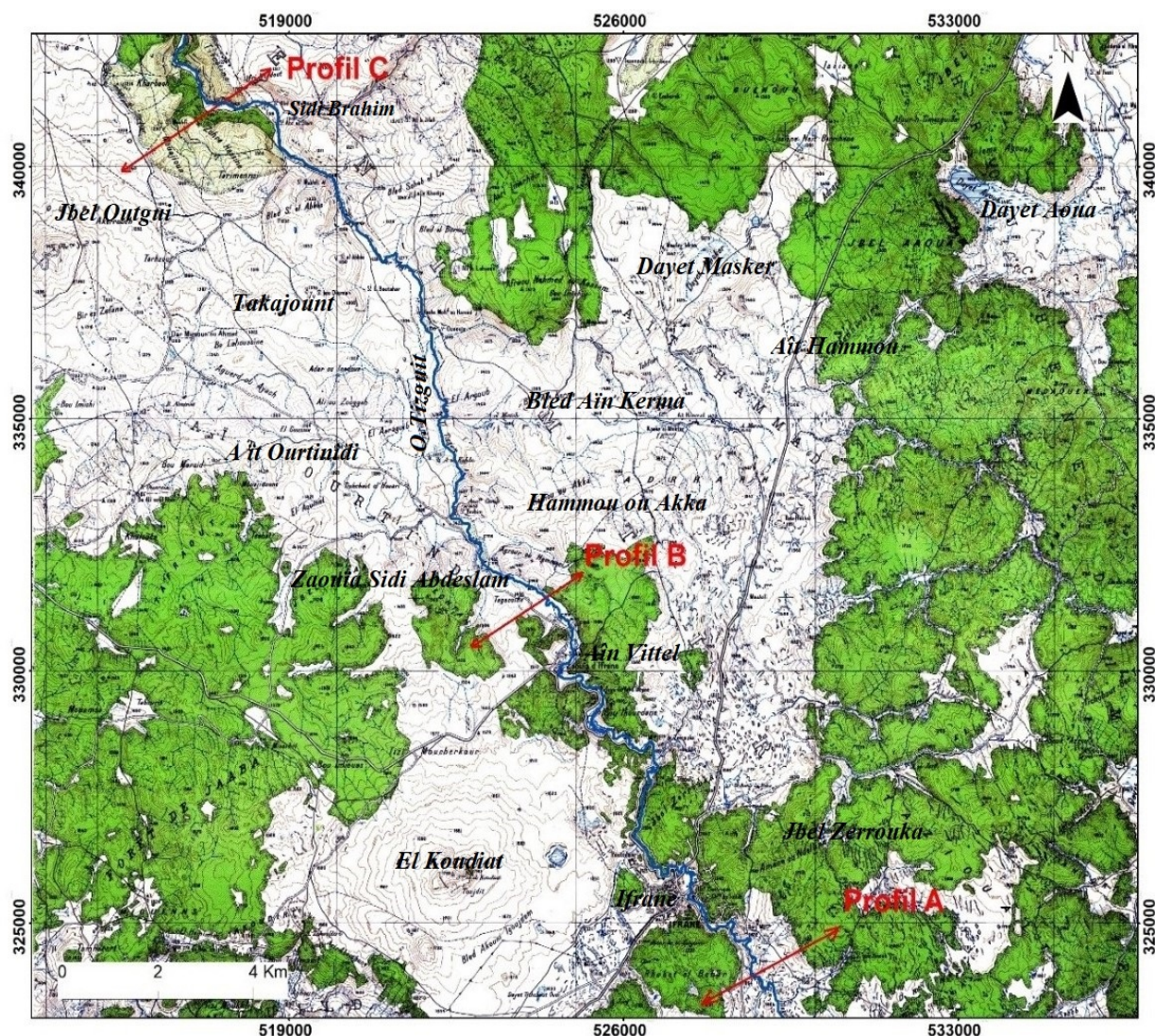


Figure 3. 2 : situation des profils en travers réalisés dans le secteur amont de la vallée l'Oued Tizguit
(Extrait de la carte topographique 1/50000, feuille Ifrane 1942).

Le profil A ($x : 528000$; $y : 322780$) est établi au Sud de la vallée, juste en amont de la ville d'Ifrane de quelques kilomètres. Ce profil montre une vallée à fond large, qui se situe à 1670 m d'altitude. Les versants ont des formes convexes. Sur la rive droite, le versant est plus étalé, culminant à 1750 m d'altitude, avec une pente 6,4%. Sur la rive gauche, le versant présente une rupture de pente bien visible dû à la présence des failles de direction Sud-sud-est et Nord-nord-ouest ; sa pente est de l'ordre de 7.5%.

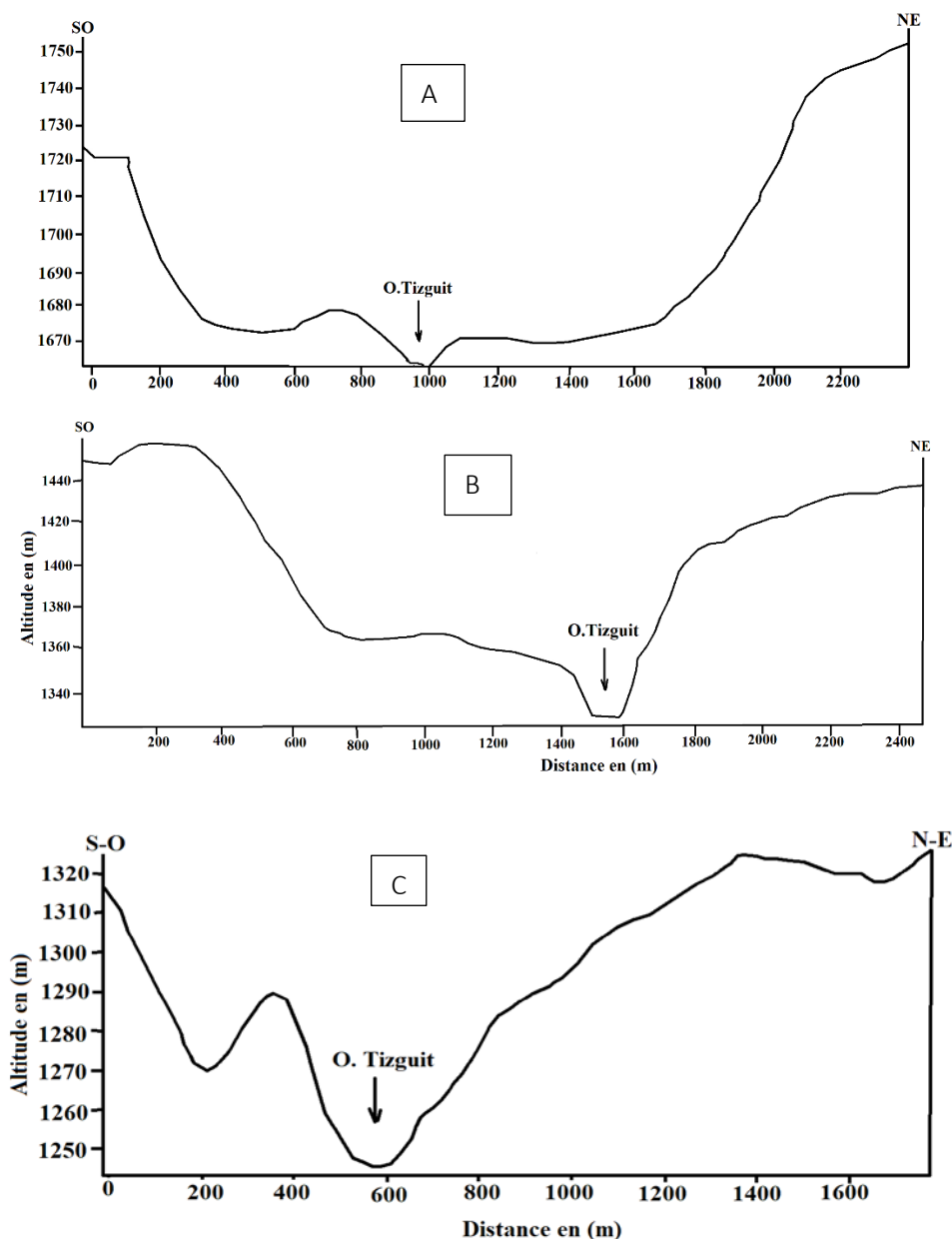


Figure 3.3 : profils topographiques en travers de la vallée de Tizguit
(d'après la carte topographique 1/50000, feuille Ifrane 1942)

Le profil B ($x : 524456$; $y : 331108$) est effectué au Sud du village de Zaouïa Sidi Abdselam ; ici la vallée est relativement large de près de 200 m, son fond se trouve à 1670 m d'altitude (pl.ph.3.1. b). Les versants sont relativement asymétriques : le versant gauche est long et marqué par une rupture qui correspond aux accumulations chaotiques des épanchements volcaniques du Quaternaire, avec une pente d'ordre 4,6 %. Au niveau de cette section Oued Tizguit incise le basalte des versants gauches au fond de vallée façonné dans les formations liasiques. Les alluvions de l'oued sont peu abondantes et discontinuent, elles sont constituées de blocs arrachés sur place au basalte et d'un matériau fin sablo-argileux brun rougeâtre.

Le profil C ($x : 517305$; $y : 342\ 058$) est situé vers l'aval, près de la cluse Larjem, vers la sortie du causse. Ici, la vallée se rétrécit davantage pour retrouver sa forme en V, avec un fond étroit, situé à 1600 m d'altitude. Le fond de la vallée est dominé par des versants abrupts en pente moyenne d'environ 18%. Au niveau de la bordure du causse, l'Oued Tizguit, au lieu de diriger vers la plaine marécageuse de Ribaa, il choisit de serpenter sur les basaltes en direction du Nord, avant d'entailler le rebord oriental du plateau travertineux de Bled-Tiniza, près de Bouderbala et rattrape la topographie plane du Saïs de Meknès.



- a) Près du barrage Tizguit (au voisinage de la ville d'Ifrane) (15/04/22).
- b) Au niveau du secteur Zaouiia Sidi Abdesslam. (15/04/22).
- c) Au voisinage du douar Sidi Brahim. (15/04/22)

Planche photos 3.1 : aspect du fond de vallée et des versants du tronçon de Tizguit.

2.- La plaine alluviale de l'Oued Tizguit

2.1.- Extension et morphologie

Au sein de ce tronçon amont, le fond de vallée de Tizguit est influencé par les conditions structurales du substratum encaissant (résistance des roches et tectonique), guidant la dynamique fluviale en favorisant l'élargissement ou le rétrécissement du lit majeur de l'oued ou plaine alluviale (fig. 3.4).

Les limites externes de cette unité morphologique, se matérialisent par des talus d'érosions sub-verticales de 2 m à 5 m. Ces talus sont façonnés directement dans les rebords des versants rocheux ou dans les colluvions et les éboulis grossiers qui les drapent. Ces limites, témoignent de

l'emprise des crues et des processus morphodynamiques anciens qui ont précédé la morphogenèse de son remplissage alluvial.

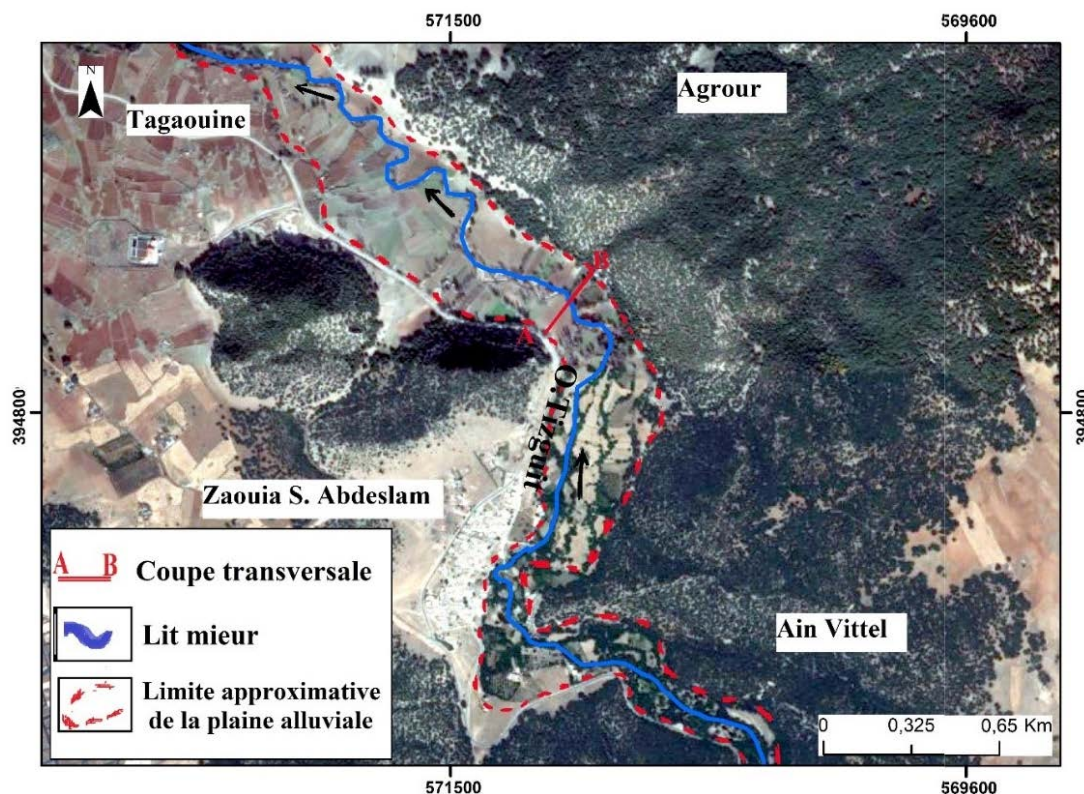


Figure : 3.4 : la plaine alluviale de l'Oued Tizguit dans le secteur de Zaouia de S. Abdeslam (D'après l'image Google Earth 2019).

La largeur de la plaine alluviale est variable d'amont à l'aval et montre la succession des segments élargis et d'autres rétrécis. Des mesures effectuées sur l'image Sas Planet de 2017 (fig.3.5), donnent des valeurs de largeurs qui varient de l'amont vers l'aval, fluctuant autour d'une médiane de 55 m. La valeur de la largeur minimale est de 12 m, alors que la valeur maximale atteint 645 m.

En fait, l'extrémité amont de l'oued, montre une plaine alluviale étroite avec une largeur ne dépasse pas 20 m, dès l'entrée de la ville d'Ifrane la plaine alluviale commence à s'élargir et atteint son maximum dans le secteur de Zaouia S. Abdeslam (650 m), (pl.ph.2.3). Vers la partie aval, la largeur de la plaine montre des variations et devient très faible dans le secteur des gorges de Larjem, où elle mesure moins de 60 m. Ici le lit majeur est envahi de gros blocs basaltiques ; ce qui témoigne d'une forte pente et d'un écoulement torrentiel à forte énergie.



Planche photos 3 .2 : aspect du lit majeur de Tizguit au niveau du Zaouïa Sidi Abdeslam. (15/04/22).

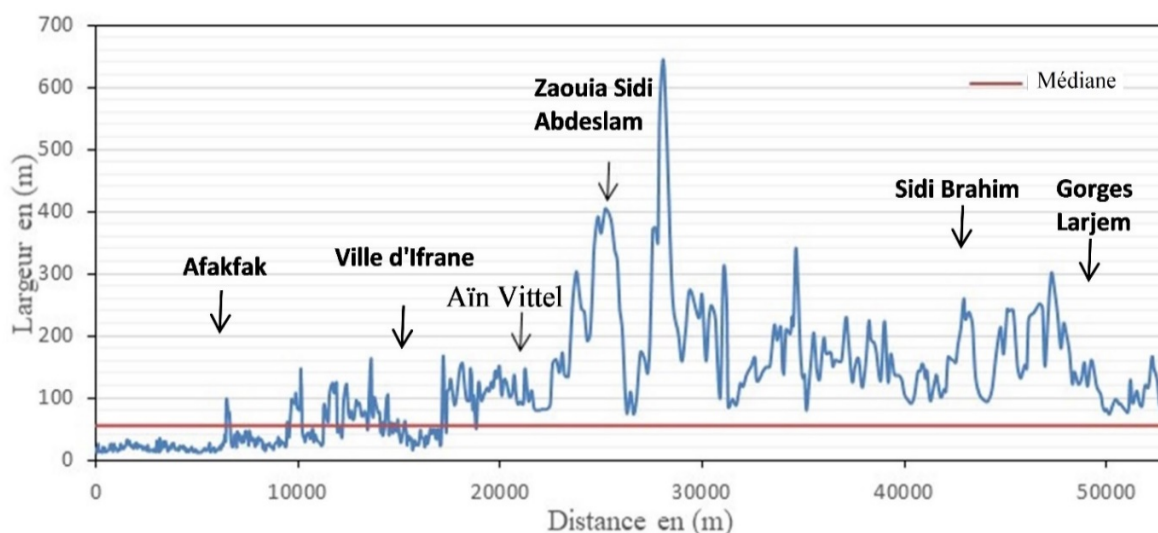


Figure 3.5 : variation de la largeur de la plaine alluviale de Tizguit entre Afekfak et les gorges de Larjem.

2.2.- Caractérisation sédimentologique

2.1.1- Organisation générale des dépôts

Le lit majeur est formé principalement d'alluvions grossières (passées de galets, graviers et sables, à forte proportion de limons et argiles et des travertins, le tout est coiffé par un recouvrement limoneux qui s'épaissit vers les rebords des versants.

La pétrographie des sédiments est essentiellement carbonatée en raison de l'abondance des terrains des dolomies et calcaires du causse moyen atlasique ; mais en aval d'Ifrane on observe également quelques galets basaltiques.

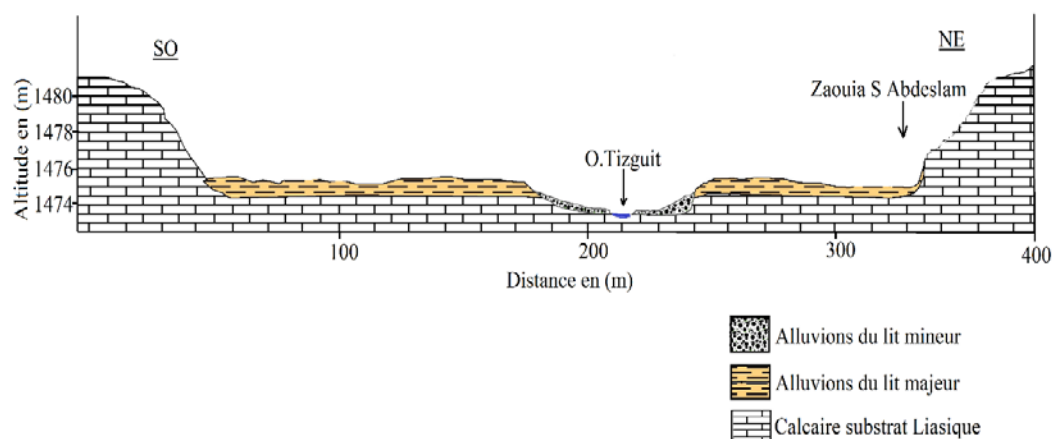


Figure 3.6 : coupe transversale schématique, montrant l'aspect général du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale de l'Oued Tizguit dans le secteur de Zaouïa S. Abdeslam.

2.2.2.- Description de la coupe -type et analyse des sédiments

a. - Description de la coupe -type

Pour mieux caractériser le remplissage sédimentaire de la plaine alluviale, nous avons étudié une coupe litho-stratigraphique représentative, choisie sur la rive droite de l'Oued Tizguit, près du village Zaouïa Sidi Abdeslam (X=525000 ; Y=330600). Cette coupe de 3,8m de puissance, montre la superposition de quatre niveaux sédimentaires de textures différentes, caractérisés par l'alternance de niveaux grossiers et d'autres fins, comme suivant (fig 3.7) :

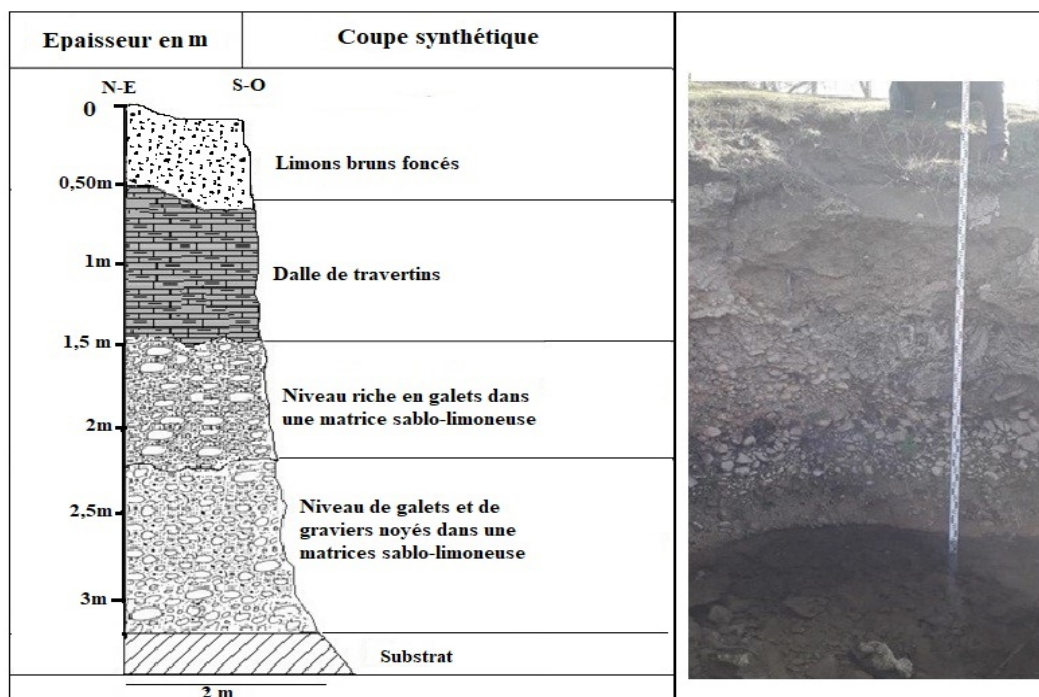


Figure 3.7 : coupe litho- stratigraphique dans les formations de la plaine alluviale à Zaouïa Sidi Abdeslam

- **Niveau 1 (E1) :** il correspond à des barres de galets et de graviers dans une matrice principalement sableuse. L'ensemble occupe 40 à 76 cm de l'épaisseur de la coupe. Les dépôts y sont très hétérométriques. La majorité des galets sont imbriqués, indiquant la direction Sud-nord de l'écoulement de mise en place.
- **Niveau 2 (E2) :** il s'agit d'une accumulation des graviers et galets, à matrice sablo-limoneuse. Cette unité présente un faciès comparable à celui de l'unité 1. Elle renferme des galets hétérométriques et des graviers, enrobés dans une matrice issue de l'altération des roches calcaires.
- **Niveau 3 (E3) :** il est formé d'une dalle travertineuse consolidée ; sa structure est massive, avec une couleur grise sans figures sédimentaires nettes ; son épaisseur occupe presque 1 m.
- **Niveau 4 (E4) :** c'est l'unité sommitale, formée de dépôts fins, et représentant des sédiments issus principalement du débordement et des versants voisins. Son épaisseur occupe presque l'un tiers de l'épaisseur de la coupe, soit 65 cm. Cette unité superficielle supporte un sol fertile, riche en trace de bioturbation des organismes vivants ainsi que de débris végétaux.

Notons qu'à l'affleurement, les sédiments présentent une coloration brune, avec l'abondance de la teinte brun pâle (10 YR 5/4), devenant brune jaune (10 YR 7/14) vers le haut. En effet, dans la partie supérieure de la coupe, les limons de débordement sont mélangés avec les apports latéraux locaux. Ces derniers sont issus de lessivage des sols et altérites des versants proches. En définitive, l'analyse des faciès à l'échelle de la coupe montre une succession d'accumulations contrastées. Chacune d'entre-elles, est liée à des conditions hydrodynamiques différentes reflétant la variation de l'écoulement de l'oued. L'évolution verticale de faciès est caractérisée par la diminution de l'énergie et de la compétence de l'écoulement du bas vers le sommet de la coupe. Ainsi, on passe d'un milieu turbulent de forte énergie lors des crues responsables de l'accumulation des niveaux grossiers, vers un milieu stagne responsable de la formation de la dalle travertineuse compacte, vers une succession de dépôt fins mis en place en lit majeur lors des débordements.

b.- Analyse des sédiments

L'analyse des sédiments a concerné des échantillons de la fraction grossière (granulométrie pétrographie, morphométrie) et de la fraction fine (granulométrie).

i). Analyse de la fraction grossière

. Granulométrie des galets

La granulométrie désigne l'étude de la fréquence des particules qui composent un ensemble sédimentaire, en fonction de leurs dimensions. Cette technique est surtout utilisée en vue de

retrouver les conditions hydrodynamiques qui ont précédé au dépôt des particules (J. Tricart et A. Cailleux, 1963 ; T. Mireille, 1969).

Dans notre cas, l'étude granulométrique des galets consiste à la mesure de diamètre (D) de 100 galets aléatoirement prélevés dans les niveaux grossiers E1 et E2. Les résultats obtenus sont présentés dans la (fig.3.8) et (tab.3.1). L'histogramme des classes de diamètres, montre une asymétrie de la distribution des classes de diamètres entre l'unité E1 et l'unité E2. En effet, l'unité E1 montre la dominance des classes qui oscillent entre 60 et 80 mm ; cette classe représente plus 32% de l'effectif de l'échantillon avec une médiane égale à 73 mm. Par contre on voit que dans l'unité E2 les classes 20-40 et 40-60 mm sont les plus représentatives. Ces deux classes montrent plus de 68% de l'effectif avec une médiane de 41 mm. Ces variations granulométriques traduisent des différences de compétence d'écoulement, plus puissant dans le cas du niveau E1 par comparaison à E2.

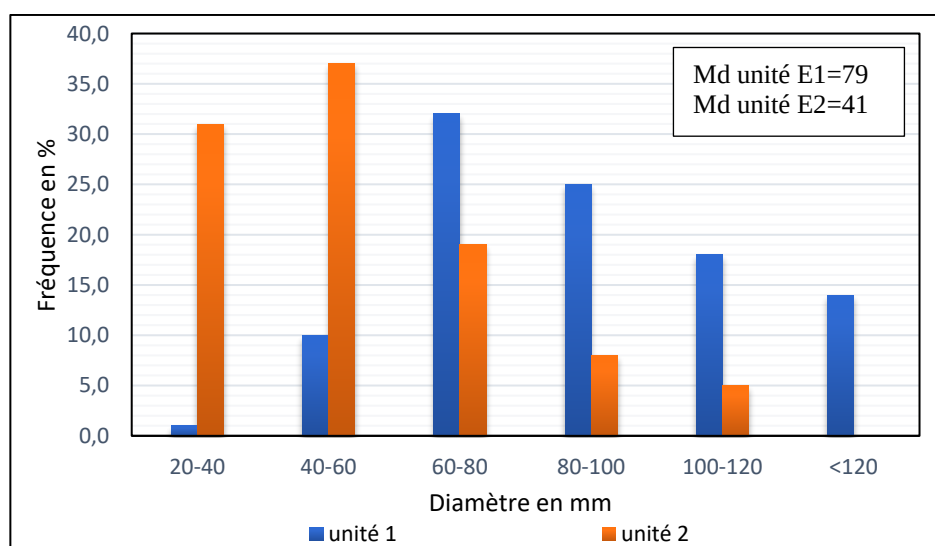


Figure 3.8 : histogrammes granulométriques des galets des niveaux E1 et E2 de la coupe Zaouïa Sidi Abdeslam ; Md = médiane

Paramètres granulométriques	Niveau E1	Niveau E2
Classe modale (mm)	60-80	40-60
Médiane D50 (en mm)	79	41
Diamètre maximal (mm)	192	114

Tableau 3.1 : paramètres granulométriques des galets des unités E1 et E2 de la coupe type à Zaouïa Sidi Abdeslam

. Pétrographie des galets

De façon générale l'objectif de la pétrographie des galets consiste à déterminer la provenance du matériel alluvial et de préciser la contribution des différentes zones nourricières du bassin versant (J. Tricart et A. Cailleux, 1963). L'inventaire pétrographique dans les galets des niveaux grossiers étudiés, consiste à distinguer au sein de 100 galets choisis de façon aléatoirement dans la classe granulométrique de diamètre 40-60 mm, les différentes espèces pétrographiques présentes. Les résultats obtenus sont exprimés en pourcentage sous forme de spectres pétrographiques (fig.3.9).

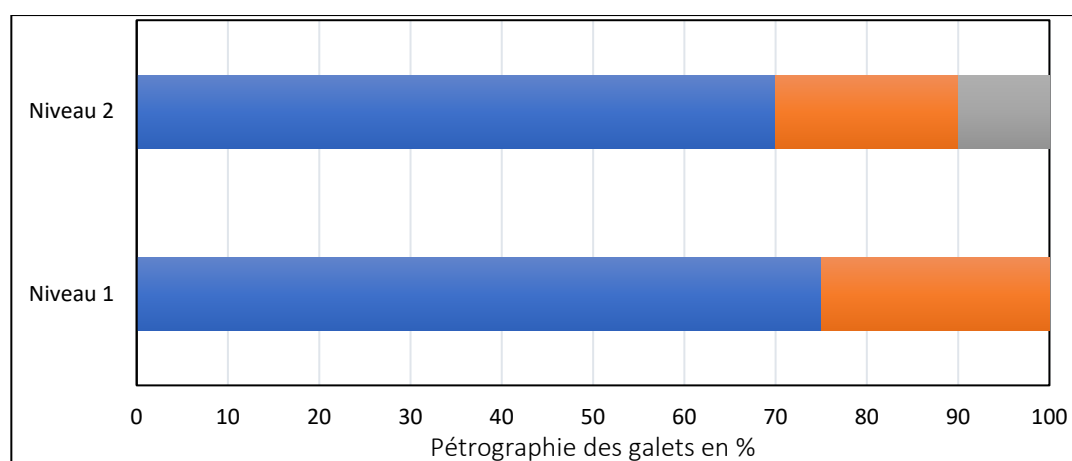


Figure 3.9 : spectres montrant la pétrographie des galets des niveaux E1 et E2 de la coupe Zaouïa Sidi Abdesslam

L'étude pétrographique de la fraction grossière de cette formation montre l'homogénéité de son spectre. En effet les mêmes espèces pétrographiques se rencontrent de la base et dans la deuxième unité de la coupe, avec la dominance des calcaires liasiques, qui représentent 75% pour l'unité 1 et 70% pour l'unité 2. Dans le deuxième ordre viennent les dolomies avec un pourcentage respectivement de 25 % et 20 %. Cependant les travertins apparaissent seulement dans le deuxième niveau où ils occupent 10%. En définitive, le cortège pétrographique de la coupe de l'Oued Tizguit est caractérisé par une domination des galets calcaires et dolomitiques. Dans l'ensemble, les résultats obtenus reflètent la pétrographie du bassin versant de Tizguit, où les calcaires et les dolomies sont à 30%.

. Morphométrie des galets

-. Rappel sur la méthode adoptée :

L'étude morphométrique des galets est importante pour comprendre les modes de mise en place des éléments sédimentaires et leur origine. Dans notre étude, nous avons utilisé les indices morphométriques proposés par A. Cailleux et J. Tricart (1963).

L'indice d'émoussé (IE) caractérise l'usure des sédiments. Il est contrôlé par la distance et les modalités du transport (IE croît avec la distance de transport), cet indice est généralement plus important dans les milieux fluviaux ; il est défini par la relation :

$$- IE = \frac{(2r \cdot 1000)}{L} \quad (r = \text{rayon de courbure}, L = \text{longueur du galet}), \text{ (fig.3.10).}$$

L'indice d'aplatissement donne des informations sur la forme générale du galet, il est contrôlé essentiellement par le débitage de la roche-mère et le trajet de transport. Il est plus important dans les galets issus des roches sédimentaires que ceux issus des roches cristallines (A. Saidi, 1988) ; il est défini comme suivant :

$$- IP = \frac{(L+l)}{2E} \quad (L = \text{longueur du galet}, l = \text{largeur}, E = \text{épaisseur})$$

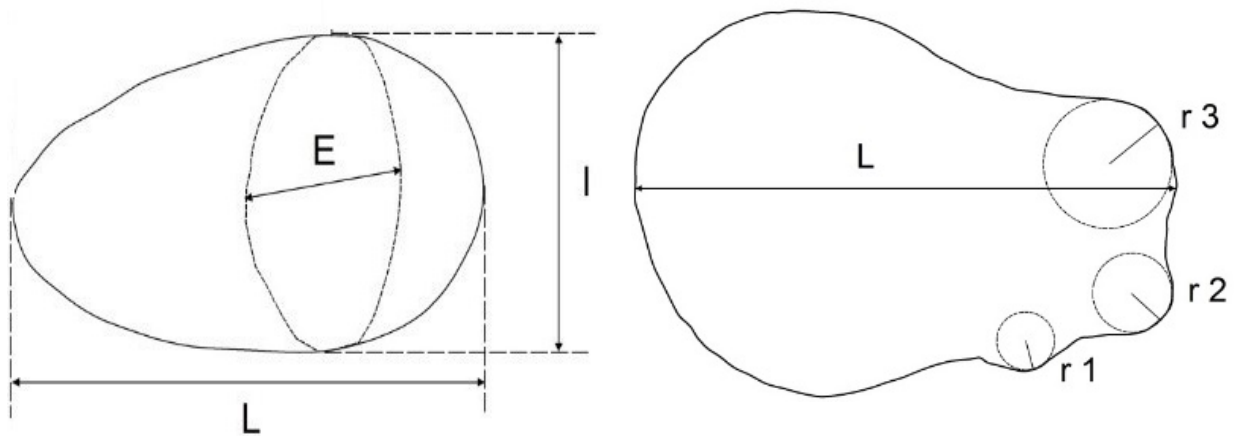


Figure 3.10 : dimensions caractéristiques des galets, selon la méthode de Cailleux (d'après A. Saidi, 1988) : (r1 : le plus petit rayon de courbure, r2 le suivant, etc)

. - Résultats

Les mesures ont été effectuées systématiquement comme pour l'analyse granulométrique et pétrographique sur 100 galets des niveaux E1 et E2. Les résultats obtenus montrent que les indices d'émoussés sont différents dans les niveaux E1 et E2 (fig.3.11. a). La classe la plus abondante (la classe modale) est 400-600mm pour le niveau1 et 200-400mm pour le niveau 2, avec des fréquences respectivement de 39% et 77%. Les médianes sont respectivement de 469 mm et 334 mm.

Ces résultats dévoilent que les galets sont peu émoussés. Les légères différences entre E1 et E2 peuvent être dues à des mobilisations de stocks détritiques différents de point de vue morphométrique.

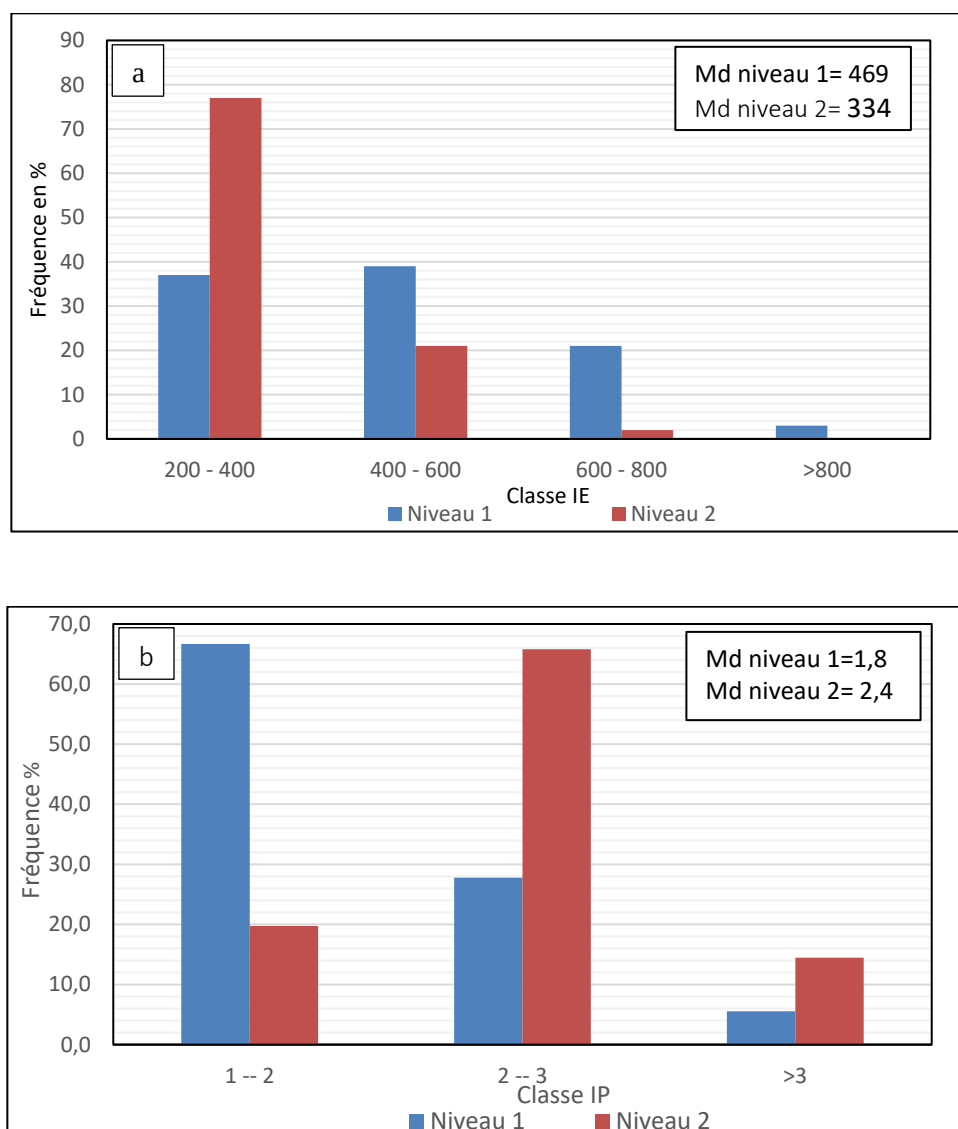


Figure 3.11 : indices d'émoussé et d'aplatissement des alluvions de la plaine alluviale de Tizguit. a) indice d'émoussé, b) indice d'aplatissement

Pour l'indice d'aplatissement (fig.3.11. b), le premier fait à noter est que les galets du niveau inférieur sont caractérisés par un indice d'aplatissement moins élevé par rapport au niveau 2. Ce qui est compatible avec les résultats des indices d'émoussés. En détail, le niveau 1 montre une forte concentration dans la première classe (1- 2) qui présente 66,7% ; pour le niveau 2, la classe la plus abondante est (2-3). Les médianes situées dans ces deux classes montrent une augmentation pour le niveau 2 qui enregistre 2,4 contre 1,4 dans le niveau 1.

Les différences d'aplatissement peuvent traduire des origines différentes du matériel détritique charrié par les crues de Tizguit. Le matériel du niveau 1 est plus évolué que celui du niveau 2, c'est-à-dire ayant subi un transport relativement plus long, puisque l'aplatissement y décroît. Ce qui est d'ailleurs compatible avec l'émoussé.

ii). Analyse granulométrique de la fraction fine**. - Méthode préconisée**

L'analyse granulométrique a concerné trois échantillons de sable, pris dans les niveaux E1, E2 et E4 de la coupe. On s'est limité à prendre la fraction qui est inférieure ou égale à 2 mm, comprenant les sables, limons et argiles, alors que la fraction de graviers et galets est abandonnée sur place. Au laboratoire, les échantillons sont lavés à l'eau douce dans un tamis de 0,05 mm pour éliminer les limons et les argiles puis séchés à l'étuve. La quantité des échantillons a été mesurée avant et après le lavage, pour déterminer la quantité des limons et argiles éliminées et celle des sables. Après, on a fait passer le sédiment sableux à travers une série de tamis de la colonne AFNOR. Chaque tamis retient une quantité de sédiments (refus de tamis). Les valeurs sont par la suite notées dans des feuilles de calcul comportant les mailles des tamis, la masse des refus et le pourcentage des refus. Par la suite, les résultats font l'objet de représentation graphique en courbes cumulatives construites sur une échelle semi – logarithmique, avec en abscisse la valeur logarithmique mailles de tamis et en ordonnées arithmétiques le pourcentage des tamis calculés à partir des refus cumulés.

La courbe cumulative utilise les pourcentages cumulés, elle montre la forme de la distribution des grains de sable et permet de juger du bon ou mauvais tri et classement (J. Mercier, 2013). D'autre part, différents indices sont utilisés ; ils permettent de caractériser de manière chiffrée les résultats d'une analyse granulométrique, notamment à partir de la courbe granulométrique cumulative. Le quartile 1 (Q1) est la valeur du diamètre à 25 % de la courbe, la médiane (Md) est la valeur du diamètre à 50 % de la courbe, le quartile 3 (Q3) est la valeur du diamètre à 75 % de la courbe. Ces derniers ont servi dans le calcul des paramètres et indices granulométriques suivants :

- **Indice de classement de Trask S_0** : cet indice indique la qualité du classement, plus il est élevé plus le classement est mauvais. Il est calculé par la formule suivante :

$$\frac{\sqrt{Q_{25}(mm)}}{Q_{75}(mm)}$$

- **L'indice d'asymétrie de Trask ou Skewness (Sk)** : il caractérise le degré de distorsion de la symétrie de la distribution des valeurs. Il s'agit en fait d'un paramètre qui reflète davantage le milieu de dépôt et les conditions de transport. Il est calculé par la formule suivante

$$\frac{Q_{25}(mm) * Q_{75}(mm)}{Q_{50}(mm)^2}$$

. - Résultats obtenus

Pour la teneur de la matrice en limons, l'analyse globale du sédiment montre des pourcentages faibles pour le premier niveau 25%. Par contre, les niveaux 2 et 4 montrent respectivement environ 23% et 65 % de limons contre seulement 40,73% et 35% de sables. Dans l'ensemble, les échantillons E2, E4 montrent l'abondance des sédiments fins et moyens, par rapport à l'échantillon E1 qui montre l'abondance des éléments grossiers (fig.3.12).

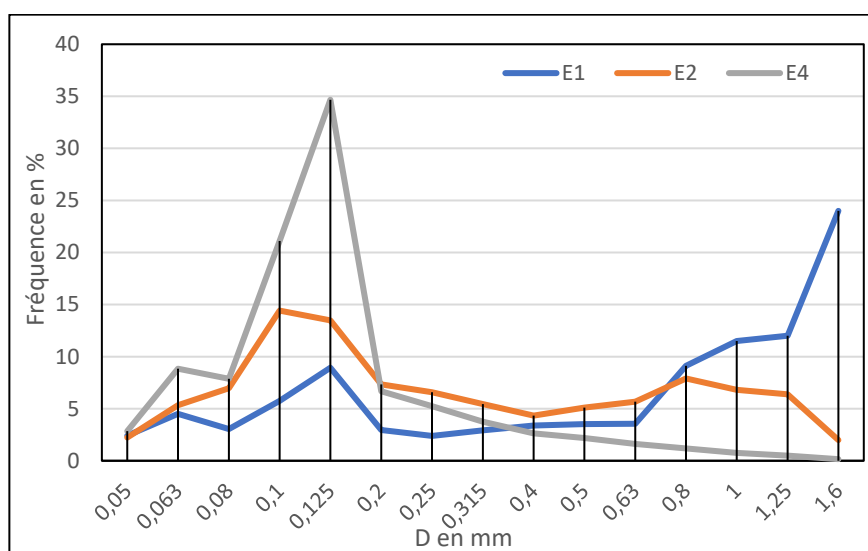


Figure 3.12 : courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe Zaouïa Sidi Abdeslam

Pour la deuxième analyse granulométrique destinée à la fraction sableuse, les résultats obtenus sont représentés sur les graphes ci-dessous (fig 3.13).

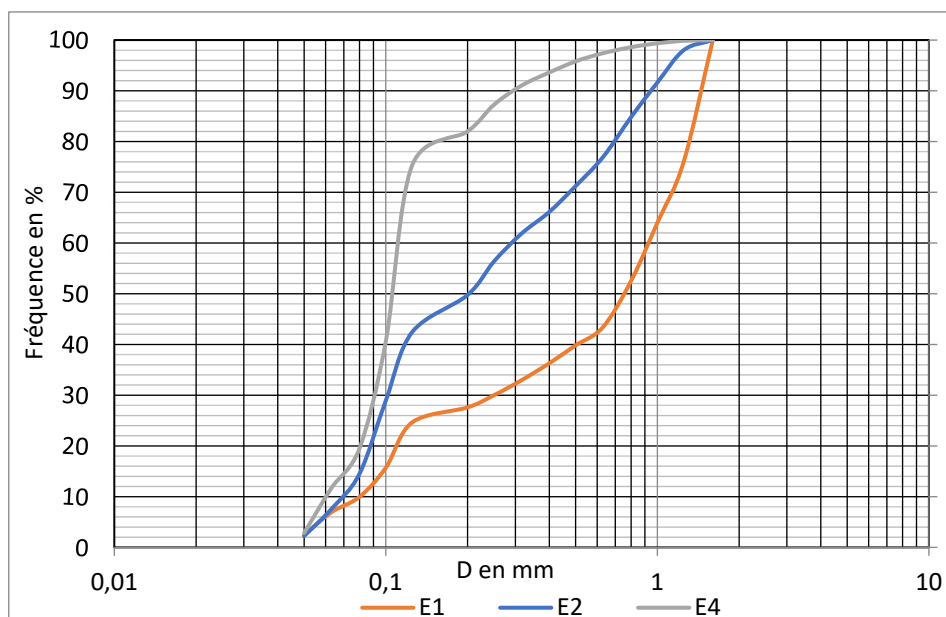


Figure 3.13 : les courbes cumulatives des sables de la coupe Zaouia Sidi Abdeslam.

Les courbes de fréquence cumulative montrent que les sables du niveau E1 présentent une allure parabolique orientée vers les classes grossières, pour les niveaux E2, et E4, elles montrent une allure orientée vers les petites classes. Ce qui montre que les sables sont de plus en plus bien classés du bas vers le haut de la coupe et que les niveaux E2 et E4 sont plus riches en fins.

Paramètres granulométriques	E1	E2	E4
Q1	0,14	0,1	0,09
Q2	0,8	0,2	0,1
Q3	1,5	0,41	0,13
Grain moyen (Mz)	0,86	0,36	0,14
Médiane (Md)	0,8	0,2	0,1
Classe modale (CM)	1,6	1,6	0,25
Indice de classement S0	0,30	0,49	0,83
Indice de classement SK	0,33	1,02	1,17

Tableau. 3.2 : valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons sableux

Selon les résultats obtenus (tab.3.2), les valeurs de la médiane, de la moyenne et le mode attestent la tendance grossière de niveau E1 ; en effet l'échantillon montre une moyenne de 0,86 mm, une médiane de 0,8 mm et une classe modale concentrée à 1,6 mm. Pour les deux échantillons (E2) et (E4), respectivement les valeurs de la moyenne sont de 0,36 mm et 0,14 mm, une médiane de 0,2 mm, et 0,1 mm et une classe modale de 1,6 mm et 0,25 mm. Ces valeurs indiquent que (E2) marque une tendance vers les classes moyennement fines, alors que les valeurs de (E4) confirment une tendance vers les classes plus fines. L'indice de Trask S0 atteste que les échantillons E1, E2 et E4 ont des valeurs inférieures à 2,5 mm ; ce qui renseigne sur un meilleur classement global des trois échantillons.

L'indice d'asymétrie SK prend une valeur positive pour les sables de l'unité 1 (0,33 mm), dont la valeur est inférieure à 1, ce qui indique un meilleur classement des particules fines. Quant aux deux autres échantillons E2 et E4, l'indice d'asymétrie calculé donne des valeurs supérieures à 1, ce qui renseigne sur le meilleur classement des particules.

Généralement, la granulométrie des sables dans les sédiments de la plaine alluviale de Tizguit, passe par des éléments grossiers à la base vers les fins au sommet ; l'étude des faciès sableux à l'échelle de la coupe montre que les unités étudiées sont généralement de plus en plus bien classées, en allant du bas vers le sommet de la coupe. Ce qui témoigne d'un environnement

fluviale plus ou moins agité et à forte énergie à la base, puis devient un milieu plus calme vers le sommet. La dalle de travertin qui apparaît sous les limons indique une modification dans les conditions de dépôt, marquées par l'arrêt du transit détritique et le développement de sédiments carbonatés biochimiques matérialisés par les concrétions travertineuses liées probablement à une migration du chenal actif de l'oued.

3.- Caractérisation morphosédimentaire du lit fluvial de l'Oued Tizguit

Le lit fluvial désigne le lit fonctionnel actuellement de l'Oued Tizguit ; il est encaissé dans la plaine alluviale et peut se décomposer localement en lit moyen et lit mineur. Le lit moyen est submergé temporairement en période de crues périodiques à l'échelle de l'année ou de quelques années, selon les séquences des précipitations. Le lit mineur désigne le chenal de l'écoulement ordinaire et d'étiage de Tizguit (pl.ph.3.3).



Planche photos 3.3: aspect du lit fluvial du tronçon de Tizguit. a) pris au niveau de Zaouia S. Abdeslam.
b) au niveau du Val d'Ifrane (15/04/2022)

3.1.- Caractéristiques générales et profil longitudinal

Le cours d'eau de Tizguit prend naissance en amont de la ville d'Ifrane dans le plateau d'Afekfak, à la source Termalat (1900m d'altitude) ; il a une longueur d'environ 55 km. Ce cours d'eau, normalement permanent, se comporte tout d'abord comme un simple torrent de montagne peu large et a matériel grossier, traçant des méandres de faible largeur. Puis, vers de la ville d'Ifrane, le cours d'eau commence à méandrer dans une plaine alluviale plus au moins large selon les secteurs (H. Achiban, 2021).

Le profil longitudinal de l'Oued Tizguit (fig.3.14), établi à partir de la carte topographique 1/50000 (feuille d'Ifrane), montre une pente moyenne forte de l'ordre de 1.72% et un dénivelé

dépassant 950 m. La variation du degré de pente du cours d'eau principal de l'Oued Tizguit est contrôlée par la lithologie et la fracturation du substrat.

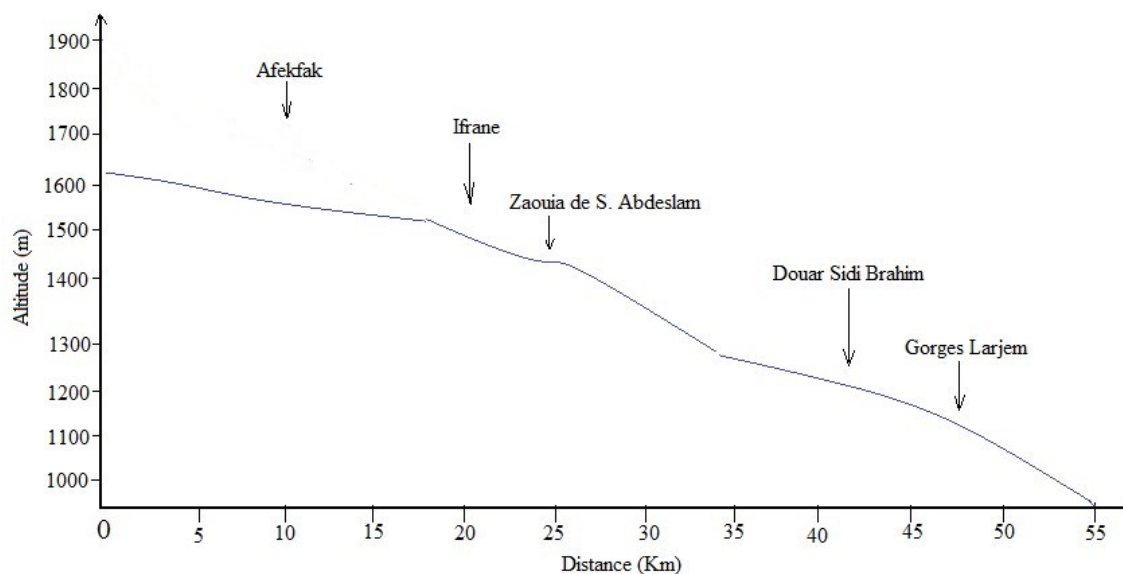


Figure 3. 14 : profil en long de l'Oued Tizguit (Extrait de la carte topographique 1/50000, feuille Ifrane 1942).

En effet, les facteurs de la lithologie et de la fracturation influencent largement la morphologie du lit et sur le profil, favorisant des sections rectilignes ou convexes à forte pente. Le profil longitudinal montre de nombreuses ruptures de pente soulignant l'encaissement inégal du cours d'eau. Cet encaissement irrégulier résulte de l'érosion régressive influencée par les failles et la lithologie des terrains traversés et leur karstification. Il en résulte une morphologie fluviale variée, avec succession de méandres à mouilles, des étangs et plans d'eau, des seuils et des petites cascades à travertins. (A. Taous et *al.* 2020).

3.2.- Le style morphologique de l'Oued

Nous rappelons que le style fluvial correspond à un ajustement morphodynamique du lit fluvial aux variables de contrôle qui sont résumées dans les débits liquides et les débits solides, et aussi le substrat géologique et la pente longitudinale (A. Schumm, 1977 ; J.P. Bravard et F. Petit, 1997 ; A. Taous, 2005). Le passage d'un style en un autre traduit donc l'ajustement du cours d'eau aux modifications de la nature lithologique du substratum encaissant, de la pente et des débits liquide et solide. En fait, l'état morphologique actuel de l'oued résulte d'une évolution géomorphologique quaternaire en relation avec la lithologie des terrains carbonatés karstifiés et fracturés. De manière générale l'Oued Tizguit présente un style sinueux à méandriforme, mais localement il peut montrer un style subrectiligne ou ramifié, ou avec cascades travertineuses. Cependant la méandration s'accroît progressivement depuis la ville d'Ifrane, où l'oued présente

une plaine alluviale relativement plus large, pour se jeter dans le lac artificiel d'Ifrane aménagé dans le Parc de la Prairie. En aval d'Ifrane le cours d'eau traverse une vallée rétrécie où il a subi des modifications dues à l'aménagement (fig.3.15).

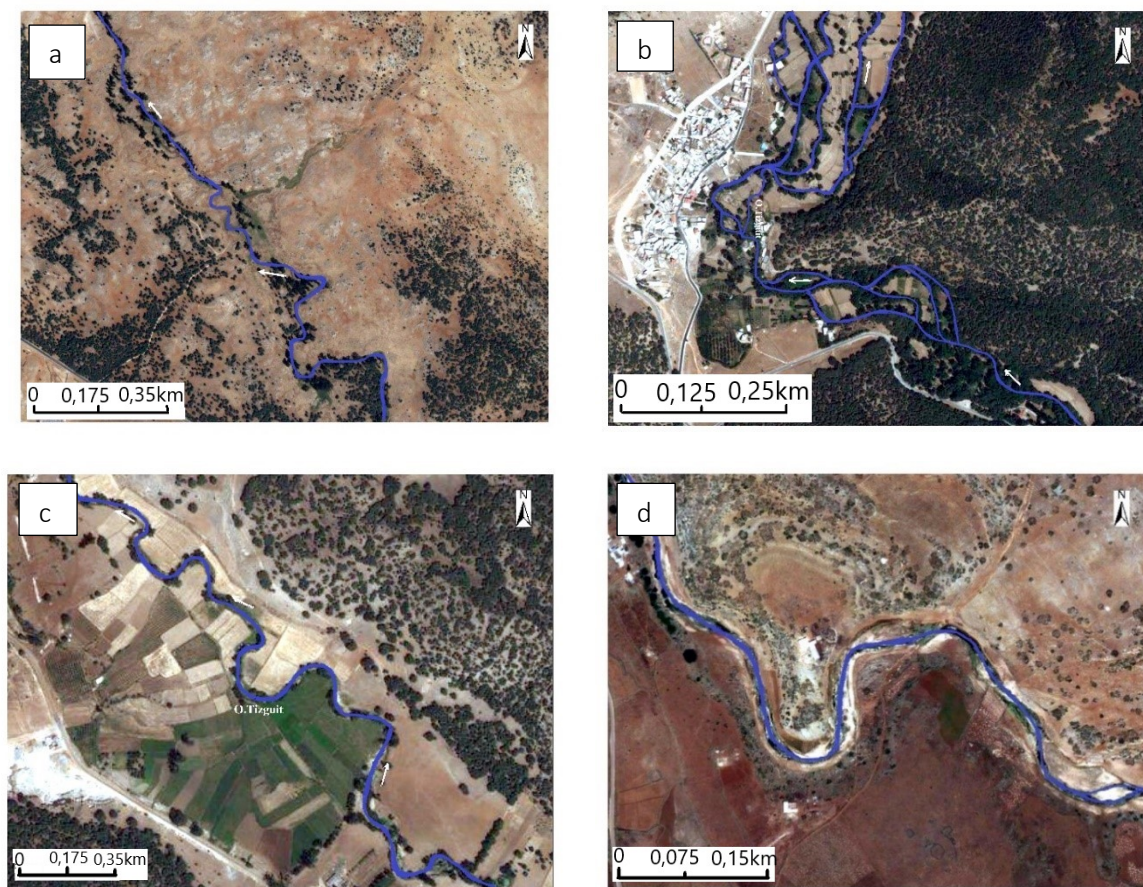


Figure 3. 15 : aspect des différents styles fluviaux observés au niveau de la vallée de Tizguit ; a : style subrectiligne observé en amont du barrage de Tizguit 1(image Google Earth 2018) ; b : style en tresses observées au niveau du secteur aval de la source Aïn Vittel (image Google Earth 2018) ; c : style méandrique observé dans la partie aval du village de Z.S. Abdesslam (image Google Earth 2018) ; d : des méandres encaissés dans le secteur amont des gorges Larjem (image Google Earth 2018).

Le cours d'eau s'engage ensuite dans la vallée large occupée par les travertins avec des chenaux montrant un tressage très développé dans des dalles travertineuses sur des faibles profondeurs, en suivant les fissures engendrées par les racines des arbres (ph. 3.1). En aval de ce secteur où le lit majeur devient plus large et envahi d'alluvions, les chenaux montrent un style méandrique avec des profondeurs qui varient entre 1m et 3 m, avant de s'encaisser profondément dans des secteurs aux fonds colmatés par des épanchements basaltiques quaternaires issus de Jbel Outgui et Jebel Koudiat. Dans le détail, le style morphologique du lit fluvial de Tizguit change suivant l'orientation et les directions préférentielles de la fracturation ;

sa forme élargie ou étroite, dépend de la résistance des terrains traversés. Le lit se matérialise aussi par la présence d'une succession de seuils et de mouilles et d'une sinuosité variable.



Photo 3.1 : dalle de travertin dans le lit de Tizguit en amont de Z.S. Abdeslam (Val d'Ifrane 15/04/21)

La géométrie du lit fonctionnel de l'oued change de l'amont vers l'aval. Les changements les plus marquants sont ceux rencontrés au niveau des boucles des méandres et des zones d'installation des aménagements hydrauliques. L'évolution amont aval des largeurs du lit de l'oued est montrée par des mesures établies sur des images géo-référenciées Sas Planet de 2020 (fig.3.16).

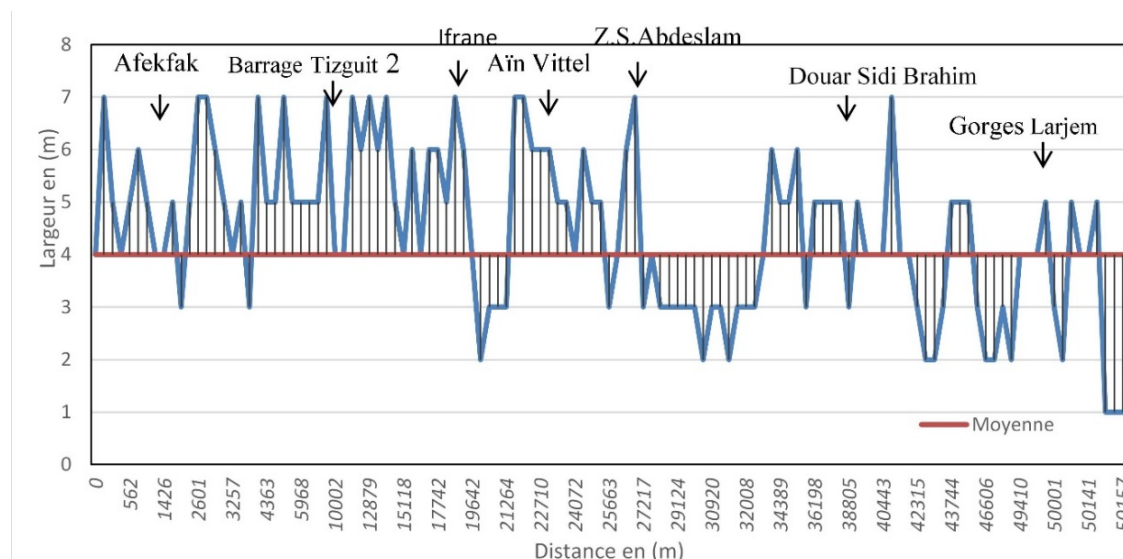


Figure 3.16 : répartition des valeurs de la largeur du lit de l'Oued du tronçon amont du Mikkès.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la largeur du lit de l'oued oscillent autour d'une moyenne de 8 m. Les valeurs extrêmes (minimales et maximales) correspondent

respectivement à 5 m et 15 m. Le lit montre une succession de secteurs rétrécis et d'autres élargis. Les secteurs larges correspondent souvent aux zones de courbures des méandres, alors que les secteurs les plus étroits correspondent aux parties rectilignes et encaissées du lit.

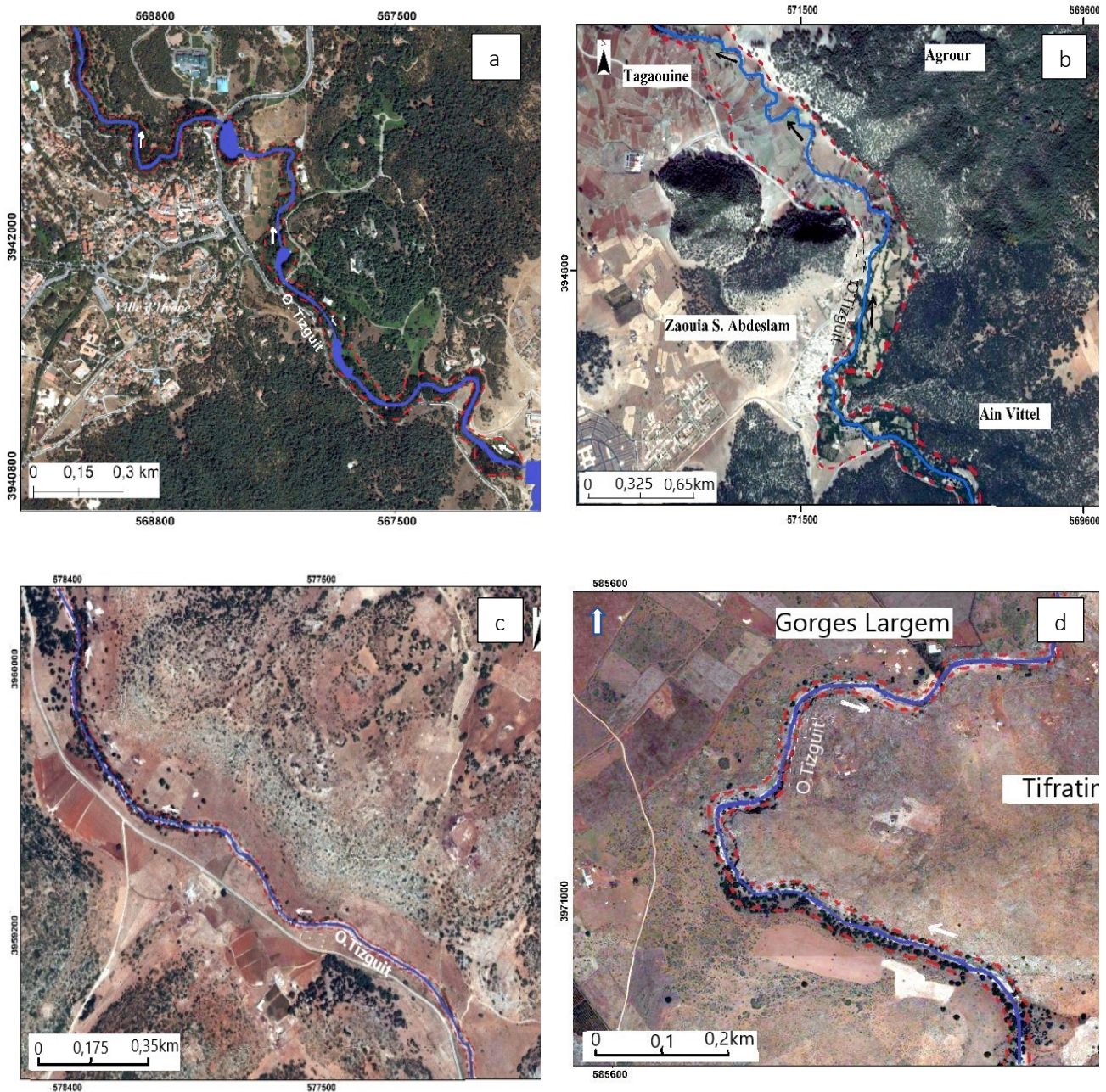


Figure 3.17 : images satellitaires (2018), montrant les aspects morphologiques et style de l'Oued de Tizguit en amont, la zone médiane et en aval du tronçon a : secteur amont de la zone urbaine d'Ifrane ; b : au niveau du village Z.S. Abdeslam, c : secteur amont des gorges Larjem ; d : au niveau des gorges Larjem).

3.3.- Caractéristiques des méandres

3.3.1. -Morphométrie des méandres

La morphométrie des méandres consiste à l'étude leur géométrie, en déterminant leurs principaux paramètres dimensionnels qui sont : la longueur d'onde λ , l'amplitude A et le rayon de courbure RC (fig 3.18).

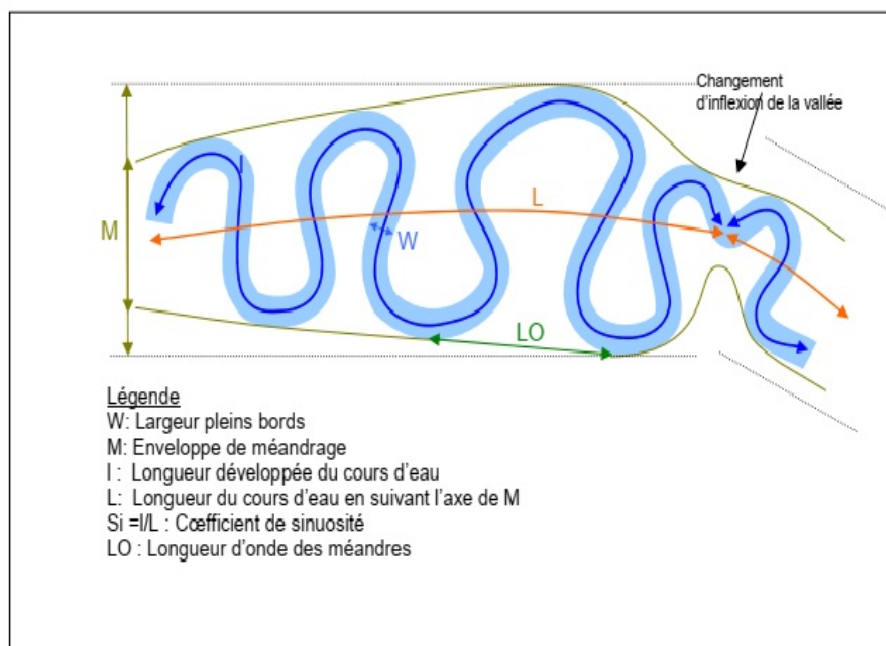


Figure 3.18 : éléments morphométriques de base d'un cours d'eau à méandres (d'après J.P. Bravard et F. Petit, 2000)

L'étude a porté sur le tracé en plan du chenal obtenu à partir des images satellitaires (Sas Planet 2017). Les résultats obtenus sont portés dans le tableau (tab 3.3). Ils montrent que la valeur de l'indice de sinuosité est de 1,55 ce qui correspond à un cours d'eau à méandres. La valeur maximale de la longueur d'onde atteint 1453m, alors que sa valeur minimale est près de 49m. La valeur moyenne est égale 315 m. En ce qui concerne l'amplitude des méandres, mesurée entre deux sommets de sinuosités de phase opposée, elle montre une valeur maximale de 1033 m alors que la valeur minimale est de 57 m, pour une valeur moyenne de 233 m.

Le rayon de courbure (R_c) est l'indicateur de la « maturité » d'un méandre et de sa dynamique probable d'érosion (L.P. Leopold et W.B. Langbein, 1962). Sa mesure se base sur un cercle ajouté sur deux points d'inflexion d'une sinuosité complète, ou en ajustant l'arc du cercle à la forme la plus proche de la sinuosité si le méandre est tortueux. De préférence la mesure de cette dimension doit se faire sur un tronçon homogène (J.R. Malavoi, 2010). La valeur maximale obtenue est 661m ; elle est mesurée en aval d'Ifrane au niveau de Zaouïa Sidi Abdeslam. Tandis que la valeur

minimale est 25 m, obtenue sur les bordures du causse en aval des gorges Larjem. La valeur moyenne du rayon de courbure pour le tronçon étudié est 113 m.

Longueur et sinuosité du cours d'eau	Longueur réelle (Km)	55
	distance horizontale	44,60
Sinuosité	Indice de sinuosité	1,55
Pente	Pente longitudinale	1.72%
Largeur du lit mineur	valeur maximale	7
	valeur minimale	1
	valeur moyenne	4
Longueur d'onde	valeur maximale	1453
	valeur minimale	49
	valeur moyenne	315
Amplitude	valeur maximale	1033
	valeur minimale	57
	valeur moyenne	233
Rayon de courbure	valeur maximale	661
	valeur minimale	25
	valeur moyenne	113

Tableau 3.3 : caractéristiques morphométriques du lit mineur de l'Oued Tizguit

3.4.- Les seuils et les mouilles

Nous rappelons que les cours d'eau méandriformes se caractérisent par la présence de mouilles et des seuils qui sont associés essentiellement aux méandres et se forment dans des endroits précis (A. Taous, 2005).

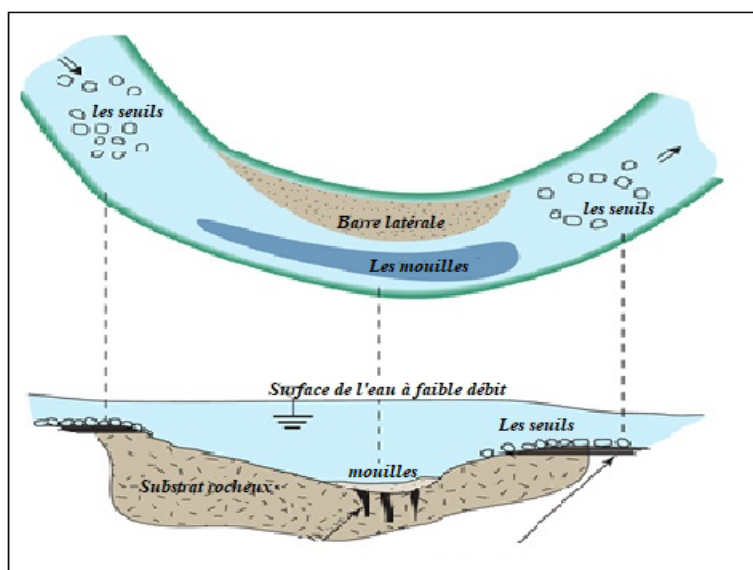


Figure 3.19 : représentation schématique illustrant l'agencement des unités morphologiques fondamentales dans un cours d'eau à méandres (d'après J.P. Bravard, 1994).

Les mouilles se localisent au pied des concavités, dans les boucles, alors que les seuils se développent dans les pieds d'inflexion. La convergence du flux au niveau des mouilles lors des crues favorise leur érosion et approfondissement, processus libérant et diffusant des éléments détritiques qui se déposent au niveau des seuils, zone de divergence du courant. C'est ainsi que les seuils prolongés vers l'aval par des dépôts des bancs latéraux. Lorsque les méandres sont bien développés, les bancs s'accroissent et constituent ce qu'on appelle des barres de méandres (J.P. Bravard, 1994). Dans le cas de l'Oued Tizguit, le chenal se caractérise par une succession de mouilles et de seuils qui sont des éléments morphologiques fondamentaux et interdépendants, ayant un grand rôle hydrodynamique le long du cours d'eau. L'exploitation des images satellitaires Google Earth (2019) nous a permis d'analyser la répartition spatiale de ces éléments morphologiques :

- Les seuils observés sont fortement végétalisés ; leurs tailles et leurs fréquences sont variables, mais globalement elles décroissent vers l'aval. En gros, ils s'étendent sur des longueurs variables entre 5 m et 12 m et sur des largeurs de 4 m à 6 m 5(fig.2.3).
- Les mouilles, sont moins fréquentes par rapport aux seuils et ils se localisent au pied des concavités dans les boucles des méandres. Leurs longueurs ne dépassent pas 7 m au maximum ; leurs largeurs varient entre 15 et 70 m. Des blocs sont présents en abondance tant dans les seuils que dans les mouilles et témoignent des apports liés à la dynamique de versant (écroulements) et de l'incapacité du cours d'eau à évacué les matériaux de grande taille.



Figure 3.20 : exemple de mouille et seuil dans le lit de Tizguit observé à l'amont des gorges Larjem (image Google Earth 2021). 1 : Rive concave ; 2 : Rive convexe.

3.4.1- Analyse des sédiments

Au sein des cours d'eau, le transport solide s'effectue en fonction de la vitesse des courants, de la pente et de la géométrie du lit, le déplacement des grains est dû à la force du courant. Selon ces conditions, la rivière adopte son profil d'équilibre.

L'apport en sédiments permet à la rivière de maintenir un certain équilibre entre transport et dépôt de la charge solide et cela en fonction de la variation des débits liquides et de la vitesse du courant (F. Nabit, 2014). L'analyse des sédiments d'un cours d'eau permet donc de caractériser leurs conditions hydrodynamiques de mise en place et leur origine probable.

3.4.2- Analyse de la fraction grossière

L'étude de la fraction grossière du lit de Tizguit, vise à apporter des renseignements sur l'hydrodynamisme responsable de la mise en place des dépôts sédimentaires du lit mineur, spécifier leur origine et reconstituer les conditions du transport et de dépôt. L'étude consiste à établir la répartition granulométrique des galets et d'effectuer leur analyse pétrographique et morphométrique. L'analyse granulométrique des galets du lit de Tizguit a été réalisée sur trois barres latérales :

- La première barre alluviale est située en rive gauche au niveau de Zaouïa Sidi Abdeslam aux coordonnées (X : 524785) ; (Y : 331082).
- La deuxième barre alluviale est placée au voisinage de Sidi Brahim aux coordonnées géographiques (X : 522001) ; (Y : 336859).
- La troisième barre alluviale, est située en amont des gorges Larjem aux coordonnées (X : 516669) ; (Y : 342109).

a.- Granulométrie des galets

L'étude granulométrique a été établie sur 100 galets, choisis aléatoirement dans les trois barres latérales. L'histogramme de fréquence (fig.3.21) montre que la classe 40-80 mm est la plus dominante avec 43% comme valeur minimale et 51% comme valeur maximale au niveau de cette classe. Les médianes (Md) enregistrent respectivement 74 mm et 61 mm 58,55 mm dans les trois barres. Malgré cette domination des petites classes, le taux des grandes classes reste toujours important (tab.3.4). La grossièreté des galets du lit de Tizguit, se manifeste aussi dans les valeurs des plus grands diamètres mesurés pour les galets des trois barres ; celles-ci correspondent à 176mm pour la barre latérale 1 et à 170 mm et 194 mm pour les barres 2 et 3. Il faut noter aussi que le lit de l'oued montre par endroits des blocs ayant des grands calibres. Les dimensions de 15 grands blocs inventoriés dans ces sites expriment des longueurs comprises entre 34 cm et 94

cm. Ces blocs sont issus sans doute par sapement des versants proches, sans que le courant de Tizguit puisse les transporter.

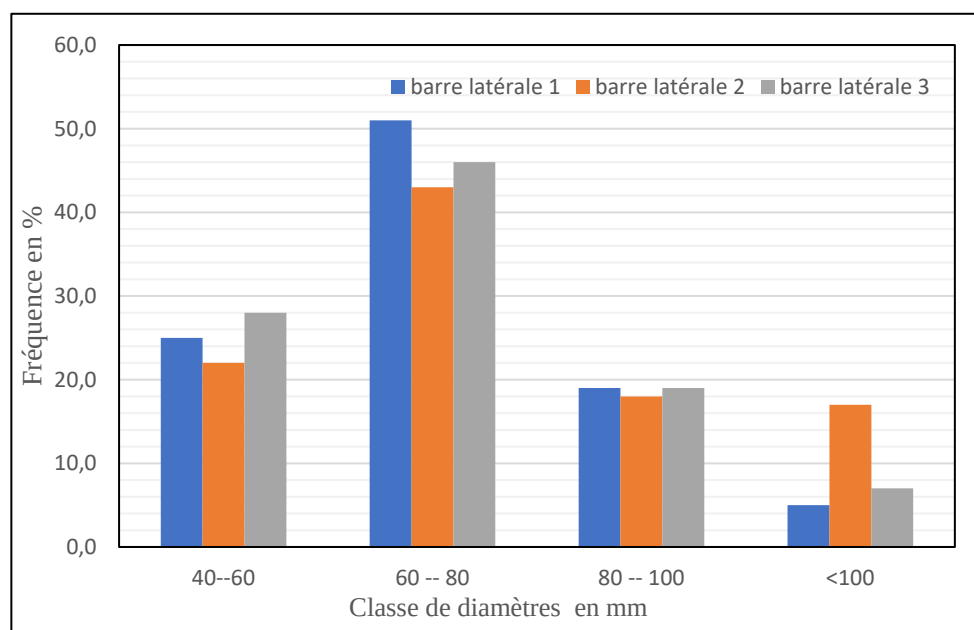


Figure 3.21 : granulométrie des galets des barres latérales de l'Oued Tizguit

Paramètres granulométriques	Barre latérale 1	Barre latérale 2	Barre latérale 3
Classe modale (mm)	60--80	60--80	60--80
Médiane (D 50)	74	61	58,55
Dmax (mm)	181	194	180

Tableau 3.4 : paramètres granulométriques des galets des trois barres alluviales étudiées

Le rapprochement de la répartition granulométrique des galets du lit mineur avec celles obtenus pour les niveaux E1 et E2 de la plaine alluviale, montre que les galets du lit mineur ont une classe modale égale à celle du niveau basal (60-80 mm). La ressemblance entre les gales de ces deux niveaux granulométriques s'observe aussi dans les fréquences des différentes classes des diamètres des galets. Sur le plan hydrodynamique, les résultats obtenus affirment des conditions hydrodynamiques agitées d'écoulement de crues.

b. - Pétrographie des galets

L'étude de la pétrographie des galets a été effectuée sur 100 galets dans une surface de 1 m² dans chaque barre choisie. Les résultats obtenus dévoilent 58% des galets de calcaires, et plus de 24% à des basaltes ; tandis que les autres pétrographies (travertins et dolomies) ne représentent qu'un pourcentage de 18% (fig. 3.22).

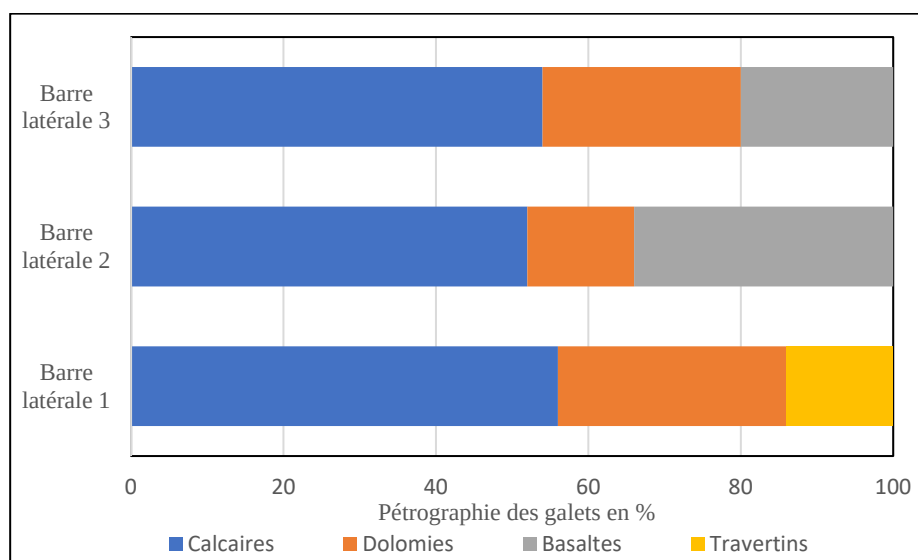


Figure 3.22 : diagramme montrant la pétrographie des galets des barres alluviales étudiées

De ce fait, on pense que la majeure partie des galets provient du substratum carbonaté du causse moyen atlasique. On enregistre donc que, comme pour la plaine alluviale, la composition pétrographique des galets du lit mineur de Tizguit traduit la lithologie du bassin versant.

c. - Morphométrie des galets

L'analyse morphométrique des galets appartenant à la classe de diamètres 60-80 mm, montre pour les indices d'éroulé des valeurs relativement faibles à moyennes (fig.3.23.a). Les valeurs sont concentrées dans les deux classes moyennes 300- 400 mm et 400-500 mm, ce qui dévoile une hétérogénéité des galets des sites étudiés et un assemblage des galets saillant et des galets éroulés et d'autres moyennement éroulés. Ceci est dû probablement à la mobilisation de sédiments de différentes sources nourricières, issus d'apports longitudinaux lointains et d'apports latéraux locaux. La même remarque est enregistrée au niveau des classes d'indice d'aplatissement ; (fig.3.23. b) en effet, la classe la plus représentative pour les barres latérales 1 et 2 oscille entre 2 mm et 3 mm, par contre la barre latérale 3 montre des indices concentrés dans la classe 1-2 mm. Généralement, les galets examinés apparaissent moins aplatis ; puisque plus de 96% des galets à inférieurs à 3. Les médianes montrent des valeurs différentes pour les trois barres, respectivement : 2,3 mm ; 2 mm et 1,7 mm.

L'analyse morphométrique des galets, témoigne l'importance des apports proximaux, issus des versants carbonatés bordiers, dans la fourniture de la charge solide de ce tronçon. C'est ainsi que, par sa situation proche des versants encaissants, aux pieds des reliefs calcaires abrupts, le lit de Tizguit reçoit des apports hétérogènes où dominent les apports latéraux.

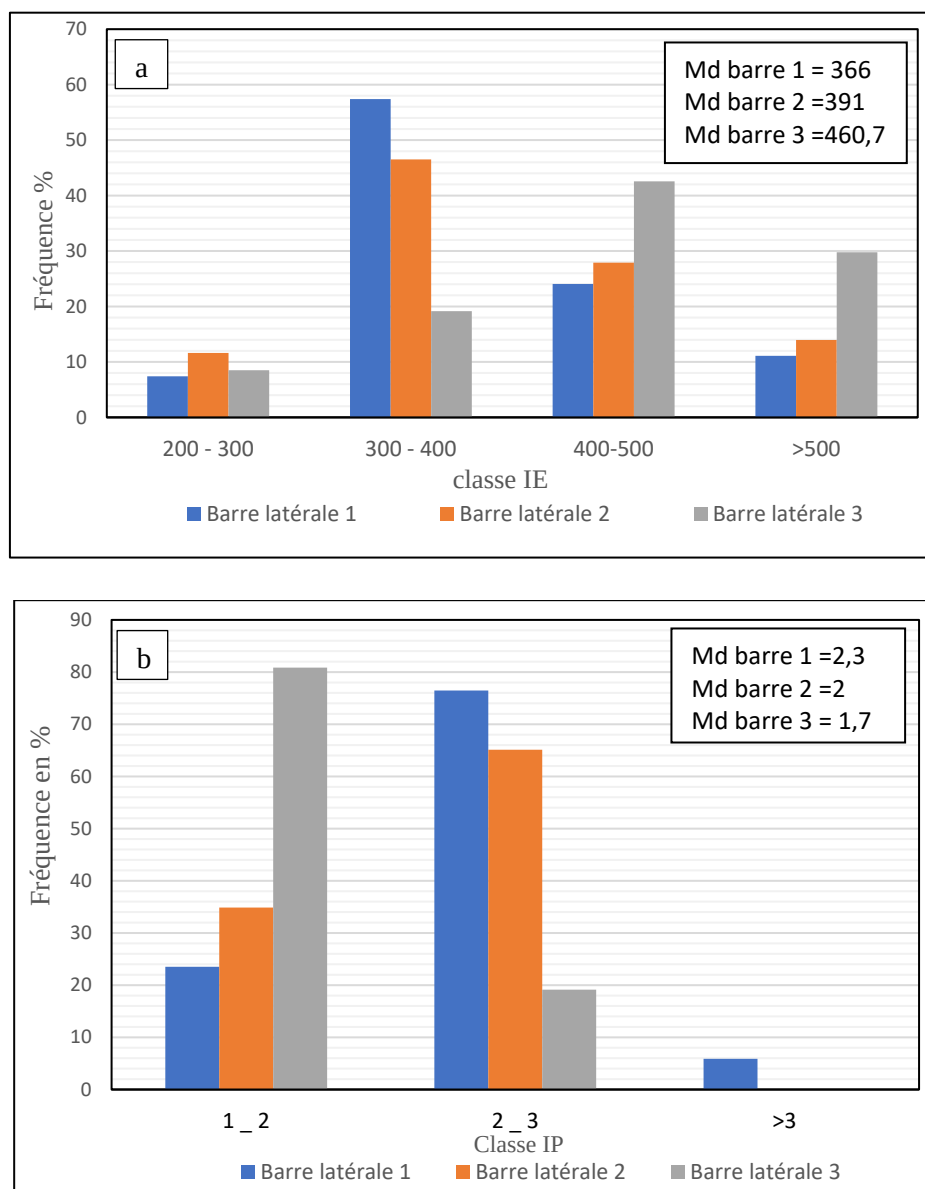


Figure 3.23 : histogrammes des indices morphométriques : a) -histogramme d'indice d'éroussé, b) - histogramme d'indice d'aplatissement

3.4.2.- Analyse granulométrique des fractions fines

L'analyse granulométrique des sables du lit de Tizguit a été réalisée sur des sables pris des mêmes barres latérales citées précédemment. L'analyse granulométrique de 100g de la fraction sableuse pour chacun des trois échantillons montre des textures moyennement grossières formées

respectivement de 48 %, 55% et 58% des classes sableuses grossières, de 35 %, 1% et 27% des classes moyennes et de 17 %, 28 % et 15% des classes fines.

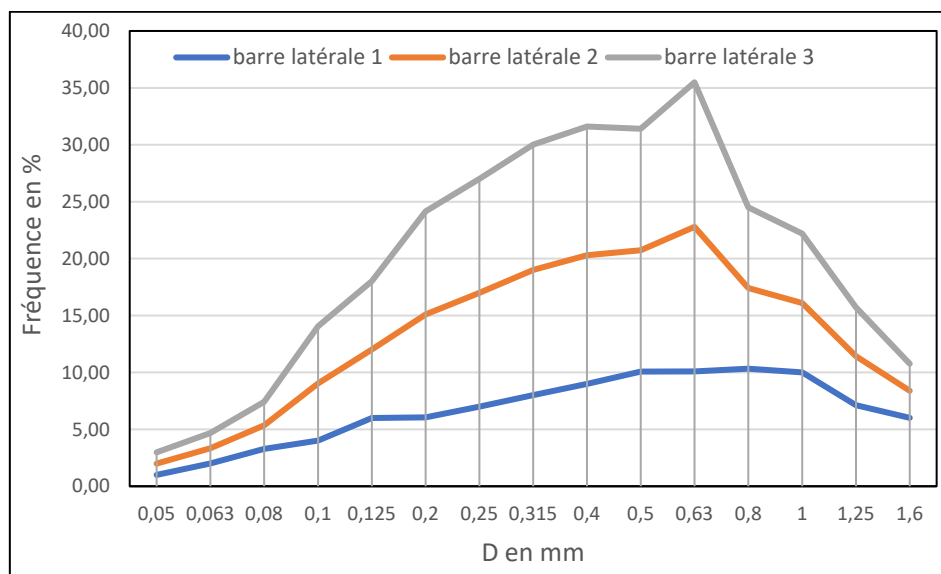


Figure 3.24 : courbes des fréquences des classes granulométriques des sables de lit de l'Oued Tizguit

Les courbes de fréquences (fig. 3.24), (fig. 3.25) montrent pour les trois barres latérales des allures à dissymétries positives orientées vers les classes grossières à formes logarithmiques. Les médianes des fractions fines enregistrent des valeurs modérées ; de 0,42 mm dans la barre 1 et 0,3 mm, 0,35 mm dans les barres 2 et 3, ce qui montre qu'il s'agit de sédiments sableux ayant en gros une granulométrie proche, témoignant de mise en place semblable.

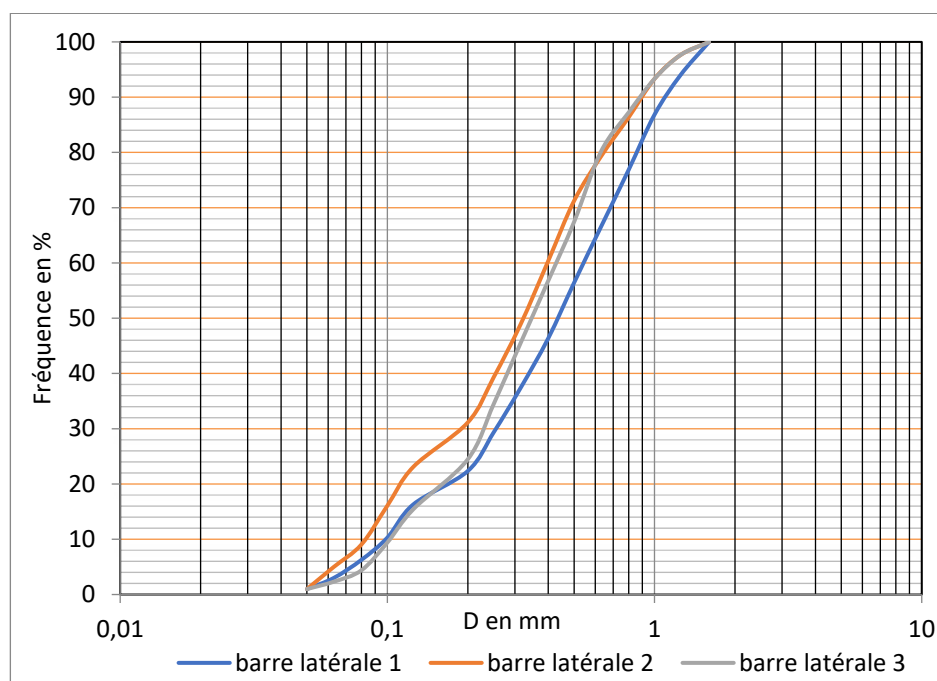


Figure 3.25 : courbes cumulatives des sables du lit de l'Oued Tizguit.

La déviation interquartile (Sk) atteste une tendance positive ; un meilleur classement vers les particules grossières au niveau de la barre latérale 2 avec une valeur de 1,15 mm. Par contre les barres latérales 1 et 3, Sk indiquent l'évolution des sables vers des classes moyennes et fines. Pour l'indice S0, il dévoile des valeurs qui renseignent sur des sédiments extrêmement bien classés (tab.3.5).

Paramètres granulométriques	Barre 1	Barre 2	Barre 3
Q1	0,12	0,15	0,2
Q2	0,42	0,3	0,35
Q3	0,79	0,69	0,58
Le grain moyen (Mz)	0,44	0,36	0,72
La médiane (Md)	0,42	0,3	0,35
Classe modale (CM)	1	0,63	0,63
Indice de classement S0	0,56	0,46	0,58
Indice de classement SK	0,46	1,15	0,95

Tableau 3.5 : paramètres et indices granulométriques des sables dans les barres alluviales de l'Oued Tizguit.

La perturbation des courbes de fréquence cumulées observées au niveau des fractions fines dans les trois niveaux traduit un mélange des sables de sources différentes, peut-être des apports longitudinaux issus de l'amont et des apports latéraux issus des versants proches. Les légères différences observées pour les trois échantillons pourraient être liées aux conditions hydrodynamiques relativement différentes.

4.- Typologie des berges et caractéristiques de la ripisylve

4.1- Typologie des berges

La berge d'un cours d'eau correspond au talus incliné qui sépare le lit fonctionnel (mineur et moyen) et le lit majeur. La rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle commence au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique (G. Degoutte, 2006). Dans le cas de l'Oued Tizguit, les berges sont bien différenciées, par la hauteur, la pente ainsi que les formations lithologiques dans lesquelles sont entaillées. Certaines des berges sont influencées par l'artificialisation qui est variable d'une rive à l'autre et de l'amont vers l'aval. Les observations de terrain, assistées par l'analyse des images satellitaires de haute résolution (Google Earth 2019 résolution de 33 m), nous ont permis d'identifier les types des berges décrites ci- dessous.

a.- Berges taillées dans l'encaissant

Elles sont moins fréquentes le long du cours principal et se localisent préférentiellement dans les segments étroits où les roches encaissantes sont résistantes (substrat carbonaté, parfois dans les colluvions consolidées). Ces berges constituent souvent les rebords du lit directement en contrebas des versants, souvent dans les coudes des méandres, leur hauteur est d'environ 1.5 m (fig.3.26. a).

b.- Berges taillées dans les formations de la plaine alluviale

Elles sont les plus fréquentes, taillées dans le matériel sédimentaire de la plaine alluviale, avec une hauteur importante qui peut atteindre 3.5 m. Ce type de berge est présent sur les deux rives, avec une dominance sur la rive droite. Elles sont le siège de sapement par le courant (fig.3.26. b)



Berge non végétalisée entaillée dans les limons de la plaine alluviale à Zaouïa Sidi Abdeslam (Octobre 2019)



Berge végétalisée sur la rive gauche de l'Oued Tizguit près de la source Aïn Vittel. (Mars 2020)



Bétonisation et enrochement des berges de l'Oued Tizguit aux environs d'Ifrane (Décembre 2021).

Planche photos 3.4 : exemples de berges de l'Oued Tizguit.

Signalant également que, au passage de Tizguit dans la zone urbaine et périurbaine d'Ifrane, les berges ont subi des modifications profondes suite à des interventions d'aménagement de canalisation, calibrage et bétonnage (pl.ph.3.4). L'aménagement des berges est destiné à lutter contre les inondations par les fortes crues qui engendraient des submersions catastrophiques menaçant les habitats et les infrastructures, ce sont les cas par exemple des inondations de 2001/2002, de 2002/2003 et de 2009.

Notons aussi que la morphologie naturelle du cours d'eau et ses berges sont complètement modifiées par l'aménagement dans les sites des barrages mis en place en amont d'Ifrane, et également dans le tronçon situé à la sortie du lac d'Ifrane (H. Achiban, 2021).

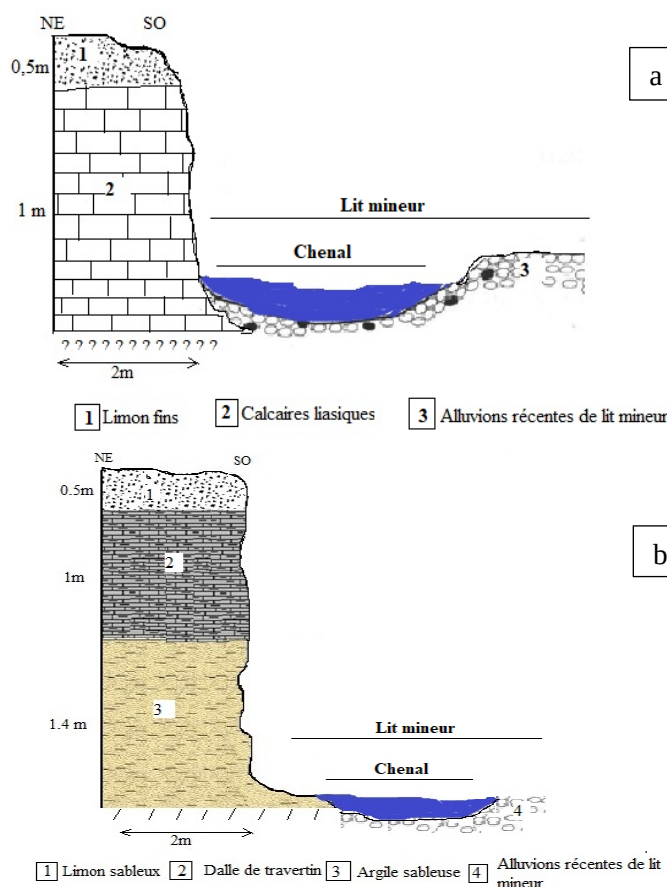


Figure 3.26 : schémas des types de berges de l'Oued Tizguit ; a : berge inscrite dans l'encaissant géologique ; b : berge taillée dans la plaine alluviale

4.2.- Les caractéristiques de la ripisylve

Rappelons que la ripisylve est la végétation qui occupe les rives d'un cours d'eau ; elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui souligne le bord du lit mineur de la rivière ou bien elle est une véritable forêt alluviale, s'étendant sur plusieurs centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur, occupant tout ou partie du lit majeur. C'est un milieu inféodé à la rivière, particulièrement riche en matière de diversité floristique (G., dégoutte 2006).

Dans le cas de Tizguit, les berges végétalisées se caractérisent par une ripisylve plus ou moins dense et variée, formée souvent de buissons, arbustes et/ou arbres. Ces berges sont peu répondues et présentent une ripisylve bien développée, surtout au niveau du tronçon qui s'étend dans le secteur d'Ifrane. En revanche, les berges non végétalisées sont les plus fréquentes, elles sont taillées dans le matériel sédimentaire de la plaine alluviale ou dans les roches du substrat. Sur le plan morphodynamique, ces ripisylves ont un rôle déterminant dans l'équilibre de l'oued, puisqu'elles protègent les berges contre l'érosion excessive grâce à leur système racinaire.



Planche photos 3.5 : exemples de ripisylves de Tizguit (cas du Val d'Ifrane) a) le peuplier blanc (*Populus alba*) (décembre 2021, aval de la ville d'Ifrane). b) l'Alisier des bois (*Sorbus torminalis*) c) l'Ifcommun (*Taxus baccata*) (décembre, amont de la ville d'Ifrane. d) : le frêne (*Fraxinus angustifolia*) (décembre, 2021 près d'AinVittel).

En fait, la localisation de la vallée sur le causse du Moyen Atlas et l'humidité du climat favorisent la croissance d'une ripisylve relativement dense est riche. La vallée dans le secteur d'Ifrane est classée un site d'intérêt biologique et écologique (SIBE). Son intérêt est multiple, aussi bien floristique, écosystémique que paysager. La ripisylve est constituée de plusieurs

espèces d'arbres, arbustes, buissons et herbes aquatiques et subaquatiques, notamment dans le val d'Ifrane. Parmi les arbres on y trouve : le frêne (*Fraxinus angustifolia*), le peuplier blanc (*Populus alba*), le peuplier noir (*Populus-nigra*), le Saule blanc (*Salix alba*), l'Alisier des bois : (*Sorbus torminalis*), l'If commun (*Taxus baccata*), le Saule pleureur (*Salix babylonica*), (pl.ph.3.5).

5- Étude diachronique de l'évolution du tracé de Tizguit

L'étude diachronique de l'évolution morphologique du chenal dans le fond de vallée de l'Oued Tizguit se base sur une approche hydro-géomorphologique, qui consiste à suivre les variations spatio-temporelles de la position du lit de l'oued durant les cinquante dernières années. Elle est basée sur la comparaison de cartes topographiques, photos aériennes et images satellitaires de dates différentes (résolution de 250 m). L'exploitation de ces documents sous le logiciel Arc Gis 10,2 passe par deux étapes : la géo - référencement, qui conditionne la bonne superposition des différentes images, puis la digitalisation du chenal principal de l'Oued Tizguit, des documents de différentes dates, afin de dresser une carte diachronique qui illustre les différents stades d'évolution de tracer du cours d'eau. Les années concernées sont : 1942, 1962, 2003 et 2020 (fig.3.27).

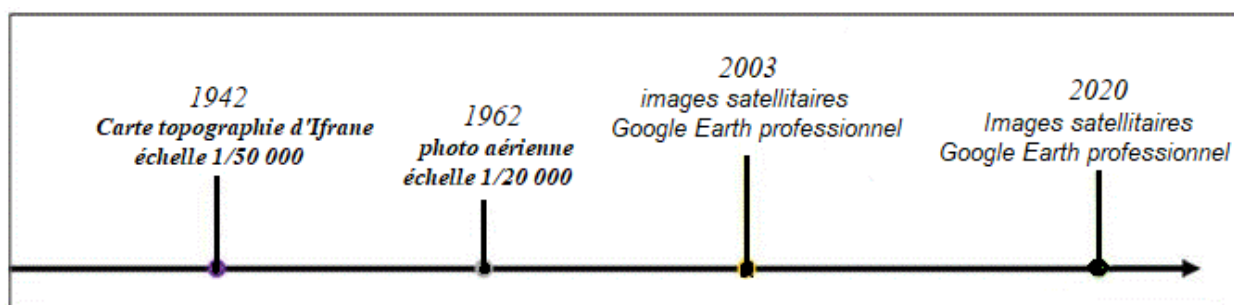


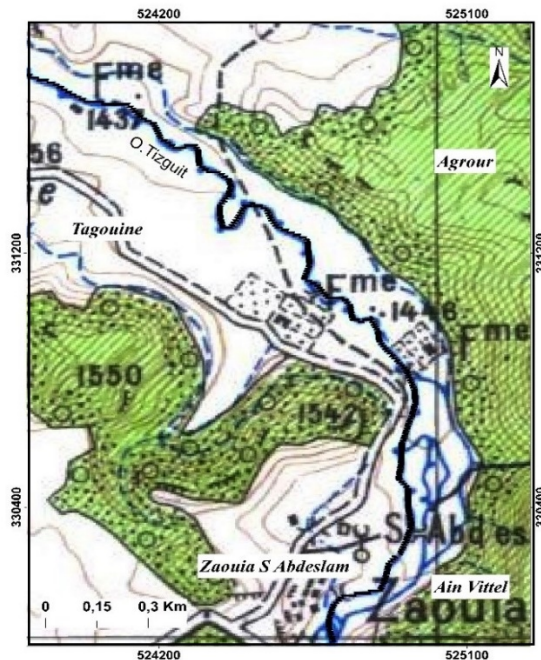
Figure 3.27 : documents cartographiques, photo aériennes et images satellitaires utilisés pour l'analyse diachronique

Dans cette analyse diachronique, nous avons considéré le tronçon de cours d'eau qui s'étend de la source Aïn Vittel à Zaouïa Sidi Abdeslam, tronçon le plus touché par les changements géomorphologiques au cours de la période considérée.

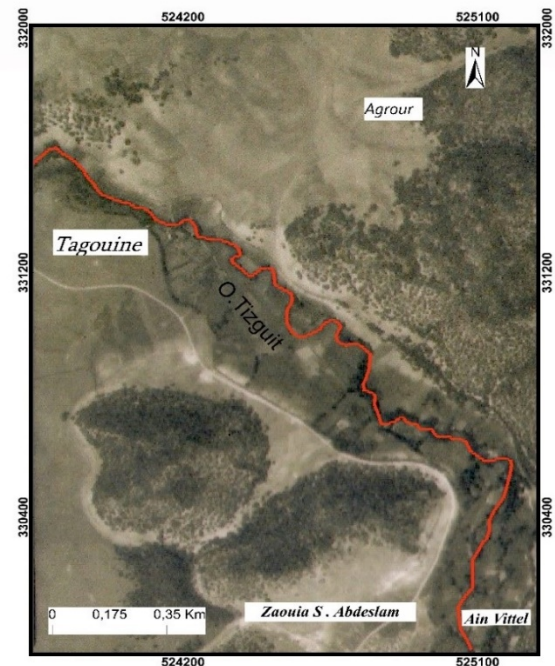
- **Situation de 1942 :** on s'est basé sur la carte topographique d'Ifrane à échelle 1/50000, la situation de l'oued montre une mobilité latérale importante du chenal qui se traduit par la migration amont aval des méandres dans la plaine alluviale. La longueur réelle du cours d'eau dans ce secteur avoisine 5 km avec un indice de sinuosité égale à 1,24.
- **Situation de 1962 :** il apparaît nettement sur la photo aérienne que l'oued témoigne que les méandres constituent des espaces très favorables pour le changement de l'écoulement et le

sapement des berges. La longueur réelle du cours d'eau est de 5,64 km ; alors que l'indice de sinuosité est égal 1,39.

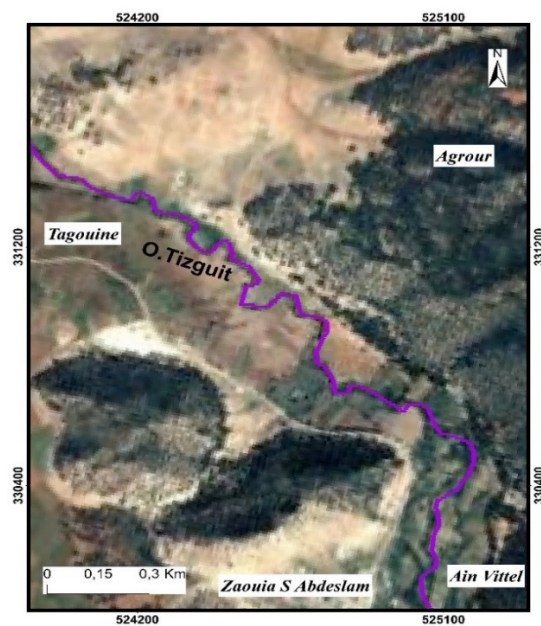
Situation de 1942 (carte topographique d'Ifrane (1/50000))



Situation de 1962 (photo aérienne 1/25000)



Situation de 2003 (image Google Earth)



Situation de 2020 (image Google Earth)



Figure 3.28 : différentes situations diachroniques entre 1942, 1962, 2003 et 2020 de l'Oued Tizguit

- **Situation de 2003** : Oued Tizguit a gardé le même style divaguant sa longueur à augmenter pour atteindre 6 Km avec un indice de sinuosité près de 0,67, le lit apparaît colmaté par la végétation riveraine ce qui atteste la faiblesse de l'activité érosive de l'oued et la diminution de la

compétence du transport des matériaux alluviaux le fond de la vallée, ce qui constitue un espace privilégié pour le développement des végétaux aquatiques.

- **Situation de 2020 :** le lit de Tizguit est peu mobile et globalement fixé dans le fond de vallée, par comparaison aux années soixante, bien qu'en partie imputable à l'incision de son lit au sein des calcaires, le manque de mobilité traduit également une rivière morphologiquement peu active. Ceci est favorisé plus notamment par les interventions anthropiques, surtout par les barrages collinaires et digues mises en place en amont d'Ifrane. Ce qui a influencé le paysage fluvial du tronçon étudié et a réduit de manière significative l'espace de liberté de Tizguit.

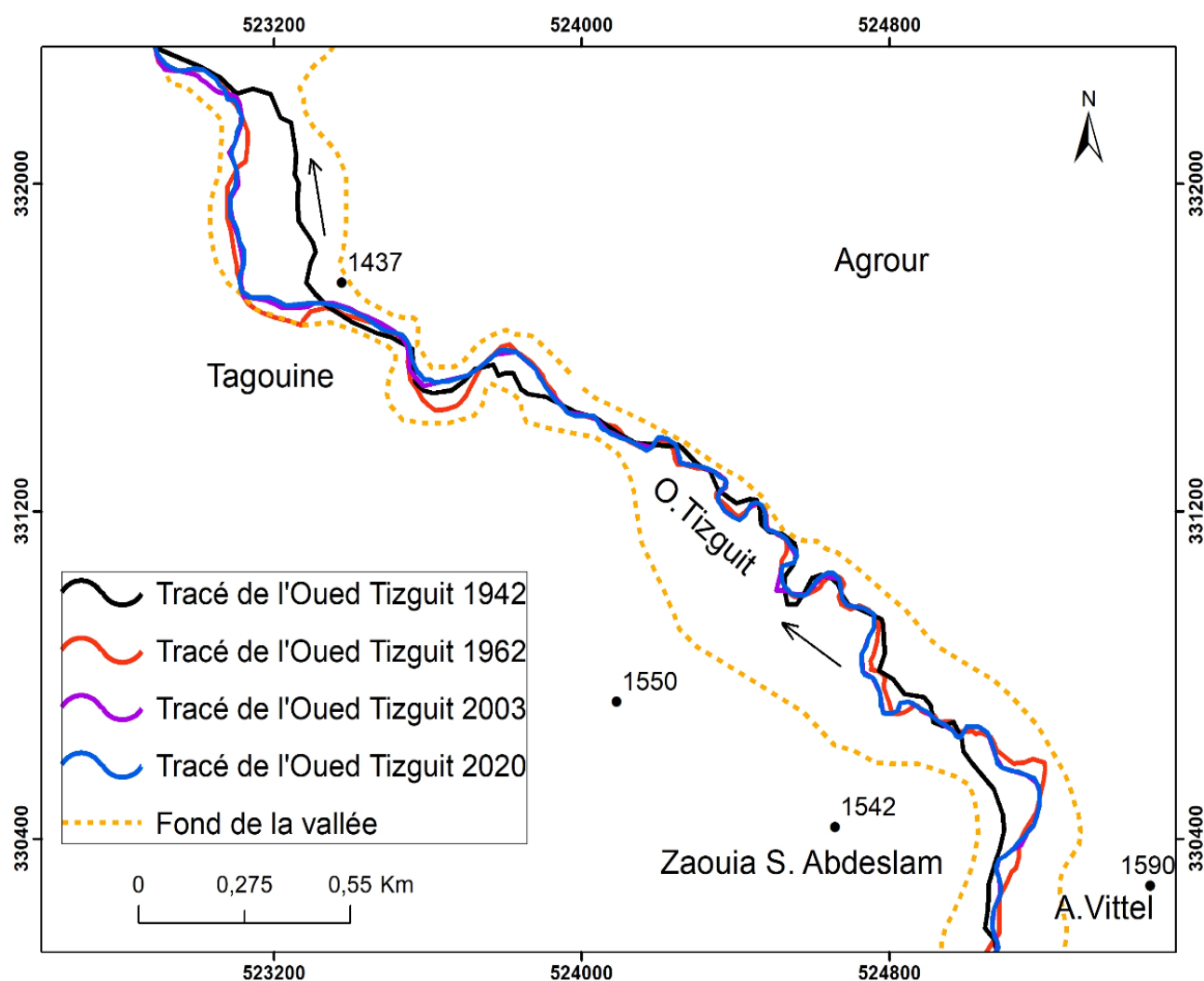


Figure 3.29 : superposition des tracés de l'Oued Tizguit des années 1942, 1962, 2003, et 2020. Mais en gros, on voit que le tracé de Tizguit n'a pas subi de modifications importantes depuis 1942. Il s'agit tout simplement de quelques retouches secondaires.

Conclusion

Pour conclure sur les résultats tirés de l'étude du tronçon amont, le bassin versant de Tizguit évolue dans un contexte géologique carbonaté karstifié, avec dominance des terrains de dolomies et calcaires du Lias, recouverts localement d'épanchements basaltiques quaternaires. Sur le plan géomorphologique, la plupart des terrains du bassin versant sont karstifiés et le cours d'eau y présente un profil irrégulier avec des cascades et des concrétions travertineuses. La karstification et la fracturation des terrains ont largement contrôlé la forme de la vallée et du lit de l'oued.

L'analyse des caractéristiques morphologiques du fond de vallée et de la plaine alluviale, a permis de comprendre leurs variations d'amont à l'aval et montre la succession des segments élargis et d'autres rétrécis. Les valeurs de largeurs varient de l'amont vers l'aval, fluctuant autour d'une médiane de 55 m. La valeur de la largeur minimale est de 12m, alors que la valeur maximale atteint 645m.

L'étude des sédiments de la plaine alluviale montre qu'il s'agit d'un remplissage formé principalement d'alluvions grossières (passées de galets, graviers et sables, à forte proportion de limons et argiles) et des travertins ; le tout est coiffé par un recouvrement limoneux qui s'épaissit vers les rebords des versants. L'examen des faciès à l'échelle de la coupe montre une succession d'accumulations contrastées. Chacune d'entre-elles, est liée à des conditions hydrodynamiques différentes reflétant la variation de l'écoulement de l'oued.

L'évolution verticale des faciès est caractérisée par la diminution de l'énergie et de la compétence de l'écoulement du bas vers le sommet de la coupe. Ainsi, on passe d'un milieu turbulent de forte énergie lors des crues responsables de l'accumulation des niveaux grossiers, vers un milieu stagne responsable de la formation de dalles travertineuses reflétant des conditions biostatistiques stabilisées, vers une succession de dépôts fins limoneux mis en place par débordement. Les apports sédimentaires sont issus par mobilisation de sédiments des versants amont et latéraux.

À l'échelle du lit fluvial l'étude morphologique met en évidence localement la présence d'un lit fonctionnel qui montre parfois un lit moyen et un lit mineur. Le lit moyen est submergé temporairement en période de crues périodiques à l'échelle de l'année ou de quelques années, selon les séquences des précipitations. Le lit mineur, façonné par l'écoulement ordinaire et d'étiage de Tizguit, est caractérisé par un matériel alluvial grossier hétérométrique qui indique un fonctionnement hydrodynamique fort et contrasté lors de crues. Les zones de rupture de pentes montrent le développement d'une sédimentation carbonatée travertineuse.

Les berges sont bien différenciées, par leur nature ; elles sont soit taillées dans le substrat ou dans les alluvions de la plaine alluviale. Elles sont manifestement affectées par l'artificialisation. Les conditions climatiques humides du causse moyen atlasique favorisent des ripisylves denses et variées occupant les berges et le fond de la vallée notamment dans le secteur du Val d'Ifrane.

L'étude diachronique de l'évolution spatio-temporelle du tracé du cours d'eau, entre 1942 et 2020, a mis en évidence quelques modifications localisées. Cependant, durant les dernières décennies l'étude montre que l'oued a subi peu de modifications et le chenal semble être peu actif. Ce qui est favorisé surtout par l'impact des barrages et aménagements réalisés à l'amont et en aval du secteur d'Ifrane.

Chapitre 4 :

Morphodynamique fluviale du Moyen Mikkès dans le Saïs

Introduction

- 1.- Les contextes géologique et géomorphologique et morphologie de la vallée**
- 2.- La plaine alluviale du Moyen Mikkès**
- 3.- Le lit fluvial du Moyen Mikkès**
- 4.- Typologie des berges, ripisylves**
- 5.- Etude diachronique**

Conclusion

Introduction

Le tronçon médian de l'Oued Mikkès, appartient du point de vue géographique et géologique, à la plaine de Saïs. Ce secteur s'étend depuis les bordures du causse moyen atlasique au Sud jusqu'au barrage de Sidi Echahed au Nord. Dans cette partie du bassin versant, le Mikkès coule sur des terrains marneux miocènes, carbonatés lacustres pliocènes et formations alluviales du Quaternaire ; il reçoit les apports d'un certain nombre d'affluents mineurs, qui sont alimentés par les pluies et des sources issues de nappes souterraines. Parmi les principaux affluents, on trouve Oued N'ja et Oued Atchane (affluents rive droite) et Oued Akkous (affluent rive gauche). Ces affluents drainent le causse moyen atlasique, la plaine du Saïs et le plateau de Meknès selon une direction généralement SSE-NNO, à l'exception d'Oued N'ja qui s'écoule d'Est en Ouest. Le long de son trajet, le cours de Mikkès présente de nombreuses formes liées aux variations de l'hydrodynamisme. Les conditions qui contrôlent cette dynamique sont déterminées par des facteurs multiples, d'ordres physiques (climat, géomorphologie, végétation...) et anthropiques.

Ce chapitre est consacré à l'étude de la morphologie fluviale du sous-tronçon médian de l'Oued Mikkès, il cherche d'une part à comprendre le fonctionnement hydrodynamique et les caractéristiques morpho-sédimentaires de sa plaine alluviale et son lit fluvial, dans cette partie médiane du bassin versant. Du point de vue méthodologique, nous allons suivre, les mêmes démarches utilisées dans le chapitre précédent : travail de terrain, des documents cartographiques (carte géologique : feuille d'El Hajeb, 1/100000 ; cartes topographiques : feuilles de Sbaa Aioun et Bni Ammart, 1/50000), et l'Image satellitaire de Google Earth et Sas Planet, 2022. Des analyses d'échantillons des sédiments fluviaux sont réalisées sur le terrain (fractions grossières) et au laboratoire (fractions sableuses).

1.- Les contextes géologique et géomorphologique et morphologie de la vallée

1.1.- Contexte géologique et géomorphologique

Le tronçon médian de l'Oued Mikkès est limité au Sud par le Causse moyen atlasique, au Nord par les collines pré-rifaines, à l'Est par le Saïs de Fès et à l'Ouest par le Saïs de Meknès et les rides Sud-rifaines. Ce tronçon draine le bassin de Fès -Meknès, qui occupe la plus grande partie de notre zone d'étude. L'altitude est décroissante du Sud vers le Nord ; elle passe de 700m au Sud à 400 m dans la région de Fès au Nord. La pente du cours d'eau, est nettement faible sur le plateau de Meknès. Cette région, qui a joué durant la période lacustre comme étant un réceptacle des affluents et ne constitue actuellement qu'une zone de transition. Un accident tectonique, d'orientation globale ONO-ESE, matérialisé par la flexure d'Aïn Taoujdade,

dénivelle nettement deux paliers : le plateau de Meknès (ou le Saïs de Meknès) à l'Ouest et la plaine du Saïs (ou le Saïs de Fès) à l'Est (fig.4.2).

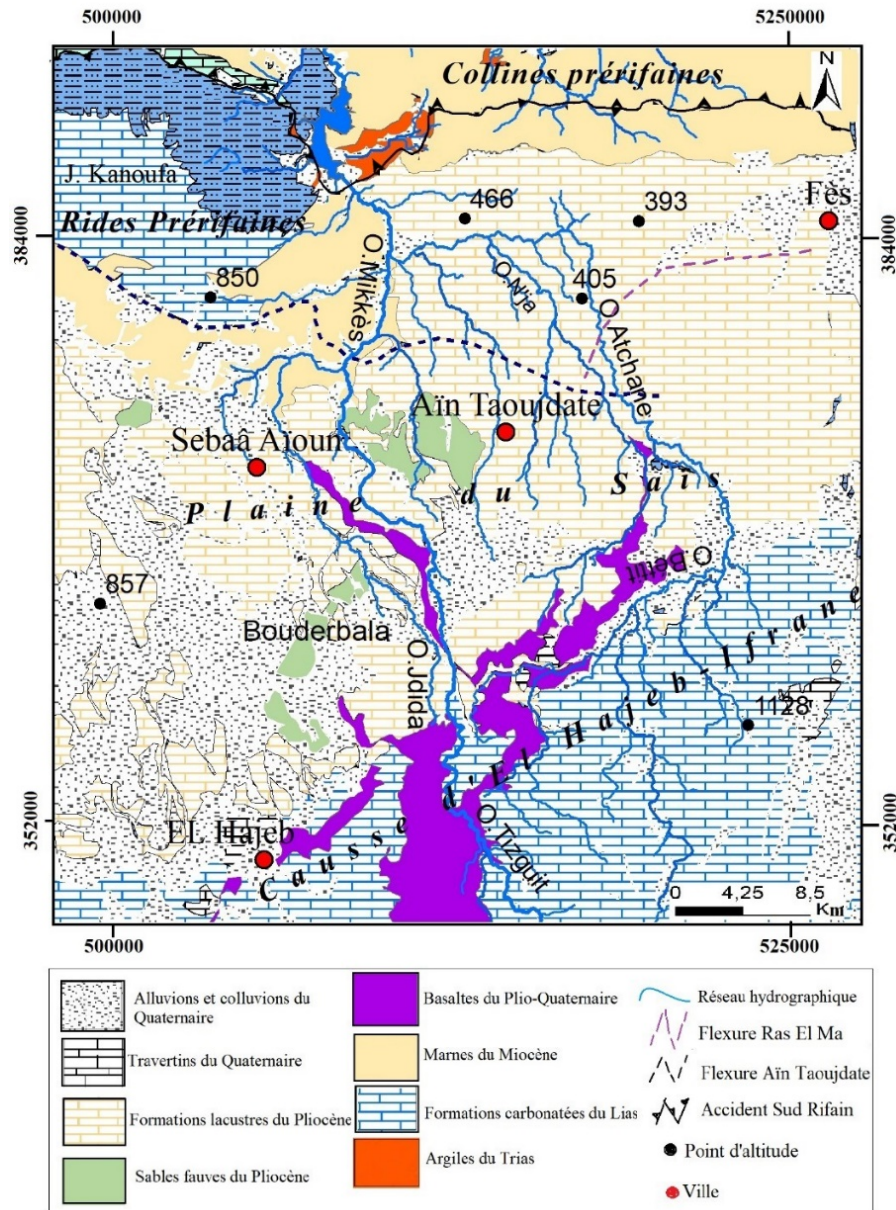


Figure 4.1 : croquis géologique et géomorphologique simplifié de la plaine de Saïs
(Extrait de la carte géologique Fès-Ouest, 1/100000)

Cet accident abaisse la plaine du Saïs de Fès par rapport au plateau de Meknès ; ce dernier se trouve soulevé à des altitudes de l'ordre de 1000 m dans sa partie méridionale ; tandis que le Saïs de Fès se trouve à une altitude de 400m. Dans l'ensemble, les altitudes décroissent vers le Nord avec une pente moyenne de 1,2%, pour atteindre 500 m dans la partie septentrionale où le plateau se redresse brusquement au contact tectonique anormal des rides préifaines (S. Laraichi et *al.* 2017).

1.1.1.- Le plateau de Meknès à l'Ouest

La topographie du plateau de Meknès décroît d'une manière générale du Sud vers le Nord ; elle passe de 1000 m à (El Hajeb) à 550m à (Meknès). Dans sa partie septentrionale, le plateau se redresse brutalement au niveau des Rides préifaines (Jbel Kanoufa). Au Sud, et à partir du Causse (El-Hajeb_ Ifrane), la vallée se trouve peu profonde avec un écoulement plus lent, car la pente est très faible. Le Mikkès traverse la flexure d'Ain Taoujdate au Nord de Sbaa Aioun, au Nord de la confluence avec O. Jdida (fig. 4.1. et fig. 4.2).

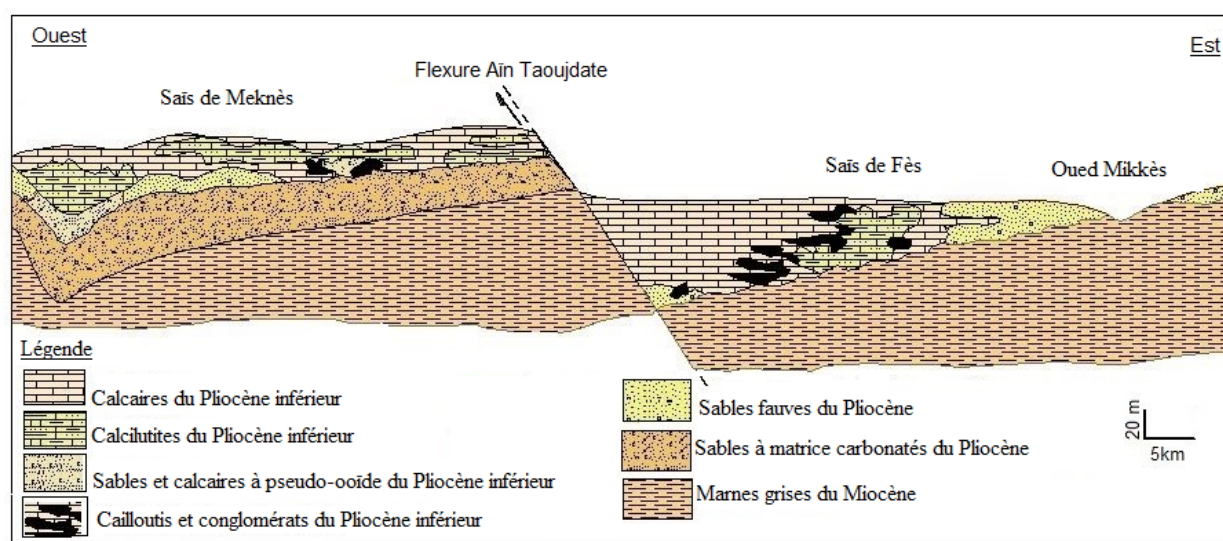


Figure 4.2 : coupe schématique illustrant la position de la vallée du Mikkès par rapport à la flexure d'Ain Taoujdate et les variations latérales de faciès d'Est-Ouest dans le Néogène supérieur du Saïs (P. Cirac, 1987).

1.1.2.- Le Saïs de Fès

Situé à l'Est de la flexure de Taoujdate, la plaine du Saïs de Fès est traversée par l'Oued Mikkès en creusant sa vallée dans les formations géologiques mio-plio-quaternaire, surmontant les calcaires et les dolomies du Lias et les formations complexes du Dogger (fig. 4 2). Les formations marneuses miocènes sont très épaisses et peuvent s'étendre jusqu'en 1000 m d'épaisseur au Nord. Le Pliocène est caractérisé par deux types de formations : le premier type comprend des grès jaunes et des sables du Pliocène marin, alors que le deuxième se compose de conglomérats et calcaires lacustres du Pliocène continental (P. Taltasse, 1953 et D. Fassi, 1999). Tout comme le plateau de Meknès, la plaine du Saïs a aussi une altitude décroissante du Sud au Nord. Elle passe de 700 m au Sud (limite Nord du causse d'Imouzzar Kandar et Sefrou) à 400 m dans la région de Fès. Comme le plateau de Meknès, la plaine du Saïs se relève très rapidement au Nord, au contact des rides préifaines. La flexure de Ras El Ma, de direction sensiblement NE-SO, divise la plaine du Saïs en deux parties : la plaine d'Aïn Taoujdate à l'Ouest et la plaine de Fès proprement dite à l'Est. (K. Belhassan, 2011).

1.2.- La Morphologie de la vallée Moyen du Mikkès

La section transversale de la vallée prend différentes formes selon, la nature géologique et la géomorphologie des unités traversées par Oued Mikkès. Elle reflète aussi le fonctionnement morphodynamique du cours d'eau durant son histoire quaternaire. En effet, le profil transversal du lit d'une rivière représente une forme d'ajustement aux variations des flux liquides et solides qui ont transité au passé et qui continuent de transiter actuellement dans le cours d'eau (S. Descloux, 2011). Pour montrer les caractéristiques transversales de la vallée du Mikkès, nous avons réalisé trois profils en travers, le long du tronçon à l'aide de la carte topographique de Sbâa Aïoun 1/50000 et de l'outil SIG.

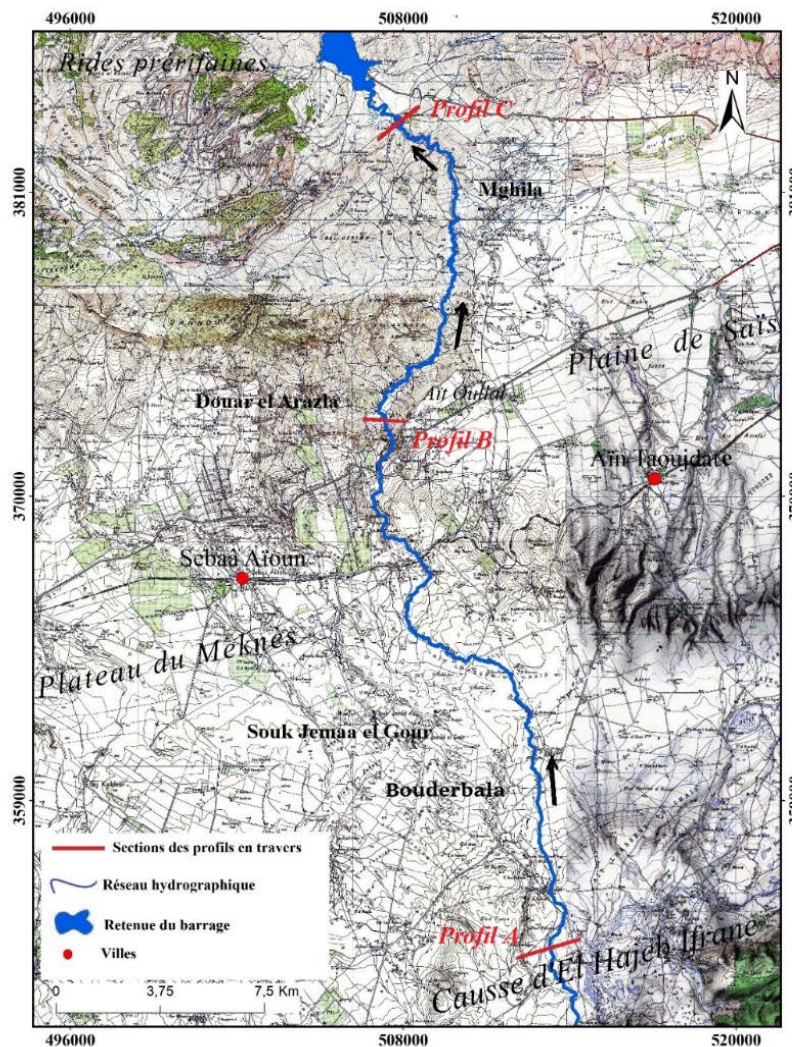


Figure 4.3 : situation des profils en travers réalisés le long de la vallée du Moyen Mikkès (d'après la carte topographique de Sbâa Aïoun 1/50000).

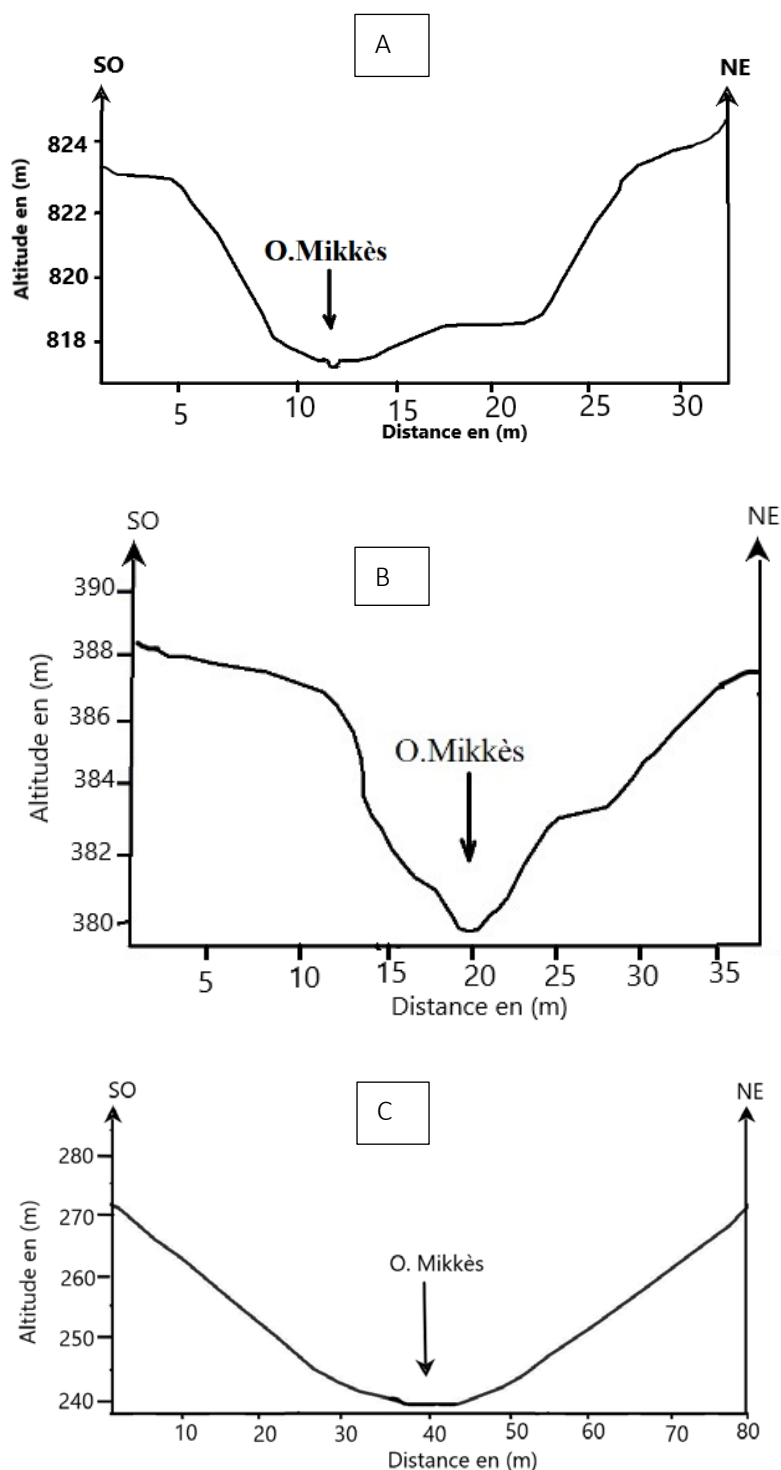


Figure 4.4 : profils topographiques en travers de la vallée du Moyen Mikkès dans le tronçon médian (d'après la carte topographique 1/50000, feuille Sbâa Aoun).

Profil A : ($x : 512000$ $y : 355000$ et $x : 514000$: $y : 355600$) est réalisé à la sortie de Mikkès du causse moyen atlasique au niveau de Dir près du Douar Souk Jemaa el Gour. Les deux rives montrent une forme dissymétrique à fond large de 10 m, et composé de graviers et blocs plus ou moins abondants.

Profil B : (x : 508000 y : 375000 et x : 508200 y : 375500) il est choisi au niveau du Douar el Arazla, il se situe sur le plateau de Meknès (pl.ph.4.1. a). Ce profil montre une forme dissymétrique de part et d'autre d'un fond de vallée qui est située à 380 m d'altitude et de largeur très étroite mesurant moins de 5m, dans cette section. Le fond de vallée est encaissé, l'incision longitudinale du lit est bien marquée.

Profil C : (x 508000 : y : 383000 et x 500000 y : 3835000) il est établi vers l'extrémité aval de l'oued au niveau de Douar Mghila (pl.ph.4.1. b). Les versants dominant une forme large et relativement symétrique d'un fond de vallée qui s'étend sur environ 100 m de large et situé à 240 m d'altitude. Ici la vallée est plus encaissée.

D'une manière générale, la morphologie des sections en travers identifiées dans la vallée Moyen Mikkès est caractérisée par des fortes variations des largeurs de l'amont vers l'aval, elle trouve son explication en grande partie dans la nature lithologique des formations traversées. Elle est très serrée dans les parties amont et médianes, là où les formations sont dures et résistantes à l'érosion et devient évasée dans la partie aval où la lithologie traversée est plus tendre et plus favorable à l'érosion.



Planche photos 4. 1 : Morphologie du fond de vallée du Moyen Mikkès

- a) Cliché pris de l'Ouest vers l'Est près du Douar Arazla, (Mars 2019)
- b) Cliché pris au voisinage du Douar Mghila, (Juillet 2020).

2.- La plaine alluviale du Moyen Mikkès

2.1.- Morphologie et extension générale de la plaine alluviale

Dans cette partie médiane du bassin versant, la vallée de l'Oued Mikkès est inscrite dans le plateau du Saïs ; la plaine alluviale reste peu développée par rapport au tronçon décrit dans le

chapitre précédent, notamment dans le plateau de Meknès. Elle montre un lit mineur continu et bien distinct, qui est parcouru par l'écoulement ordinaire et permanent et un lit moyen très discontinu qui apparaît surtout dans les zones de convexités des méandres. Le paysage de la plaine alluviale montre aussi quelques unités rattachées au lit qui influencent son fonctionnement morphodynamique. Il s'agit des confluences des petits oueds latéraux courts et orthogonaux au tracé du cours principal de l'Oued Mikkès.

La surface topographique de la plaine alluviale généralement plane ; sa pente est faible, d'environ 0.04%. Sa largeur est généralement réduite, avec des valeurs variables, oscillant autour d'une moyenne de 83 m, d'après des mesures effectuées sur des pas de 250m, sur une mosaïque des images de Sas Planet (fig.4.5). La valeur minimale est de 10m alors que la valeur maximale est de l'ordre de 708m. De façon générale, les résultats obtenus montrent que les largeurs sont plus réduites à l'amont dans le sous-tronçon du plateau de Mikkès comme à Boudebala ; elles augmentent progressivement en allant vers la partie médiane dans la plaine de Saïs, comme à El Madhouma (pl.ph.4.2. a), ou au niveau du secteur Mghila (pl.ph.4.2.b), où la largeur augmente et atteint 331m.

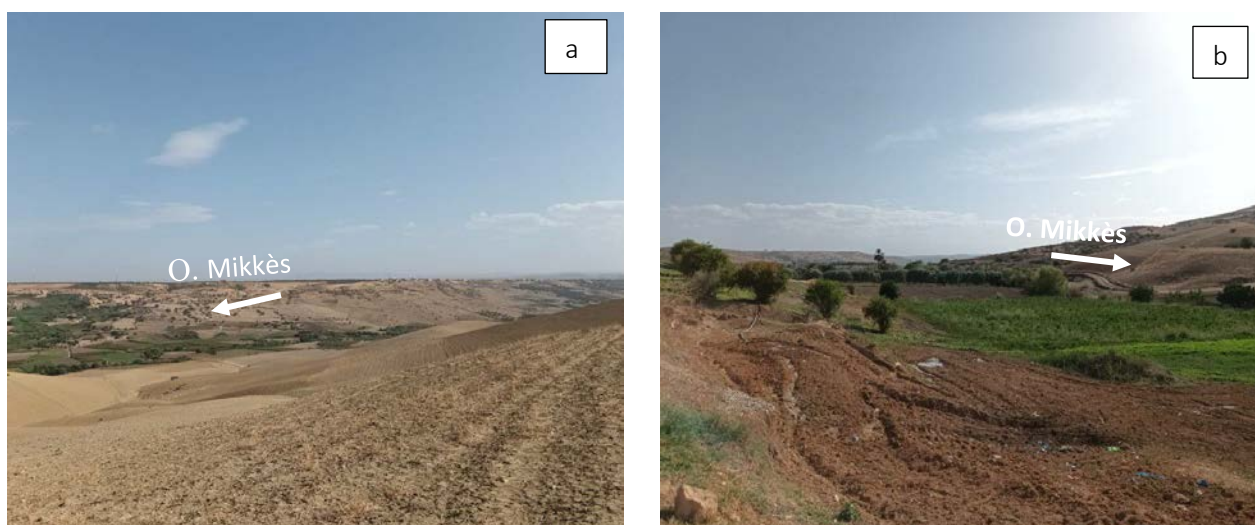


Planche photos 4.2 : morphologie de lit majeur de Moyen Mikkès au niveau du plateau de Meknès (a) et dans la plaine de Saïs de Fès (b).

a).Cliché pris en amont du douar el Madhouma dans le domaine du plateau de Meknès (27/05/2019).

b) Cliché pris au secteur de Mghila dans la plaine du Saïs de Fès (27/10/2022).

Plus loin, vers l'aval, dans la zone du contact anormal Sud rifain, la largeur de la plaine alluviale prend l'ampleur rapidement et atteint sa valeur maximale qui dépasse les 700m à l'amont du barrage Sidi Echahed.

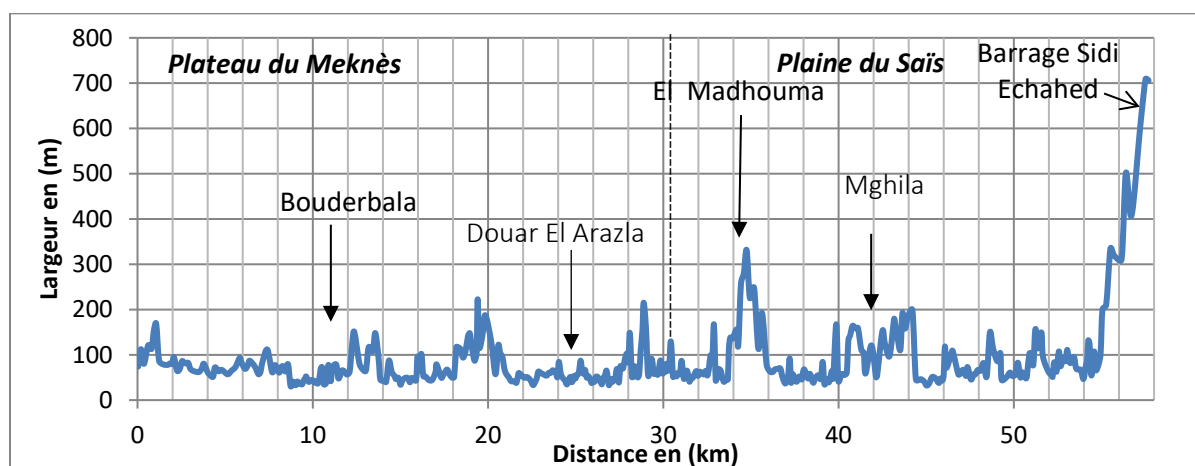


Figure : 4.5 : variation amont aval de la largeur du fond de vallée de l'Oued Mikkès dans le plateau du Saïs (d'après les images Sas Planet 2017).

En définitive, la morphologie de la plaine alluviale du tronçon médian du Mikkès montre que sa morphologie est largement conditionnée par la morpho-structure et l'histoire géomorphologique de la vallée, qui ont influencé ses limites, sa forme, sa continuité et l'importance de son remplissage alluvionnaire.

Sur le plan de fonctionnement hydrodynamique, la plaine alluviale de ce tronçon est souvent envahie entièrement par les eaux des moyennes et des fortes crues. Pendant les petites crues, c'est seulement une partie restreinte proche du lit qui est touchée, notamment à l'amont, où les berges sont moins élevées. Cependant, les apports des affluents contribuent généralement aux débordements lors des crues, puisqu'ils peuvent submerger directement la plaine alluviale.

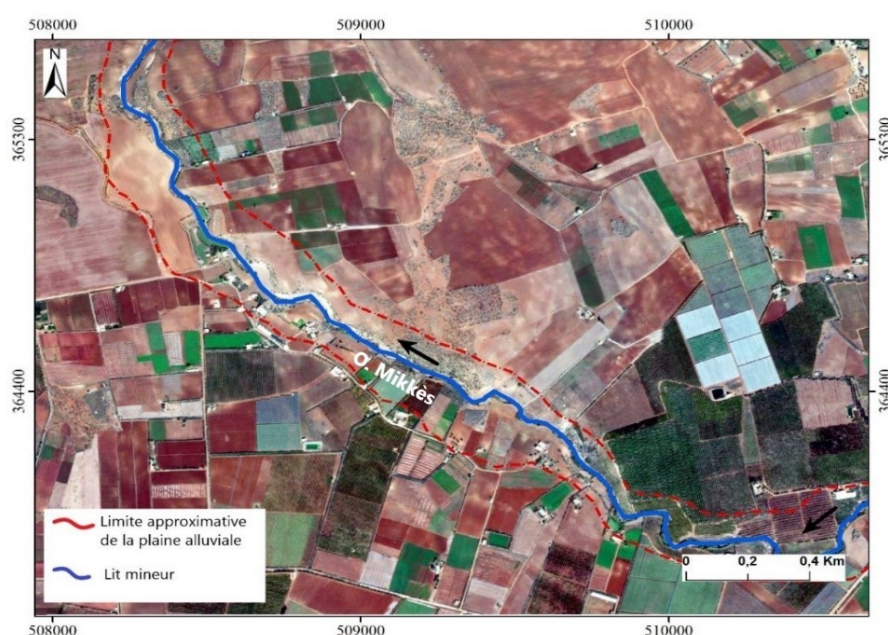


Figure 4.6: la plaine alluviale du Mikkès dans le domaine du plateau de Meknès (d'après image, Google Earth, 2020).

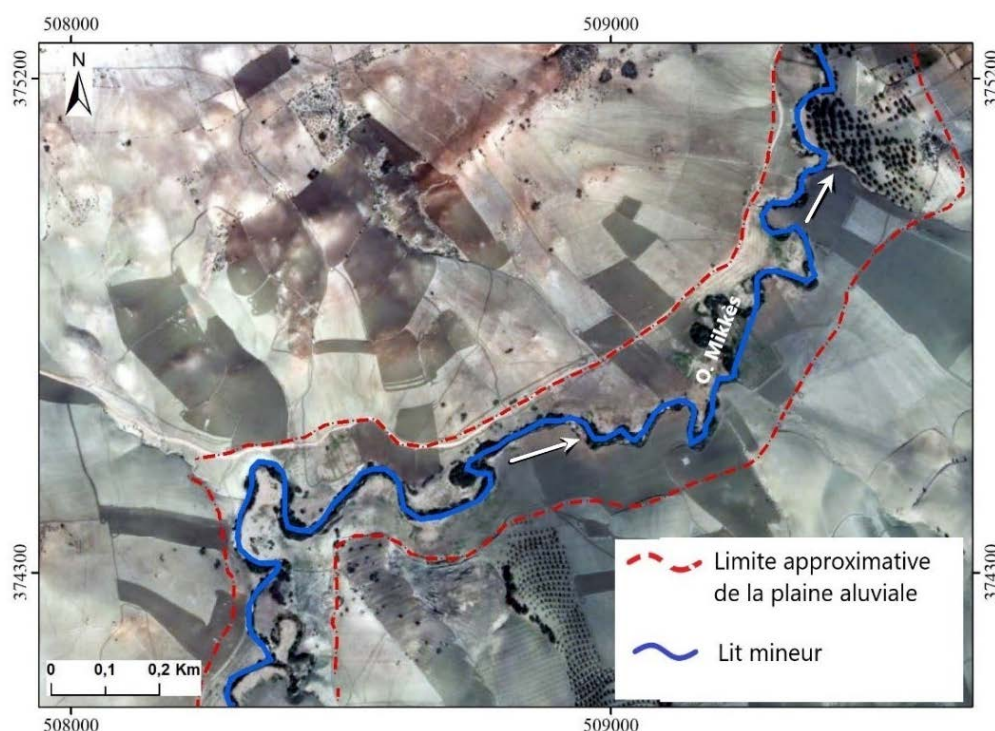


Figure 4.7 : la plaine alluviale du Mikkès dans la plaine Saïs de Fès (d'après image, Google Earth, 2020).

2.2.- Caractérisation sédimentologique de la plaine alluviale

Le remplissage sédimentaire de la plaine alluviale de ce tronçon médian est marqué par sa faible épaisseur, qui est d'environ 2m en amont et devient plus puissante vers l'aval où elle atteint 4m par endroits. Nous avons étudié deux coupes levées dans ces dépôts, en amont et en aval du tronçon. Ces deux coupes sont situées respectivement dans le Saïs de Meknès (coupe Bouderbala) et le Saïs de Fès (coupe Mghila). Le choix de ces coupes est justifié par la variation amont aval des faciès et de l'épaisseur des sédiments.

2.2.1.- Organisation générale et faciès de la coupe de Bouderbala

a.- Localisation et description de la coupe

La coupe de Bouderbala se situe dans le secteur Bled Tizina, à l'amont du pont de la route P7048 ; elle montre des alluvions fines formées de limons sableux d'une épaisseur d'environ 2m, au-dessus du substrat carbonaté du Pliocène (fig.4.8. et fig.4.9). Latéralement les dépôts de la plaine alluviale s'étendent sur environ 75m. Leurs limites avec les versants sont difficiles à préciser en raison de la forte anthropisation des terrains.

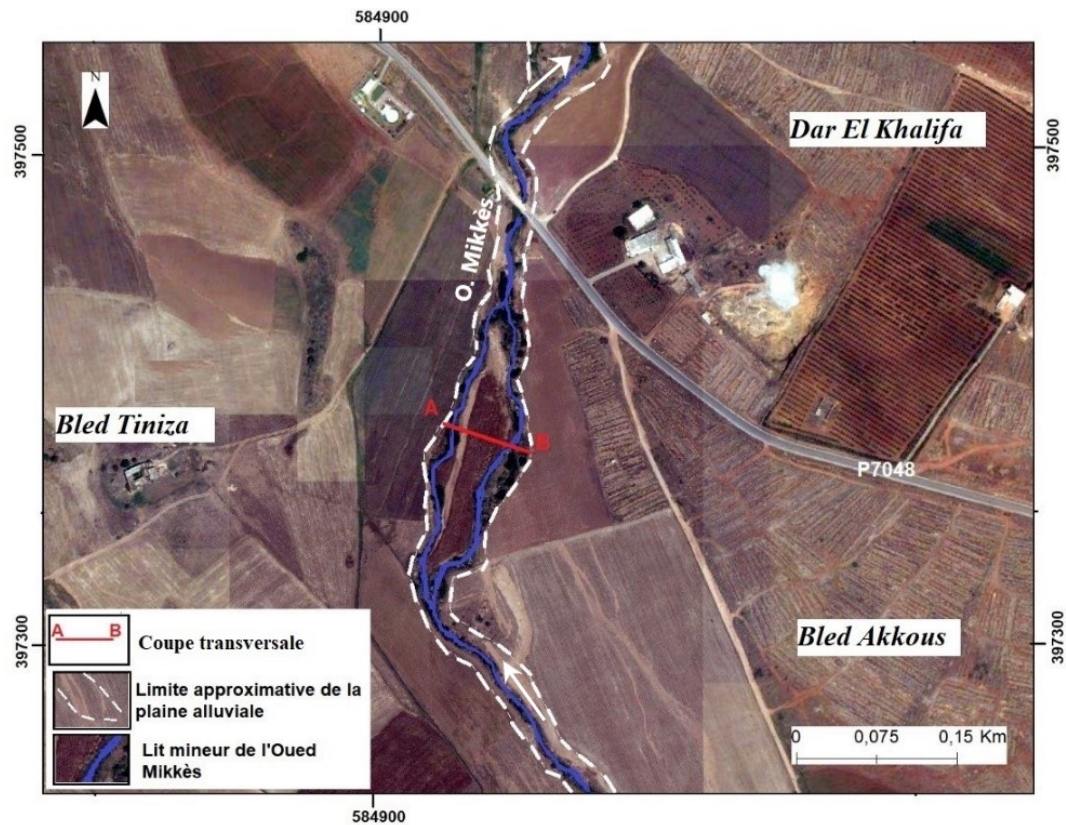


Figure 4.8 : localisation de la coupe transversale de Bouderbala
(D'après image Google Earth, 2021)

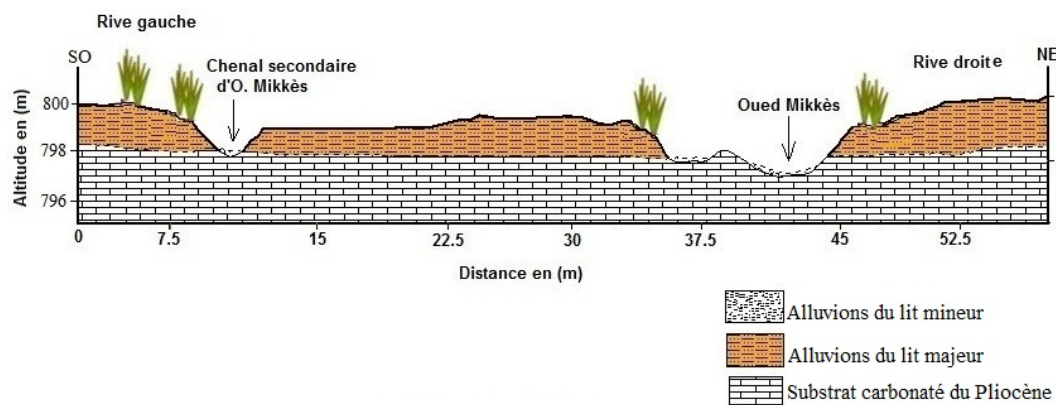


Figure 4.9 : coupe transversale schématique de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès, dans le secteur de Bouderbala, près de Bled Tiniza

Pour l'étude de détail, une coupe litho-stratigraphique est choisie à proximité du centre urbain de Bouderbala (fig.4.9) ; ses coordonnées géographiques sont ($X : 510000$), ($Y : 360000$) ; elle se situe à 800 m d'altitude, sur la rive droite de l'Oued Mikkès. Cette coupe montre une seule série sédimentaire épaisse de 1,46 m, caractérisée par un faciès homogène dominé par des

matériaux fins sablo-limoneux, de couleur brun foncé (code Munsell ; 10YR4/3) ; leur stratification horizontale est masquée par les traces de la bioturbation (fig.4.10).

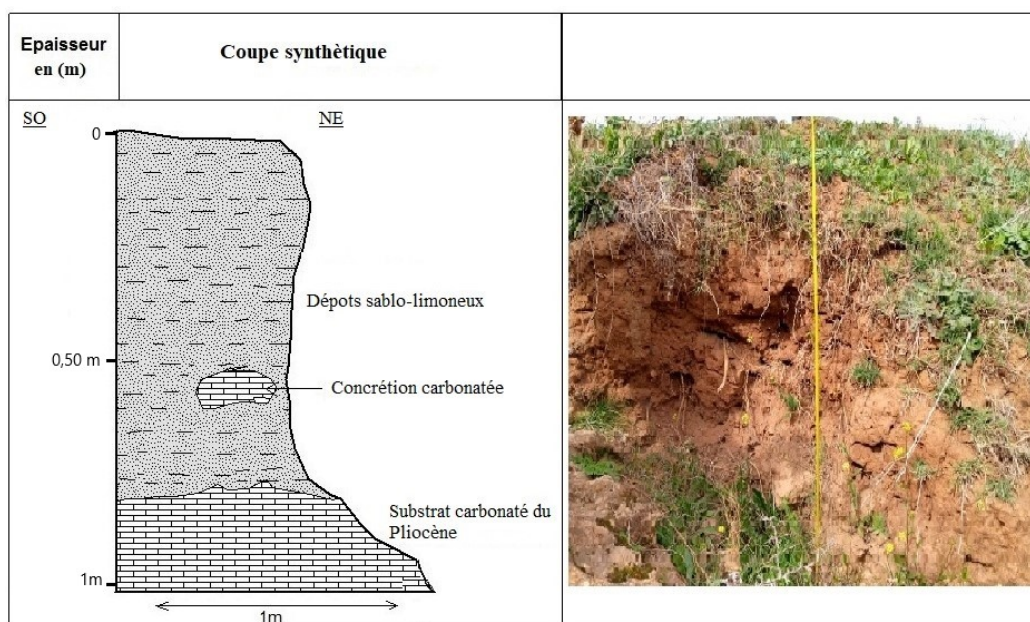


Figure 4.10 : coupe litho-stratigraphique dans les formations de la plaine alluviale du Mikkès à Bouderbala

b.- Analyse granulométrique du matériel

Le tamisage d'un prélèvement de 400 g des sédiments de la coupe, montre qu'il est formé exclusivement par des sables, des limons et des argiles. L'étude granulométrique de la fraction inférieure à 2 mm, ceci montre l'abondance des argiles et des limons qui dépassent 72%, par contre la teneur des sables fins présente près de 28,14 %, ce qui reflète une mise en place dans des conditions calmes de faibles énergies, probablement lors des débordements de crues.

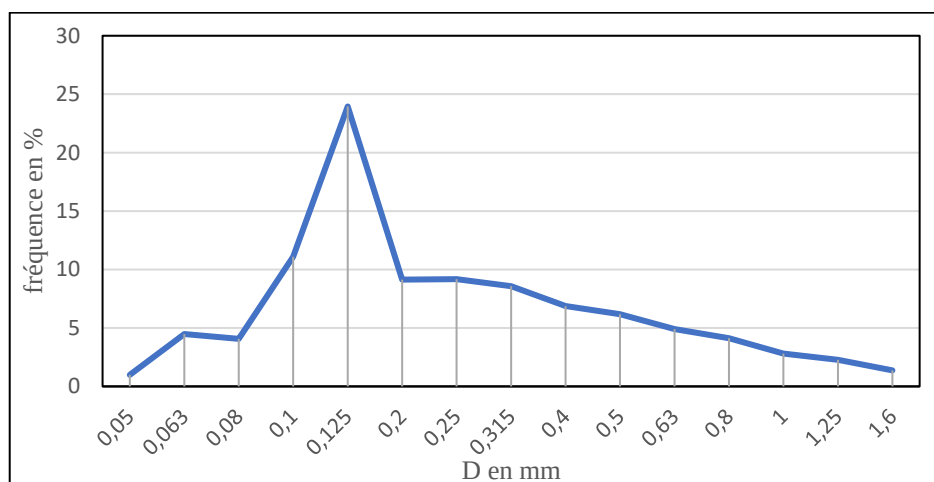


Figure 4.11 : courbe de fréquence des classes granulométriques de la coupe Bouderbala

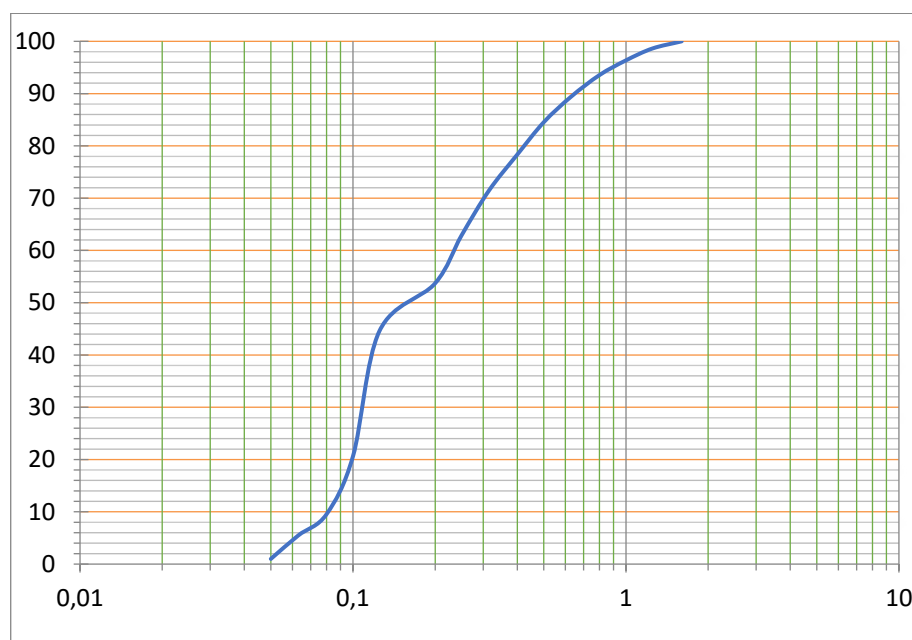


Figure 4.12 : courbe cumulative des classes granulométriques de la coupe Bouderbala

Paramètres granulométriques	Valeurs
Q25	0,1
Q50	0,16
Q75	0,35
Le grain moyen (Mz)	0,20
La médiane (Md)	0,16
Classe modale (CM)	0,125
Indice de classement S0	0,53
Indice de classement SK	0,21

Tableau 4.1 : valeurs des quartiles et indices granulométriques de l'échantillon analysé

La courbe cumulative (fig.4.12) montre une allure sub-hyperbolique avec une tendance bien visible vers les classes moyennement fines. De plus, la courbe cumulative montre une double inflexion, indiquant une certaine hétérogénéité du matériel sableux. Le premier quartile (Q25) est de 0,1mm, la médiane de la distribution granulométrique est égale à 0,16mm, alors que la valeur du troisième quartile Q75 est égale 0.35mm.

L'examen des différents indices dévoile respectivement $S_0 = 0,53$; $Sk = 0,21$; ce qui renseigne sur un meilleur classement des particules fines. Les renseignements tirés de ces résultats granulométriques témoignent de dépôt fluvial sable-limoneux réalisé dans un milieu hydrodynamique de faible énergie.

2.2.2. - Organisation générale et faciès de la coupe de Mghila

a.- Localisation et description de la coupe

La deuxième coupe synthétique est réalisée sur le même tronçon, mais plus à l'aval, dans le domaine de Saïs de Fès, juste après la confluence avec l'Oued Jadida, près du Douar Mghila (fig.4.13 et fig.4.14).

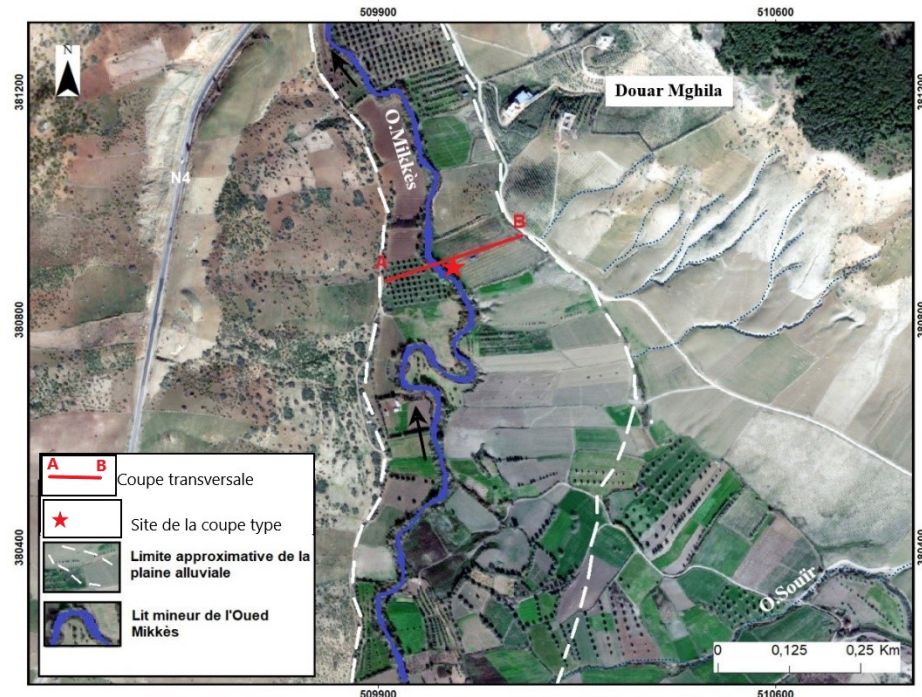


Figure 4.13 : localisation de la coupe transversale de la plaine alluviale dans le secteur de Mghila (d'après image Google Earth, 2019)

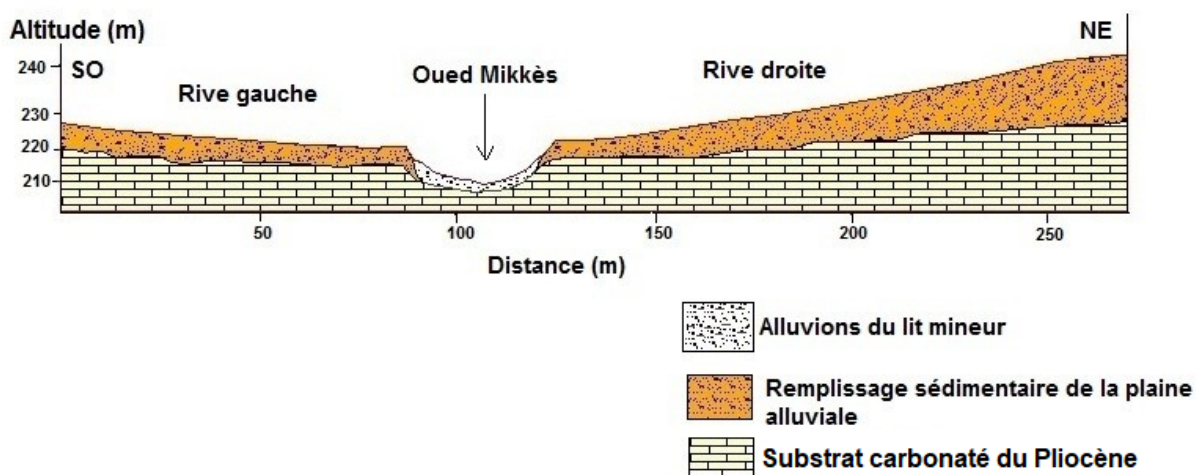


Figure. 4.14. Coupe transversale schématisée de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès dans le secteur de Mghila.

Pour une étude plus détaillée, nous avons choisi une coupe-type représentative (fig. 4.15) qui se trouve sur la rive gauche de l'Oued Mikkès, aux coordonnées Lambert (X : 510000 ; Y : 3800000). La coupe, d'environ 1,53m d'épaisseur, montre la succession de quatre niveaux de faciès différents, de bas en haut :

- **Niveau 1 (MG1)** : caractérisé par une sédimentation fine limono-argileuse, de 56cm d'épaisseur. Le substrat n'est pas visible en dessous de ce niveau.
- **Niveau 2 (MG2)** : il se repose sur l'unité 1 et montre un dépôt fin sablo-limoneux. Il s'agit d'un faciès à structure massive sans figures de stratification nettes. Son épaisseur est d'environ 34cm.
- **Niveau 3 (MG3)** : formé de limons fins riches en bioturbations et en coquilles d'escargots. Son épaisseur est de 31cm.
- **Niveau 4 (MG4)** : formé de limons fins argileux, riches en pores et en traces de bioturbations, son épaisseur est 32cm.

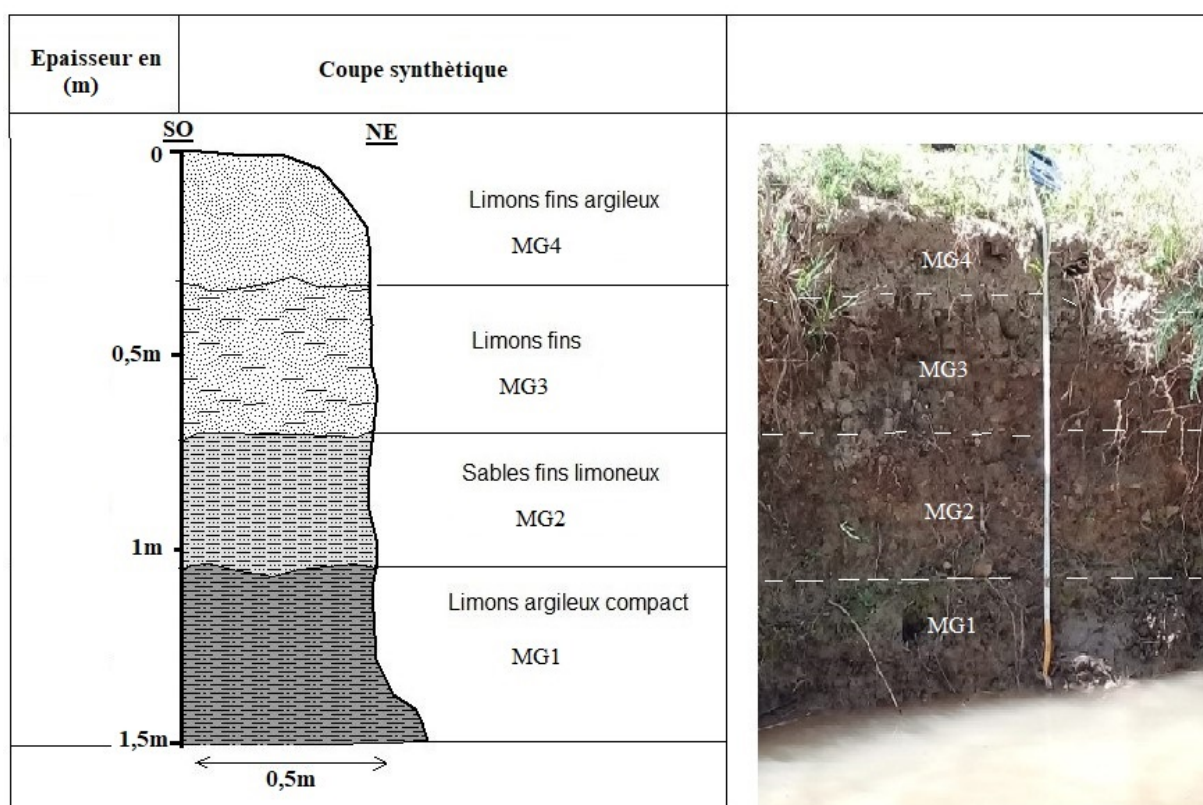


Figure 4.15 : coupe litho- stratigraphique dans les formations de la plaine alluviale de Mikkès à Douar Mghila.

L'analyse des faciès, à l'échelle de la coupe, montre que l'alluvionnement du fond de la vallée s'est déroulé dans un contexte similaire à celui décrit dans la coupe précédente, marqué par l'absence des matériaux grossiers. Ce contexte de la morphogenèse est caractérisé par une succession des phases de sédimentation marquées par la diminution de l'énergie et la compétence de l'écoulement du bas vers le haut de la coupe.

b.- Analyse granulométrique des sédiments

L'analyse granulométrique de 150g de la fraction sableuse de chaque échantillon montre la dominance des classes fines. La texture des échantillons MG1 et MG2, révèle respectivement 75% et 47% des sables fins contre 25% et 28% des moyens grossiers. Les échantillons MG3 et MG4 présentent 67,58% et 71,42 % des sables fins contre 32,14% et 28,57 % des moyens avec une absence totale des classes grossières. Ceci est bien traduit dans les valeurs des modes granulométriques des échantillons présentent le même mode granulométrique (mode= 0,063mm) (fig. 4.16) qui sont placés dans les classes fines. D'autre part on remarque, que les courbes de fréquence montrent en gros des distributions avec peu de différences.

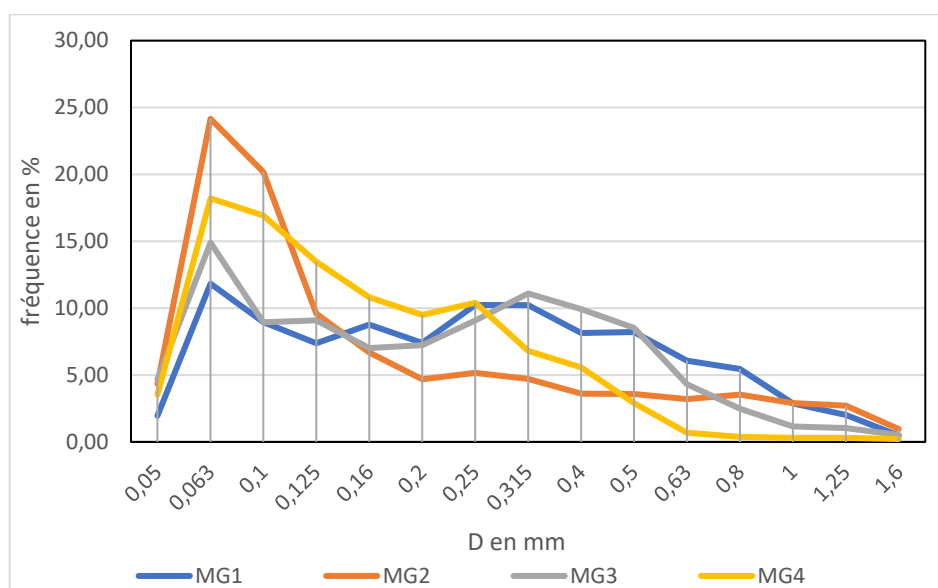


Figure 4.16 : courbe de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe Mghila

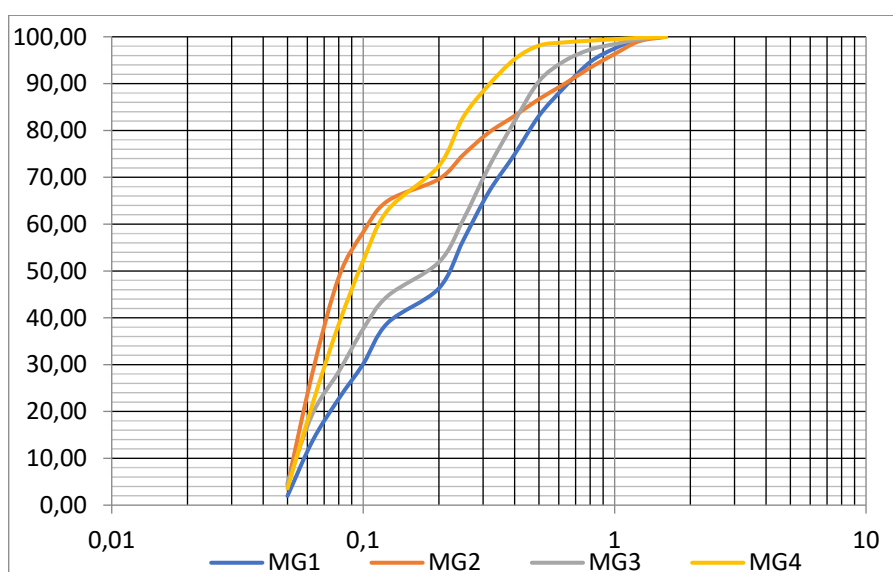


Figure 4.17 : courbes cumulatives des échantillons de la coupe Mghila

Paramètres granulométriques	MG1	MG2	MG3	MG4
Q1	0,08	0,06	0,09	0,07
Q2	0,23	0,08	0,20	0,095
Q3	0,5	0,315	0,32	0,2
Le grain moyen (Mz)	0,47	0,29	0,41	0,24
La médiane (Md)	0,23	0,08	0,2	0,095
Mode (CM)	0,063	0,063	0,063	0,063
Indice de classement S0	0,40	0,43	0,52	0,59
Indice de classement SK	0,75	0,23	0,72	0,14

Tableau 4.2 : paramètres et indices granulométriques de la coupe Mghila

Selon le graphe (fig.4.17) les niveaux MG1 et MG3 ont des courbes cumulatives dissymétriques orientées vers les classes moyennes grossières. Les niveaux MG2 et MG4 marquent une tendance vers les classes fines. Les classes modales de quatre échantillons attestent des résultats égaux 0,063mm. Les indices granulométriques de la fraction sableuse permettent de renseigner sur le degré de tri des sédiments (tab.4.2), on remarque que la médiane enregistre relativement une valeur croissante dans l'unité 1 (MG1) et l'unité 3 (MG3). Elles présentent respectivement 0,23mm et 0,20mm, en ce qui concerne les autres unités de la coupe, leur valeur ne dépasse pas (0,095mm). L'indice de Trask (S0) et la déviation interquartile (SK) montrent une symétrie négative : meilleur tri des particules fines. On peut donc en déduire que les sables fluviaux étudiés sont bien classés dans l'ensemble des unités de la coupe étudiée.

En conclusion, la comparaison des résultats obtenus pour les quatre niveaux montre une nette diminution de S0 et la baisse de la valeur de SK. Ce qui montre que ces sédiments sont déposés dans un environnement sous un régime d'écoulement régulier.

La comparaison des résultats avec ceux de l'amont montre que les sables de ce tronçon sont plus fins et mieux classés que ceux de l'amont, comme en témoignent les valeurs de l'indice d'asymétrie (Sk) et la baisse de la valeur de l'indice de classement S0. Notons que les courbes cumulatives montrent une double inflexion, ce qui indique une certaine hétérogénéité du matériel sableux analysé. Ce qui peut traduire probablement des mélanges des sables des sources latérales, issues des versants et de sables fluviaux longitudinaux. Cette remarque a été soulevée aussi dans les sables de la coupe précédente de Bouderbala.

3.- Morphologie et caractéristiques morpho-sédimentaires du lit mineur

3.1. - Profil longitudinal du cours d'eau

Le tronçon étudié ici commence dès la sortie du Causse moyen atlasique (Dir) jusqu'au barrage de Sidi Echahed, situé à l'entrée des rides prérfaines. Au sein de ce tronçon, l'Oued est influencé par les conditions structurales du substratum encaissant et guidant la dynamique fluviale en favorisant la variation de la pente et la dilatation ou la contraction des fonds alluviaux.

Le tracé de l'Oued Mikkès s'étend sur une longueur totale de 58 km. Son profil longitudinal montre deux parties (fig.4.18) : une partie amont développée au niveau du plateau de Meknès sur environ 30km, depuis la sortie du causse jusqu'à la confluence avec Oued Jdida ; elle présente une dénivellation de 443 m, soit une pente de 1,47% et une partie aval qui s'étend sur 28Km développée dans la plaine de Saïs de Fès; sa pente est de 0,8%. Les deux parties sont séparées par un profil de transition marquée par une forte pente (23,25 %). Ce dernier correspond au passage du plateau de Meknès à la plaine du Saïs de Fès, engendré par la flexure d'Ain Taoujdate.

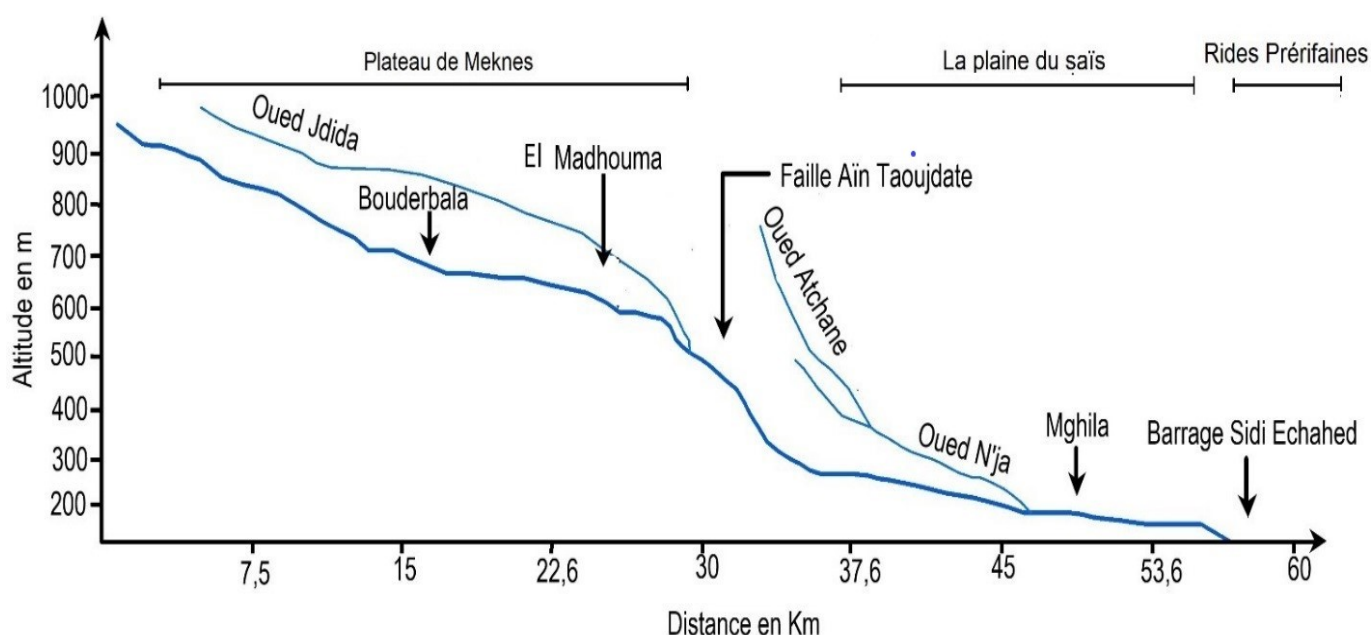


Figure 4.18 :profil en long du tronçon médian de Mikkès (plaine de Saïs).

Cependant, certaines différences morphologiques sont distinguées lorsqu'on compare le cours de l'Oued Mikkès dans le plateau de Meknès et la plaine de Saïs.

3.2.- Morphologie de lit mineur dans le domaine du plateau de Meknès et dans la plaine de Saïs de Fès.

Notons que dans ce tronçon, il est souvent difficile de faire distinction entre lit mineur et lit moyen, puisque le cours d'eau se présente généralement en chenal unique, encadré par des berges à hauteur faible à moyenne, avec des levées bien distinctes dans le paysage.

a.- Sur le plateau de Meknès la vallée est bien encaissée (40 à 100 m). Le cours d'eau est alimenté par de nombreuses petites sources en bordure de la vallée. Le cours d'eau traverse ici, des terrains composés des formations de Plio-Quaternaire (sables fauves et calcaires lacustres et alluvions limoneuses). Selon les situations, le chenal d'écoulement dessine des tracés rectilignes alternés avec des secteurs sinueux, comme par exemple dans le cas du secteur de Bouderbala (ph.4.1). Il s'encaisse entre des berges de hauteur moyenne (1,5m), bien végétalisées et assez stables, avec sapements localisés et quelques encoches d'érosion. On note une stabilité latérale à cause de l'existence d'une base formée essentiellement de roches dures carbonatées et bien résistantes au courant, ce qui permet à ce dernier de creuser verticalement et de dessiner un tracé souvent rectiligne. On note ainsi une influence importante par les actions anthropiques, traduites par la fixation de berges, curage, rectification du tracé du lit mineur, voies des communications... on note aussi des constructions diverses, une mise en valeur agricole, etc.

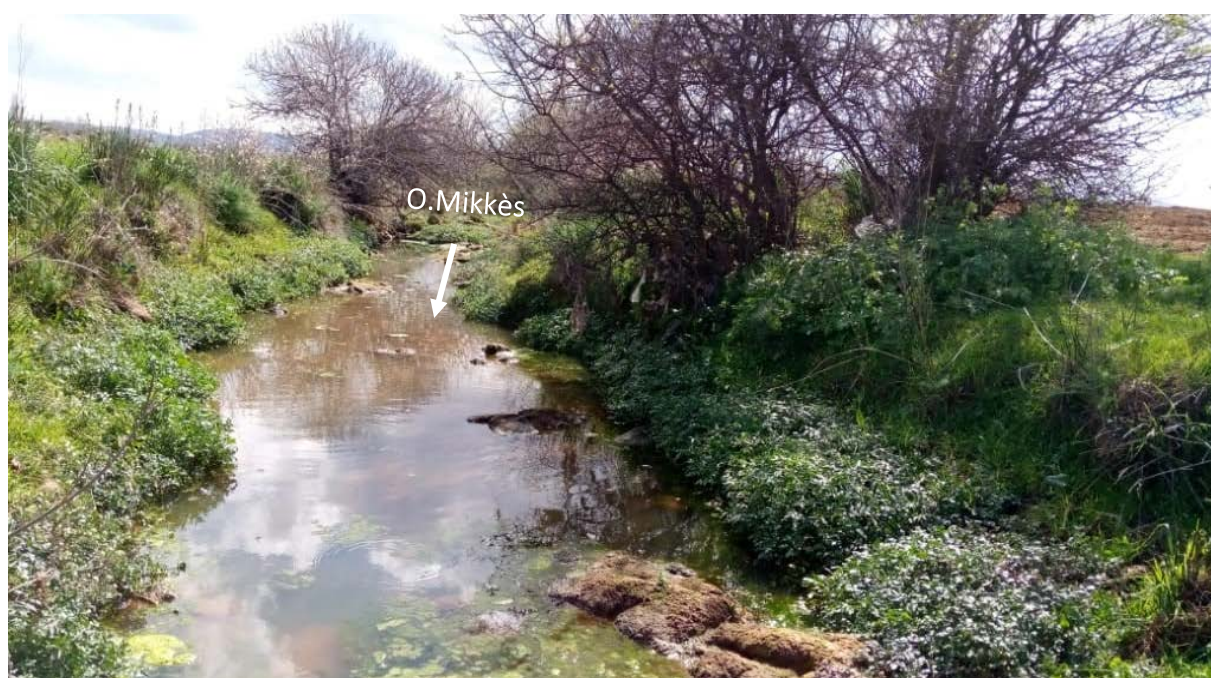


Photo 4.1: morphologie du lit mineur dans le plateau du Meknès près de Bouderbala (Avril 2020).

b.- Dans la plaine de Saïs, la vallée devient plus évasée, car creusée dans des formations tendres marneuses du sillon Sud rifain. La plaine alluviale devient plus large et l'oued adopte un style morphologique à méandres. Ces derniers présentent un profil en travers dissymétrique

caractérisé par l'opposition alternée entre une rive concave et une rive convexe basse et à pente faible, formée par des alluvions de barres de méandres. Contrairement à la section du plateau de Meknès, où le cours d'eau tend à creuser verticalement, ici le cours d'eau méandre et on observe une tendance au remblaiement qui concourt le creusement. Des affluents à caractère torrentiel rejoignent le cours principal en apportant une charge de matériaux importants, surtout en suspension ; elle provient des formations environnantes. L'énergie du creusement de l'oued est dissipée en raison de la section large, ce qui explique son incapacité de remobiliser les gros matériaux. On assiste à des situations d'emboîtement de dépôts, composés de sables grossiers, de galets, de blocs de faibles et des moyens à grands calibres. Par ailleurs, les cicatrices d'érosion sont observées au niveau des rives concaves abruptes qui ne cessent de reculer, exagérant la sinuosité. En revanche, en rive convexe l'alluvionnement favorise la construction de barres de méandres, doucement inclinées. C'est le cas par exemple des secteurs de Mghila (ph.4.2)



Photo 4.2 : aspect morphologique des méandres du style du lit mineur dans le domaine du Saïs de Fès, secteur de Mghila (Avril 2018 au niveau du Douar Mghila).

3.2.- Morphométrie des méandres

Nous avons montré que le tronçon du Moyen Mikkès s'étend dès la sortie du Causse moyen atlasique (zone de Dir) jusqu'au barrage de Sidi Echahed, situé à l'entrée du Prérif. Au sein de ce tronçon, l'oued est influencé par les conditions structurales du substratum encaissant

et dressant la dynamique fluviale en favorisant la variation dans la morphologie de l’oued par l’alternance des sections rectilignes et d’autres sinueuses. En utilisant le logiciel Arc-Gis et en exploitant les images satellitaires Sas Planet à haute résolution (250m), nous avons calculé les valeurs des principaux paramètres morphométriques montrées dans le tableau (tab. 4.3).

Longueur	Longueur réelle	Saïs de Meknès	Saïs de Fès
		30 km	28 km
	Longueur à vol d’oiseau	21km	13 km
Sinuosité	Indice de sinuosité	1,42	2 ,15
Pente	Pente longitudinale	1,47	0,8
Largeur du lit mineur	valeur maximale	12	58
	valeur minimale	3	3
	valeur moyenne	6	10
Longueur d’onde	valeur maximale	337	376
	valeur minimale	158	176
	valeur moyenne	247	246
Amplitude	valeur maximale	254	376
	valeur minimale	83	176
	valeur moyenne	150	246
Rayon de courbure	valeur maximale	143	188
	valeur minimale	70	98
	valeur moyenne	98	149

Tableau 4.3 : les caractéristiques morphométriques du Moyen Mikkès

3.2.1.- Morphométrie des méandres dans le plateau de Meknès

Les résultats de notre analyse sont portés dans le tableau.4.3, ils montrent que le rapport du coefficient de la sinuosité est varié selon les méandres, il est en moyenne sur le long de ce secteur de l’ordre de (1.42). Donc, le cours d’eau au niveau de ce secteur présente un style sinueux. Le rayon de courbure mesuré est égal à 143m enregistré comme une valeur maximale, en revanche, la valeur minimale est près de 70m, concernant la valeur moyenne est de 98 m. L’amplitude des méandres, montre une valeur maximale de 254 m, tandis que les valeurs minimales sont de 83m, et 150m enregistrées comme valeurs moyennes. La largeur du lit mineur s’accroît globalement depuis la sortie du causse moyen atlasique jusqu’à Bouderbala, où elle atteint 12 m ; ensuite, elle diminue progressivement jusqu’à 3 m dans le secteur du Douar Arazla. Dans le secteur d’El Madhouma, le lit de l’oued montre une évolution sensible

dans sa largeur ; il présente une valeur moyenne d'environ 6m, tandis que la valeur minimale ne dépasse guère les 3m, alors que la valeur maximale est 12m (fig.4.19).

3.2.2- La morphométrie des méandres dans la plaine de Saïs

L'analyse morphométrique des méandres au niveau de ce secteur montre que la valeur du coefficient de la sinuosité est plus importante que celle enregistrée dans le domaine du plateau de Meknès ; elle est en moyenne de 2,15 le long du cours d'eau. Donc le cours d'eau au niveau de ce secteur présente un style méandriforme. Les valeurs de la longueur d'onde varient de 376m comme valeur maximale, est 176 comme valeur minimale ; alors que la moyenne est égale à 246m. Concernant l'amplitude des méandres, on observe que la valeur maximale est égale 343 m, tandis que la valeur minimale est de 35 m, et 90 m enregistrées comme valeurs moyennes. Le rayon de courbure mesuré dévoile une valeur maximale de 188 m, la valeur minimale est près de 98 m, la valeur moyenne est de 149 m. Pour la largeur du cours d'eau, la valeur maximale est égale à 58 m, enregistrée dans la partie aval, près de la retenue du barrage, Sidi Echahed, où l'oued traverse des formations tendres marneuses du sillon Sud rifain.

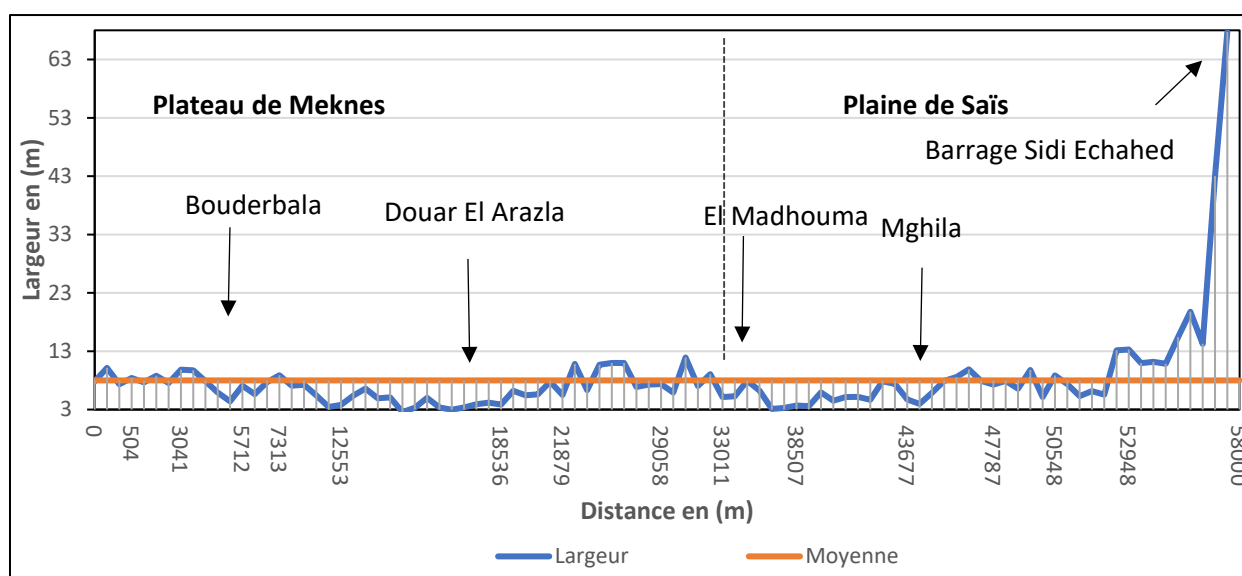


Figure 4.19 : la largeur du lit mineur dans le tronçon Moyen Mikkès, dans le plateau de Meknès et dans la plaine du Saïs.

En définitive, la variabilité de la sinuosité du Moyen Mikkès dépend surtout des conditions lithologiques des terrains et de la pente du profil longitudinal, suivant l'importance de la mobilité du chenal et des phénomènes d'érosion latérale (sapement). Deux processus antagonistes font évoluer la sinuosité de l'oued. Les parties extérieures concaves sont érodées alors que les berges intérieures convexes sont en sédimentation. Le chenal migre vers les berges érodées en augmentant la sinuosité. Il arrive un moment où les migrations des berges entraînent

la déviation du cours d'eau, créant des parties de méandres abandonnées (bras mort), ceci diminue la sinuosité.

Dans les portions aval du domaine du Saïs de Fès, les méandres sont très instables et subissent des recoupements (fig. 4.20). Leur évolution diffère d'un point à l'autre selon, les types de berges dans lesquelles ils sont taillés. Le tracé du lit mineur se déplace en permanence par recoupements des méandres provoqués soit par sapement, soit par débordement des eaux de crues, là où se succède le maximum d'efficacité hydrodynamique.

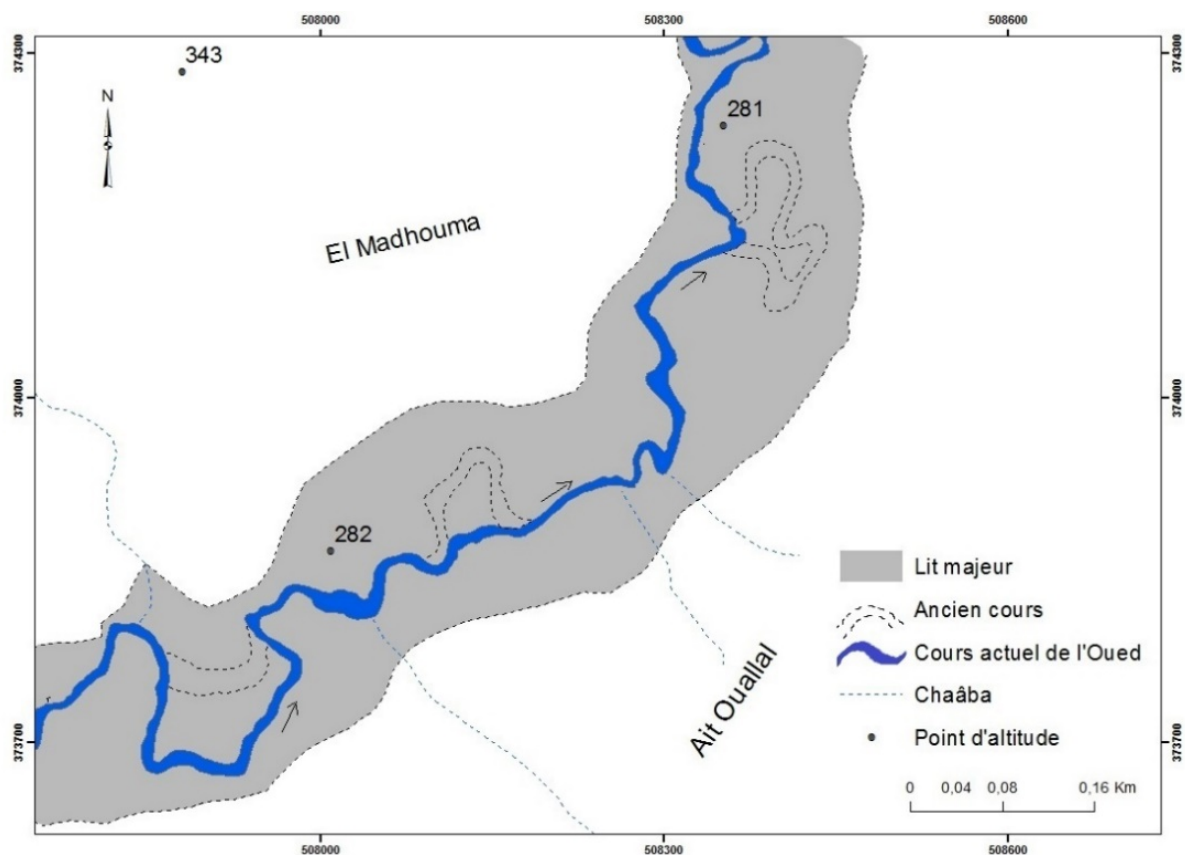


Figure 4.20 : exemples de recoupement des méandres de l'Oued Mikkès dans le domaine du Saïs de Fès, secteur de Mahdouma (d'après image Google Earth 2018).

Actuellement, les anciens méandres sont conservés en bras morts bien individualisés, occupés par une végétation hygrophile très dense. En fait, la morphologie des chenaux intègre l'influence de l'ensemble des facteurs de contrôle agissant à l'échelle du bassin versant, comme le climat, la végétation et l'impact anthropique. Dans ce cadre les paléo-méandres, progressivement remblayés, constituent de véritables archives des évolutions de l'hydrosystème fluvial (A. Schumm., 1977 ; D. Knighton., 1984).

3.3- Analyse du matériel alluvial du lit mineur

Le tronçon étudié correspond aux zones du transfert entre la partie amont et aval de l'oued. Son énergie hydraulique est relativement importante pendant la période des crues, ce qui permet de transporter les matériaux produits par le bassin amont. Pour caractériser ces matériaux transportés, nous avons effectué des analyses de prélèvements en différents sites choisis le long du tronçon. Le but est de comprendre le fonctionnement hydrodynamique actuel de l'oued et l'évaluation de sa compétence de transport et de dépôt.

3.3.1.- Analyse de la fraction grossière

a.- Granulométrie des galets

L'analyse granulométrique des galets est appliquée sur trois bancs latéraux qui sont situés dans différents sites du tronçon de la façon suivante : le premier en rive gauche de l'Oued Mikkès près de Bouderbala : ($x : 513000$ $y : 359000$).

Dans le plateau de Meknès ; le deuxième sur la rive droite en aval de la confluence avec Oued Jdida, ($x : 510000$, $y : 375000$) dans la Plaine de Saïs Fès - amont ; le troisième se situe dans la Plaine du Saïs aval ($x : 508000$, $y : 382000$), en amont du barrage Sidi Echahed.

Les résultats granulométriques obtenus (fig.4.21) montrent que les prélèvements ont des distributions de même forme, où la majorité des galets se trouvent dans les fractions < 40 mm et 40-60 mm de diamètre. La classe modale des échantillons est la même, dans la mesure où elle correspond à la classe des galets de diamètre inférieur à 40 mm, avec respectivement 50% pour le premier banc, 55% pour le deuxième et 49% pour la troisième.

Les médianes vont dans le même sens, ils enregistrent respectivement 50 mm à Bouderbala et 40,2mm en aval de la confluence de l'Oued Jdida, alors que le troisième échantillon enregistre 40,5 mm. En ce qui concerne le diamètre maximal observé (D_{max}), on a obtenu les valeurs suivantes : 90mm, 60,5mm et 90mm.

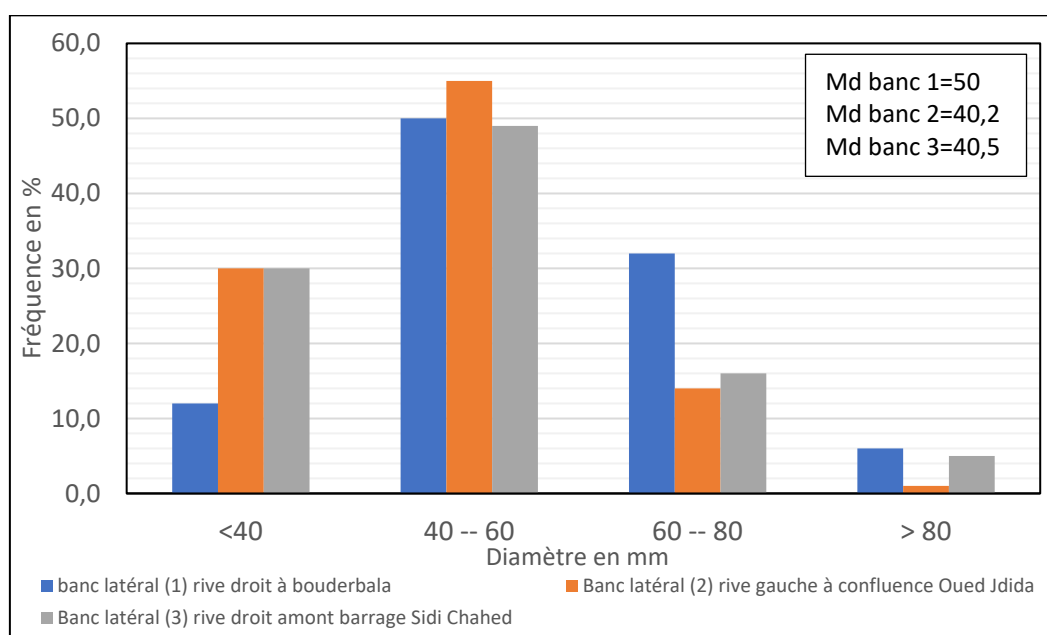


Figure 4.21 : granulométrie des galets des bancs alluviaux de lit mineur de l'Oued Mikkès, dans le plateau de Meknès (1) et la plaine de Saïs (2 et 3).

Paramètre granulométrique	Banc latéral (1) Plateau de Meknès	Banc latéral (2) plaine de Saïs - amont (2)	Banc latéral (3) Plaine du Saïs- aval
Classe modale (mm)	40-60	40-60	40-60
Médiane (mm)	50	40,2	40,5
D max (mm)	90	60,5	90

Tableau 4.4 : paramètres granulométriques des galets des bancs alluviaux du lit mineur dans le plateau de Meknès et plaine de Saïs.

b-. Pétrographie des galets

Les spectres pétrographiques des galets des prélèvements précédents montrent une prédominance des calcaires dont le pourcentage oscille entre (45 et 62%). En deuxième ordre, figurent les dolomies (respectivement : 30%,25% et 20%) et les grès avec un pourcentage variable de 20% à 30%. Finalement, viennent les basaltes avec un pourcentage de 8% à 10%.

L'importance des roches carbonatées témoignent bien des affleurements des calcaires et dolomies qui affleurent dans le bassin versant amont de l'Oued Mikkès.

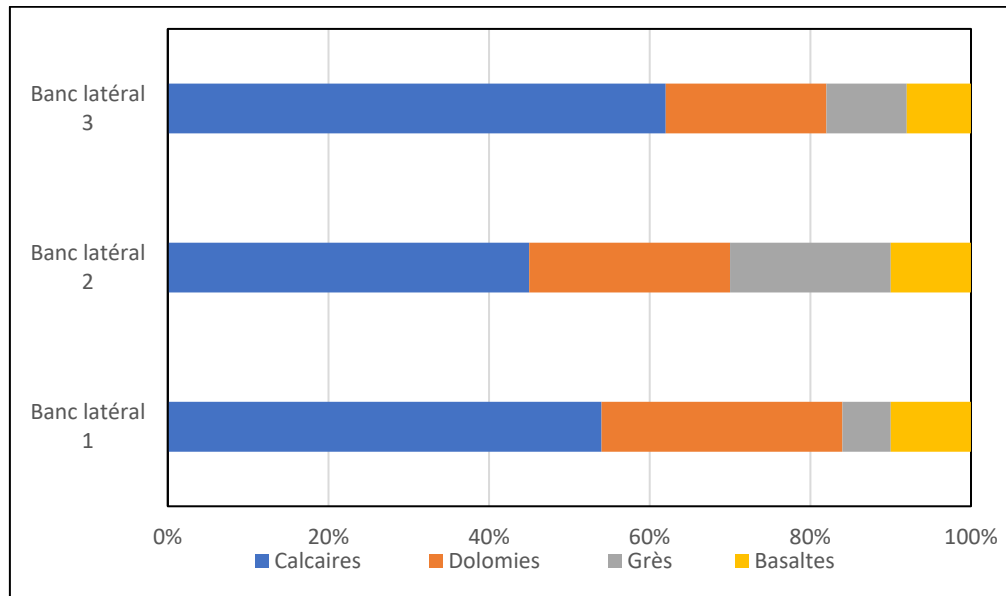


Figure : 4.22 : spectres pétrographiques des galets du lit mineur du Moyen Mikkès dans le Saïs.

c.- Morphométries des galets

Les mesures ont été appliquées systématiquement comme pour l'analyse granulométrique et pétrographique sur 100 galets des calcaires, les résultats obtenus s'expliquent comme suit :

L'indice d'émoussé (IE) (fig.4.23. a) montre des valeurs qui sont étalées sur un large intervalle allant de 222 à 800. La répartition de ces valeurs par classe fait apparaître une classe modale asymétrique située entre 500 et 600 avec une fréquence de 40, 9%, les médianes situées dans ces classes montrent les valeurs respectivement 615 ; 571 et 579, ces galets sont arrondis et lisses, ce qui indique probablement un long trajet parcouru depuis les hautes altitudes du causse moyen atlasique.

Les indices d'aplatissement (fig.4.23. b), montrent la dominance des valeurs situées dans l'intervalle 1-2, pour les bancs dont les médianes enregistrent respectivement 1, 5, et 1,9. Pour le banc latéral 1 (à Bouderbala) la valeur se concentre dans l'intervalle 2-3, avec une médiane de 2,3.

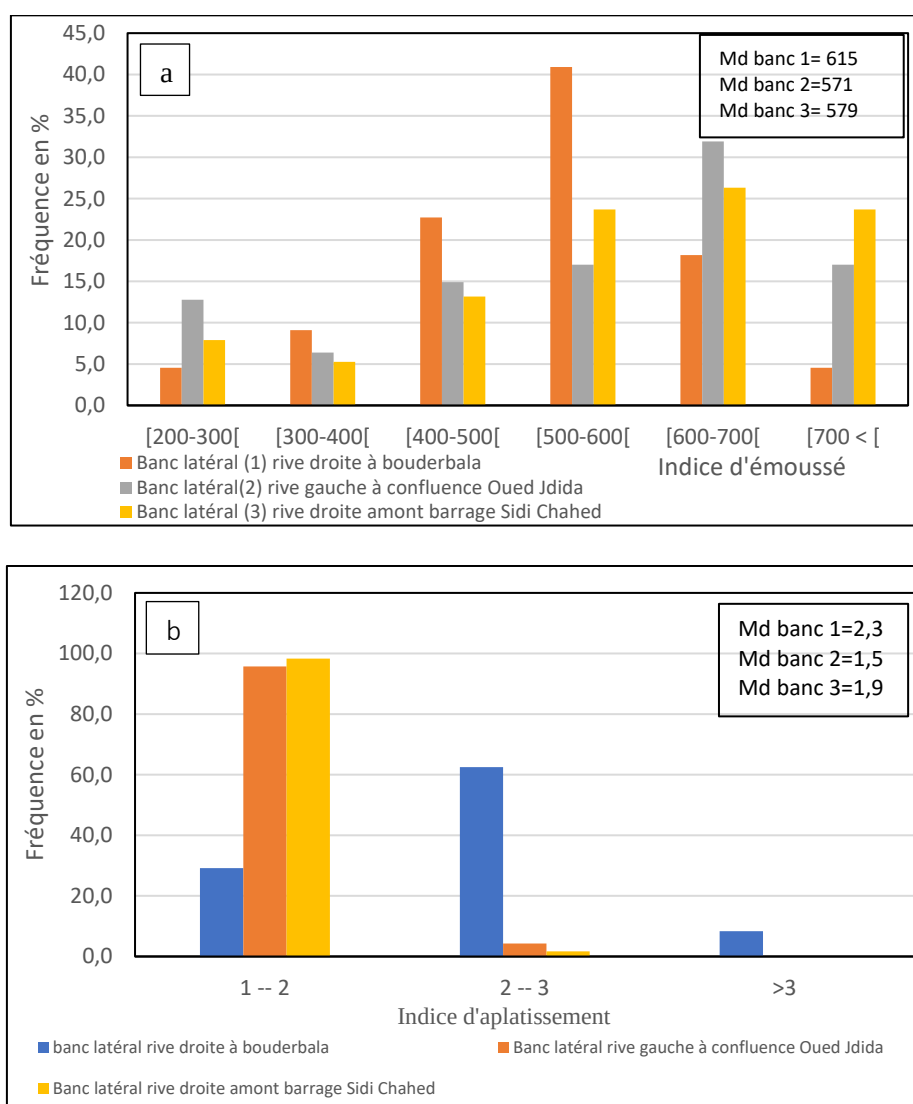


Figure 4.23 : indices d'émoussé et d'aplatissement des galets du lit mineur du Moyen Mikkès

a) Indices d'émoussé, b) Indice d'aplatissement.

3.3.3.- Analyse de la fraction fine

a.- Granulométrie des sables

Pour caractériser la fraction sableuse qui se trouve au niveau du tronçon médian du lit mineur de l'Oued Mikkès, nous avons analysé deux échantillons. Le premier est prélevé du chenal d'étiage au niveau du plateau de Meknès, dans le secteur de Bouderbala (X : 510000 ; Y : 380000) ; le deuxième pris d'un banc latéral du lit mineur dans la plaine du Saïs, en amont du barrage Sidi Echahed, (x : 508000, y : 382000).

Dans un premier temps, on a réalisé le tamisage de 600g des sédiments du chenal d'étiage à Bouderbala, l'échantillon montre un taux de 48% de graviers, 36% de sable et 15,35 % de limons et argiles. Ces pourcentages reflètent une texture moyenne à grossière du sédiment. L'analyse de 600 g de matériel alluvial du banc latéral, pris dans la plaine de Saïs, en amont

de la retenue du barrage, montre des taux de 17,69% des graviers, 23,35% des sables et 58,97% des classes fines des valeurs en présentant une texture plus fine.

Pour l'analyse granulométrique détaillée, destinée à la fraction sableuse, elle a concerné des échantillons de banc latéral et du Chenal d'étéage. Les résultats obtenus sont représentés sur les graphes ci-dessous (fig. 4.24).

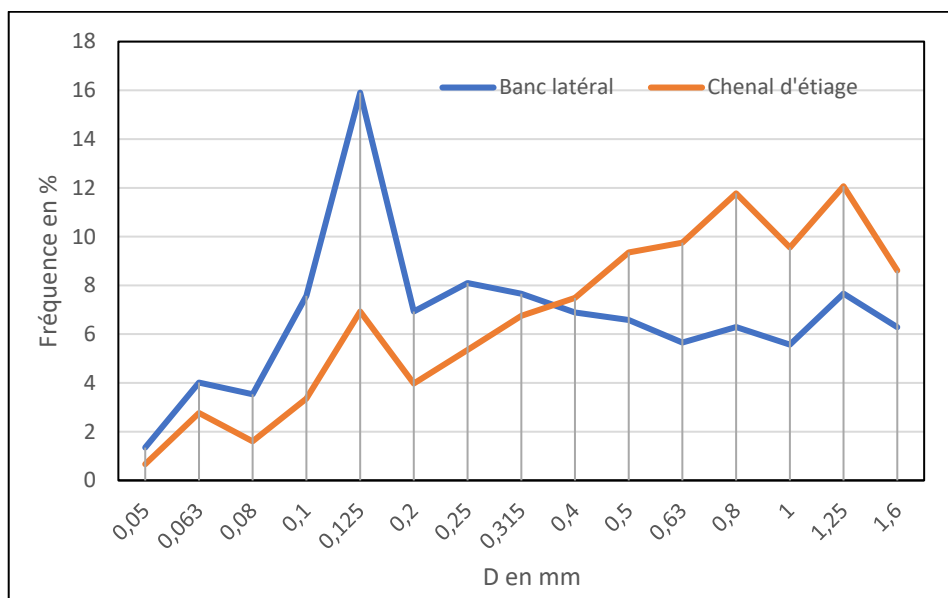


Figure 4.24 : courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de banc latéral et chenal d'étéage du lit mineur de l'Oued Mikkès

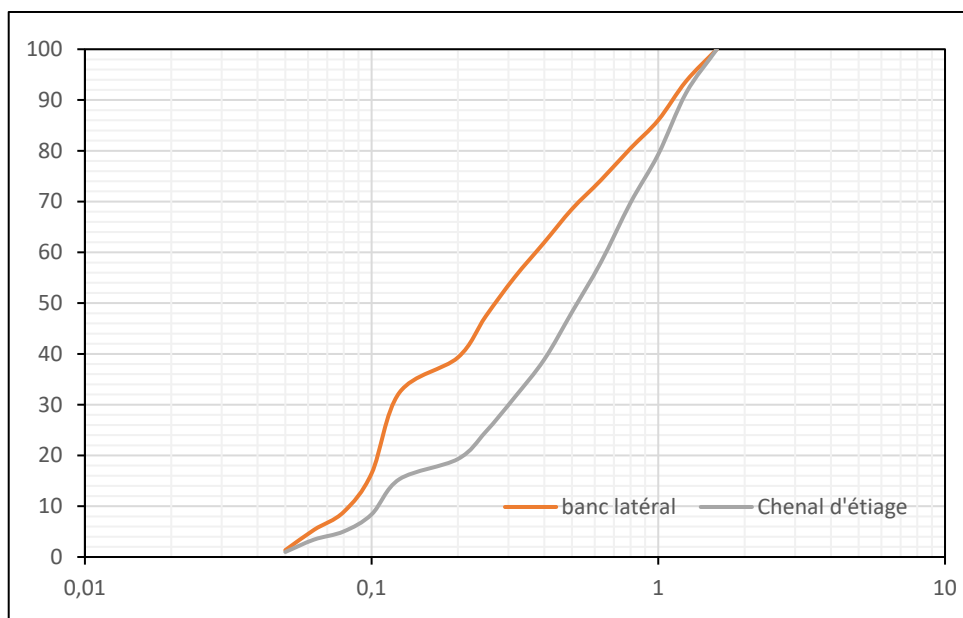


Figure 4.25 : courbes cumulatives des classes granulométriques des sables du chenal d'étéage et banc latéral du tronçon médian de l'Oued Mikkès.

Paramètres granulométriques	Banc latéral	Chenal d'étiage
Q1	0,13	0,25
Q2	0,25	0,5
Q3	0,6	0,9
Le grain moyen (Mz)	0,47	0,29
La médiane (Md)	0,23	0,08
Classe modale (CM)	0,125	1,25
Indice de classement S0	0,46	0,53
Indice de classement SK	1,24	0,9

Tableau 4.5 : paramètres et indices granulométriques des fractions fines sables.

En ce qui concerne le graphe (fig.4.25), les échantillons analysés montrent des courbes cumulatives asymétriques, pour l'échantillon du banc latéral ; il dévoile une tendance vers les classes fines ; par contre la courbe cumulative de l'échantillon du chenal d'étiage enregistre une évolution vers des classes grossières. Les deux échantillons ont une médiane qui est égale 0,25 mm et 0,5 mm. La courbe cumulative de la fraction fine du banc latéral à Bouderbala enregistre une valeur de 0,13 mm pour le premier quartile et 0,6 mm pour le troisième quartile. L'indice de classement S0 calculé indique que les sables sont bien classés, la déviation interquartile SK montre 1.24 en manifestant un meilleur classement des fractions grossières. L'échantillon du chenal d'étiage indique que les quartiles Q1 et Q3 enregistrent 0,09 mm et 0,20 mm ; alors que l'indice de classement Sk atteste une évolution de classement vers les grossiers (tab.4.5).

4.- Typologie des berges et caractéristiques des ripisylves du Moyen Mikkès

4.1.- Typologie des berges

L'étude des caractéristiques des berges demeure primordiale dans les études hydrogéomorphologies fluviales ; l'étude des berges est basée essentiellement sur l'observation et la réalisation des coupes verticales, la description de leurs caractéristiques lithologiques, leur hauteur, l'érodabilité et les processus d'érosion associés à leur dynamique. À cet égard, nous avons étudié des berges, qui sont réparties tout au long du tronçon jusqu'à la retenue du barrage Sidi Echahed. L'étude s'est basée sur cinq critères fondamentaux : la lithologie, la hauteur, la végétation, les formes d'érosion et la susceptibilité à l'érosion. Pour déterminer une typologie des berges et leur répartition spatiale, nous avons distingué quatre types qui sont révélateurs de

l'état de stabilité et d'érosion : berges stables, berges sapées actuellement, berges sapées périodiquement et berges dégradées.

La quantification spatiale des différents types est établie à partir des images Sas Planet (2018) et en utilisant le logiciel Global Mapper (2020), complété par les travaux de terrain. Le récapitulatif en nombre de segments et en pourcentage de chaque type et sous-types est représenté dans le tableau (tab.4.6) et le graphe (fig.4.26).

	Berges stables	Berges sapées actuellement	Berges sapées périodiquement	Berges dégradées	Total
Longueur en (m)	54138	3975	43881	9509	111504
Fréquence %	48,55	3,57	39,35	8,53	100%

Tableau 4.6 : longueurs des types de berges du tronçon médian de Mikkès

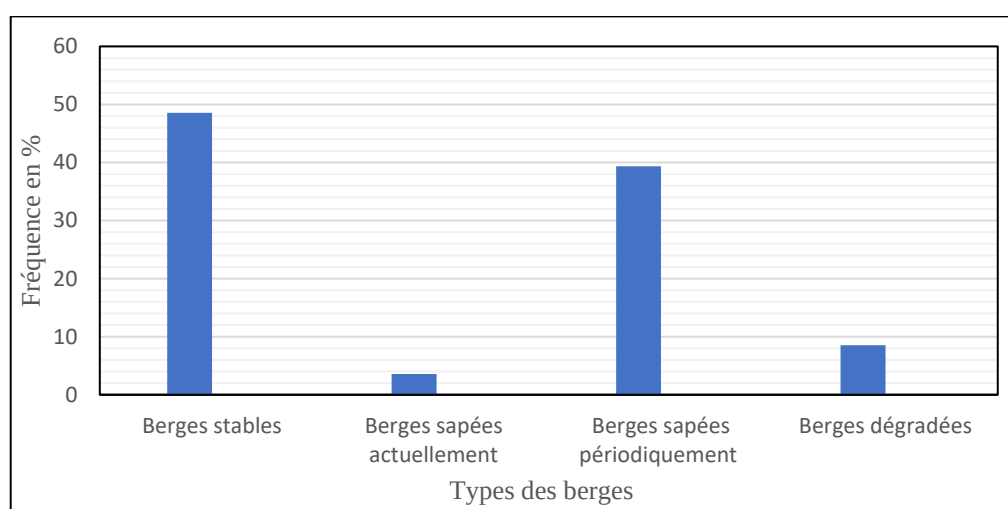


Figure 4.26 : répartition des types des berges selon leurs proportions des longueurs respectives, le long du Moyen Mikkès.

4.1.1.- Berges stables : elles sont les plus dominantes au niveau de ce tronçon ; elles sont stables à l'érosion fluviale, du fait qu'elles sont protégées par des ripisylves (Laurier, roseaux.....) et aussi ou par les caractéristiques lithologiques résistantes de leurs constituants (pl.ph.4.3. b). La hauteur de ces berges varie entre 0.5 et 3 m, selon la situation en amont ou en aval du sous-tronçon, soit elle dépend de leur situation sur la rive concave ou convexe. En effet,

ce sous-type de berge est le plus fréquent du fait qu'il occupe près de 48,55% du tracé du sous-tronçon fluvial étudié.

4.1.2.-Berges sapées actuellement : elles sont moins fréquentes le long du tronçon avec un pourcentage de 3,57%. Elles ne portent pas de végétation, et sont souvent situées en rive concave, où elles sont sapées intensément, surtout pendant la période hivernale, lors des crues. (pl.ph.4.3.a). La hauteur de ces berges varie selon les secteurs ; elle est faible à l'amont du tronçon (< 1,5 m) et importante à l'aval (> 2 m). Notons que le taux en pourcentage des berges sapées actuellement augmentent de l'amont vers l'aval de façon graduelle, du fait que l'oued le long de son cheminement reçoit des affluents importants qui engendrent l'accroissement des débits liquides, l'augmentation de la vitesse et le creusement linéaire et sapement latéral des berges.

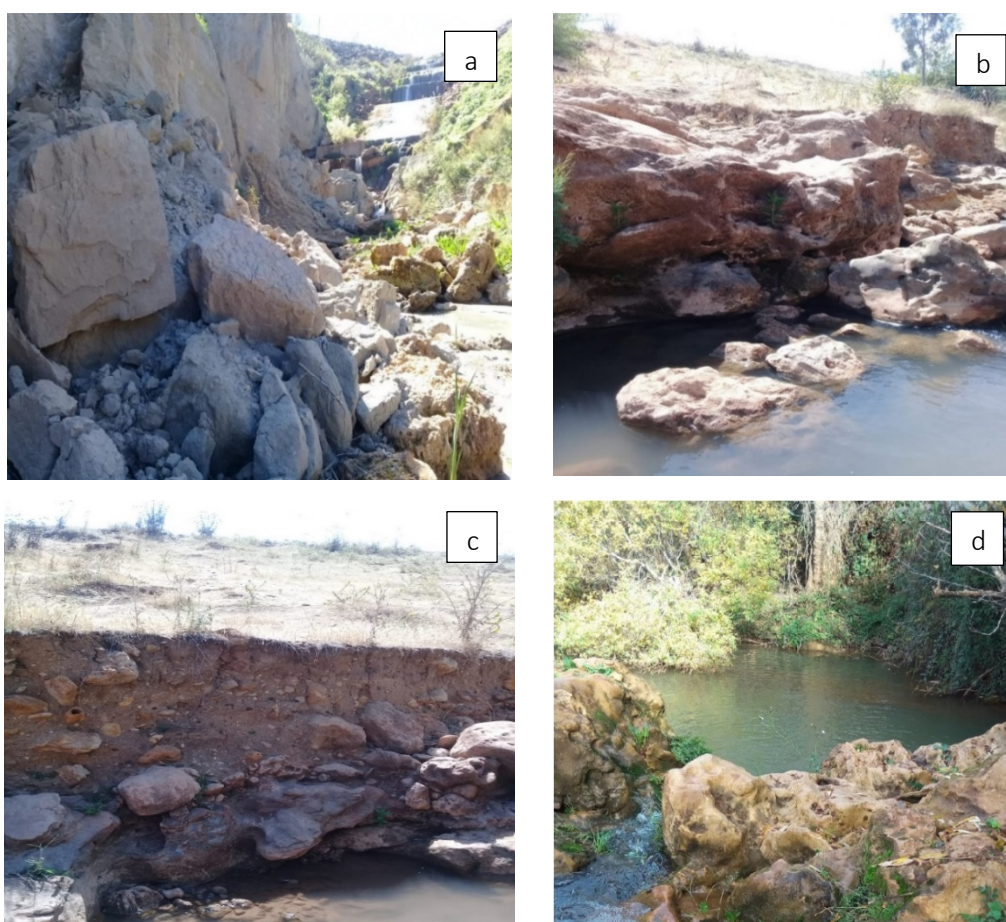


Planche photos 4.3 : exemples des types des berges du tronçon médian de Mikkès

a) : berge sur la rive droite sapée actuellement, taillée dans les formations meubles marneuses, à l'amont du barrage Sidi Echahed, (04/05/2018). b) : Berge stable sur la rive droite taillée dans le substratum carbonaté au voisinage Douar Mghila (04/05/2018). c) : Berge sapée périodiquement taillée dans les formations lacustres, rive droite du Mikkès au secteur d'El Madhouma (07/06/ 2017) d) : Berge stable colonisée par une ripisylve dense, rive gauche à l'amont du barrage Sidi Echahed (07/04/2018).

4.1.3.-Berges sapées périodiquement : elles sont les plus fréquentes le long du tronçon et occupent 39,35 %(pl.ph.4.3.c). La hauteur de ces berges varie selon, les secteurs. En effet, pendant la période des crues, la montée des eaux entraîne un changement de direction du courant vers le talus. Ce phénomène ponctuel favorise la stabilité des berges. L'ampleur de ces sapements périodiques des berges varie d'une année à l'autre en fonction de l'intensité du courant.

4.1.4.-Berges dégradées : Cette situation concerne souvent les berges qui ont une faible hauteur (moins de 0.50 m), elles sont moins fréquentes le long du tronçon et se localisent préférentiellement dans les secteurs larges ; elles occupent 8,53% du tracé du tronçon fluvial étudié. Ce type de berges est sujet d'un aménagement anthropique, par murs de soutènement ou par gabions. Autrefois, cet aménagement, se faisait d'une manière traditionnelle, et visait à réduire les pertes des terres agricoles et les cultures. Ces berges concernent généralement les zones les plus vulnérables à l'érosion, soit au niveau des parties concaves larges, soit au niveau des confluences avec les principaux affluents torrentiels.

4.2.- La ripisylve

La ripisylve du moyen Mikkès s'organise en plusieurs formes, la plus stable et dominante est la colonisation des berges limoneuses. Parfois, elle épouse longitudinalement les chenaux principaux, comme elle peut coloniser entièrement les bancs alluviaux sur une grande superficie. Par endroits, elle peut être limitée à quelques pieds isolés à l'intérieur du lit moyen. Cependant, la distribution spatiale de la ripisylve n'est pas uniformément répartie entre les deux secteurs du tronçon moyen Mikkès.

4.2.1.- La ripisylve dans le domaine du plateau de Meknès

La ripisylve est discontinue avec un recouvrement très faible. Elle est représentée essentiellement par des plantes annuelles à période végétative très courte. On peut aussi y trouver quelques espèces arborées à système racinaire très développé qui atteint les réserves hydriques souterraines, mais celles-ci sont limitées à quelques pieds du camp des frênes (*Pistacia*) et figuier sauvage (*Ficus carica*), (pl.ph.4.4).

4.2.2.- La ripisylve dans la plaine de Saïs de Fès

Dans ce secteur, l'écoulement plus ou moins permanent, la présence de l'eau occupant les mouilles et les sols limono-argileux favorisent la prolifération et la croissance d'une ripisylve naturelle relativement dense, et largement diversifiée ; on peut distinguer :

a.- La ripisylve arbustive, installée préférentiellement au sein du lit mineur ; elle est relativement instable et clairsemée puisqu'elle subit des événements réguliers de perturbation

par l'écoulement de l'oued ; elle est constituée essentiellement par : le Tamarix, de laurier rose, le roseau.

b.- La ripisylve arborée est liée surtout au lit majeur, plus précisément aux banquettes alluviales et subit moins les effets des perturbations hydrauliques. Ce type de ripisylve est le plus souvent représenté par : *Alnus*, *Fraxinus*, *Ulmus*, (pl.ph.4.4).

Sur le plan hydromorphodynamique, le rôle de la ripisylve au niveau de ces deux secteurs étudiés du moyen Mikkès, comme pour le tronçon amont décrit précédemment, semble primordial dans la dynamique de la bande active. Sa présence augmente la rugosité du lit et contribue au ralentissement des écoulements et le piégeage des matériaux en transit dans le lit. La stabilisation des berges apparaît aussi comme un des rôles de cette végétation naturelle.

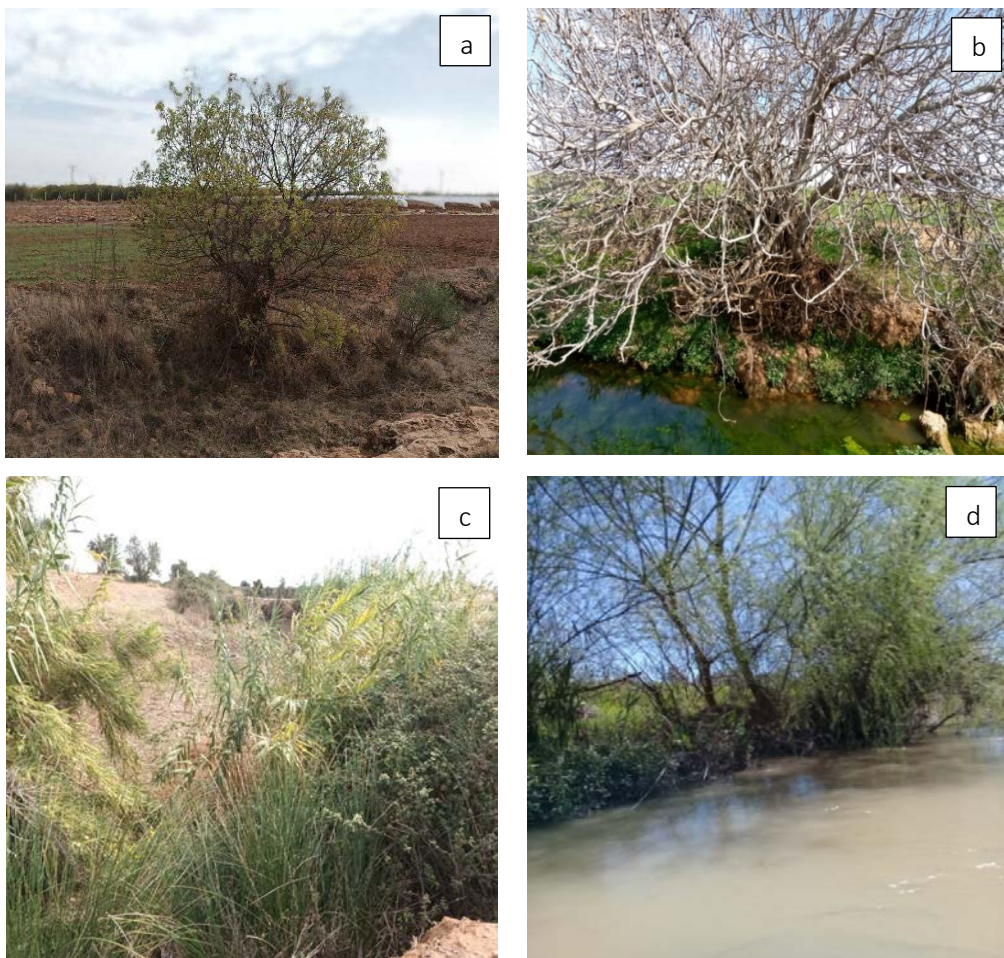


Planche photos. 4.4. Exemples de la ripisylve des berges du Moyen Mikkès

- a: Pistachier (*Pistacia*) sur la rive droite de l'Oued Mikkès près du pont de Bouderbala (Mars 2018).
- b : Figueur sauvage (*Ficus carica*) sur la rive droite de Mikkès à Douar Mahdouma (Mars 2018).
- c : Roseaux (*Phragmites australis*) en rive gauche du Mikkès près du Douar Mghila (Mars 2018).
- d : Tamarix, en rive droite du Mikkès amont du barrage Sidi Echahed (Mars 2018).

5.- Etude diachronique du tracé du lit d'Oued Mikkès dans la plaine du Saïs entre 1974 et 2020

Pour suivre l'évolution du tracé de l'Oued Mikkès, nous avons étudié le tronçon dans le secteur d'El Madhouma dans le Saïs de Fès ; nous avons procédé à la comparaison entre les tracées des lits des années 1974, 2006 et 2020 (fig.4.27) ; ce qui a permis de juger l'évolution rapide du tracé du lit mineur, comme suivant :

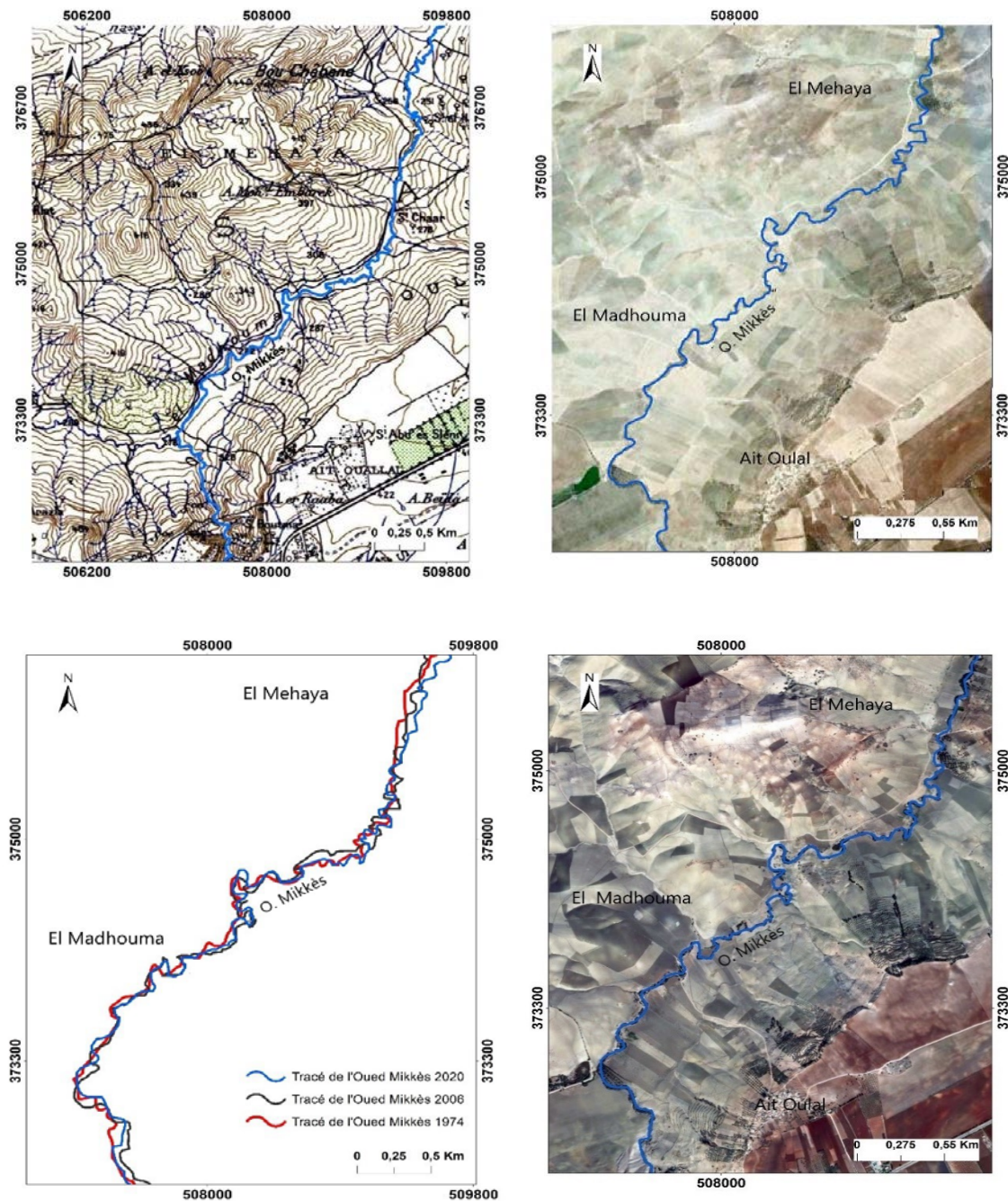


Figure 4.27 : évolution du tracé de l'Oued Mikkès dans le Saïs de Fès durant les années 1974, 2006 et 2020, cas du secteur d'El Madhouma (en bas à droite, superposition des trois situations : carte topographique Sebâa Aïoun 1974, image Google Earth 2006, image Google Earth 2020).

Situation de 1974 (d'après la carte topographique Sebâa Aioun 1974) : le secteur choisi est d'une longueur réelle du chenal de 18,34 km. Il s'agit d'un style divagant caractérisé par la présence d'un chenal principal, avec parfois dans de courtes sections, deux ou plusieurs chenaux et de nombreux bancs alluviaux qui sont peu ou pas végétalisés. L'indice de sinuosité calculé est de 1,45.

Situation en 2006 (d'après image Google Earth 2006) : la longueur du chenal et l'indice de sinuosité restent approximativement les mêmes (Longueur : 18,40km, Indice de Sinuosité : 1,42). La majorité des boucles de méandres n'ont pas beaucoup évolué ; elles ont gardé presque la même allure ; sauf dans certains sites où elles enregistrent une légère translation soit vers la droite ou vers la gauche de l'oued.

Situation en 2020 (d'après image Google Earth 2020) : Oued Mikkès montre un style divagant avec une légère différence puisque sa longueur a augmenté pour atteindre 18,70 km) ; l'indice de sinuosité est de l'ordre de 1,69. En termes de l'évolution des méandres, d'après les observations contrôlées par des visites du terrain, il existe plusieurs traces de bras morts bien individualisés dans la plaine alluviale, où ils sont occupés par une végétation hygrophile très dense. Ce qui témoigne d'une forte mobilité du chenal durant cette période.

Conclusion

Dans ce chapitre, les terrains traversés par le Moyen Mikkès de Saïs correspondent à des formations marneuses, carbonatées et alluviales mio-plio-quaternaires, surmontant les calcaires et les dolomies du Lias et les formations carbonatées complexes du Dogger. Les caractéristiques géologiques et morpho-structurales de ces terrains contrôlent les conditions morphologiques de la vallée du Mikkès et de sa plaine alluviale de l'amont vers l'aval. La flexure d'Ain Taoujdate a eu un impact primordial dans la morphologie du Saïs, en y individualisant le plateau de Meknès et la plaine de Fès.

Sur le plateau de Meknès, le fond de vallée est encaissé et la plaine alluviale révèle une forme rétrécie avec un remplissage sédimentaire qui ne dépasse pas 2 m, composé essentiellement de dépôts fins sablo-limoneux, parfois à base grossière. Dans le Saïs de Fès, la plaine alluviale est plus ou moins large et son remplissage sédimentaire avoisine 2 m d'épaisseur visible. Il montre la superposition de 4 unités sédimentaires, caractérisées principalement par l'alternance de niveaux essentiellement fins sablo-limoneux. Les faciès grossiers, rares, apparaissent en bas de la coupe.

Le lit fluvial montre un lit mineur bien distinct et un lit moyen discontinu. Sa géométrie est influencée par les conditions structurales du substratum encaissant et guidant la dynamique fluviale en favorisant la variation de sa largeur (de 3m à 58m). Dans le plateau de Meknès, le chenal d'écoulement dessine des tracés rectilignes alternés avec des sinueux ; il devient plus méandrique et mobile dans les secteurs aval ; notamment dans le domaine du Saïs de Fès, où la plaine alluviale est plus large et la pente est faible (0,01%).

L'analyse de la fraction grossière des galets du lit mineur du Moyen Mikkès dégage la dominance des formations carbonatées issues préférentiellement du Causse moyen atlasique et des terrains carbonatés pliocènes de Saïs. Les galets sont bien émoussés indiquant des apports lointains, par comparaison à ceux du tronçon du Haut Mikkès (Tizguit). L'analyse granulométrique de la fraction fine du remplissage du lit mineur reflète l'importance des sédiments fluviaux sableux et limoneux, qui sont bien classés. Elle met également en évidence une certaine hétérogénéité des sédiments indiquant des apports locaux d'origine latérale.

Les berges de l'Oued Mikkès de Saïs montrent quatre types distincts : berges stables, les plus représentées suivies de berges sapées périodiquement, de berges sapées actuellement et de berges dégradées. La distribution spatiale de la ripisylve n'est pas uniformément répartie entre l'amont et l'aval du tronçon. Elle est plus développée à l'aval dans le Saïs de Fès qu'à l'amont dans le plateau de Meknès.

L'étude diachronique du tracé du Mikkès de Saïs est effectuée entre 1972 et 2020, elle ne montre pas de modification importante dans le tracé et la morphologie de l'oued au cours des dernières décennies ; en revanche, elle a mis en évidence une mobilité importante du chenal traduite par une mutation des méandres et l'existence de bras morts.

En comparant avec le tronçon amont du Haut Mikkès moyen atlasique, nous constatons que la vallée du Moyen Mikkès change sa forme suivant la nature géologique des terrains traversés et leur contexte géomorphologique, avec des secteurs de rétrécissement et d'autres d'élargissement, selon la résistance des terrains traversés. Ainsi, largeur de la plaine alluviale qui fluctuait autour d'une médiane de 55 m dans le causse moyen atlasique, devient plus étroite au niveau du plateau de Meknès ne dépassant pas 10m ; par contre dans le Saïs de Fès, elle s'est élargie progressivement pour dépasser 700m plus au Nord. Le lit fluvial, marqué par des ruptures de pentes et des cascades karstifiées dans le haut Mikkès, il devient subrectiligne dans le plateau de Meknès et de plus en plus sinueux et à méandres dans le tronçon du Saïs de Fès.

La comparaison des remplissages alluviaux de la plaine alluviale montre que dans le Haut Mikkès, ils sont formés principalement d'alluvions grossières et des travertins, coiffés par un recouvrement limoneux. Dans le tronçon le Moyen Mikkès du Saïs, il s'agit principalement d'alternance de niveaux fins sablo-limoneux, à base grossière, peu présentée. La comparaison des résultats granulométriques des galets à l'échelle de lit mineur montre que ces galets deviennent de plus en plus émoussés, ce qui indique le long trajet parcouru depuis les versants proximaux du causse moyen atlasique. La même tendance sédimentaire est observée dans l'évolution amont aval des sédiments du lit actuel de l'oued.

Quant aux berges et les ripisylves qu'elles supportent ; elles varient intensément selon, les conditions lithologiques des terrains traversés et de la dynamique hydro-morphosédimentaire du cours d'eau dans chaque tronçon de l'oued. De façon générale, elles ont gradé leurs aspects naturels et leur richesse écologique dans le tronçon du Haut Mikkès dans le Moyen Atlas. Elles se trouvent très dégradées par l'action anthropique dans le tronçon du Moyen Mikkès du Saïs.

Chapitre 5 :

Morphodynamique fluviale du Bas Mikkès dans le Prérif

Introduction

- 1.- Contextes géologique et géomorphologique et morphologique de la vallée**
- 2.- La plaine alluviale du Bas Mikkès dans le Prérif**
- 3.- Morphologie et caractéristiques morpho-sédimentaires du lit de l'oued**
- 4.- L'influence des dynamiques latérales**
- 5.- Typologie des berges et caractéristiques de la ripisylve**

Conclusion

Introduction

Ce chapitre étudie le tronçon aval de la vallée de l'Oued Mikkès, qui s'inscrit dans la partie septentrionale du bassin versant dans le domaine des collines prérfaines. Ici la vallée s'étend sur environ 55 km, depuis sa sortie du Saïs jusqu'à la confluence avec Oued Sebou, au niveau de Oulad Jrar (fig.5. 1). Signalons que le barrage Sidi Echahed est mis en service en 1996 sur l'Oued Mikkès il se trouve à l'entrée de ce domaine, juste à l'amont de centre rural de Mikkès.

Comme dans les cas du Haut et du Moyen Mikkès, l'objectif de ce chapitre, est de dégager les caractéristiques essentielles de la morphodynamique fluviale de l'Oued Mikkès à l'aval du barrage Sidi Echahed. Après la présentation du contexte géologique et géomorphologique et la configuration morphologique de la vallée, l'étude abordera successivement la plaine alluviale, le lit de l'oued, les berges et la ripisylve associée. Finalement, une étude diachronique sera réalisée, afin de suivre l'évolution du tracé du chenal de l'oued durant les 5 dernières décennies.

En plus des investigations de terrain, nous avons exploité dans ce chapitre des documents cartographiques (carte géologique : feuille de Fès- ouest, 1/50000 ; cartes topographiques : feuilles de Bni Ammart et Fès-Ouest, 1/50000), les photos aériennes missions 1962, 1/25000 et l'image satellitaire de Google Earth et Sas Planet, 2022.

1.- Contextes géologique et géomorphologique et morphologique de la vallée

1.1.- Contexte géologique et géomorphologique

À la sortie du bassin de Saïs, le Mikkès façonne sa vallée dans un domaine caractérisé par une complexité structurale et une grande variété lithologique ; il s'agit du domaine des nappes prérfaines qui couvrent presque 40 % de la superficie du bassin du Mikkès. Les terrains y sont formés par des faciès variables, dont la stratigraphie s'échelonne du Trias au Pliocène et Quaternaire, comme suivant :

- Trias : ses formations sont constituées des argiles rouges, à gypse et sels... ; les instructions triasiques affleurent le long de la vallée de l'Oued Mikkès et ses affluents, sous forme de lames injectées dans les contacts anormaux.
- Lias : ses affleurements sont limités dans le secteur étudié ; ils sont représentés par des écaillés calcaires émergeant au milieu des basses collines prérfaines, ils forment des sommets élevés telle la crête de Jbel Zerhoun (1118 m) sur la rive gauche de Mikkès.
- Crétacé : il est représenté par des marno-calcaires du Crétacé supérieur.
- Oligocène : ses formations sont constituées principalement par les marnes, les grès et les calcaires. Il est largement représenté dans le bassin du Bas Mikkès.

- Miocène : ses formations occupent une grande partie du bassin du Bas Mikkès, il est représenté par des marnes bleues, reposant directement sur des terrains charriés.
- Pliocène : il affleure au niveau du plateau du Saïs, il est représenté essentiellement par des formations calcaires lacustres.
- Quaternaire : est représenté par des alluvions des terrasses fluviales et les colluvions qui sont souvent des dépôts limoneux nivèlent les parties basses des plaines et affleurent aux bords des cours d'eau.

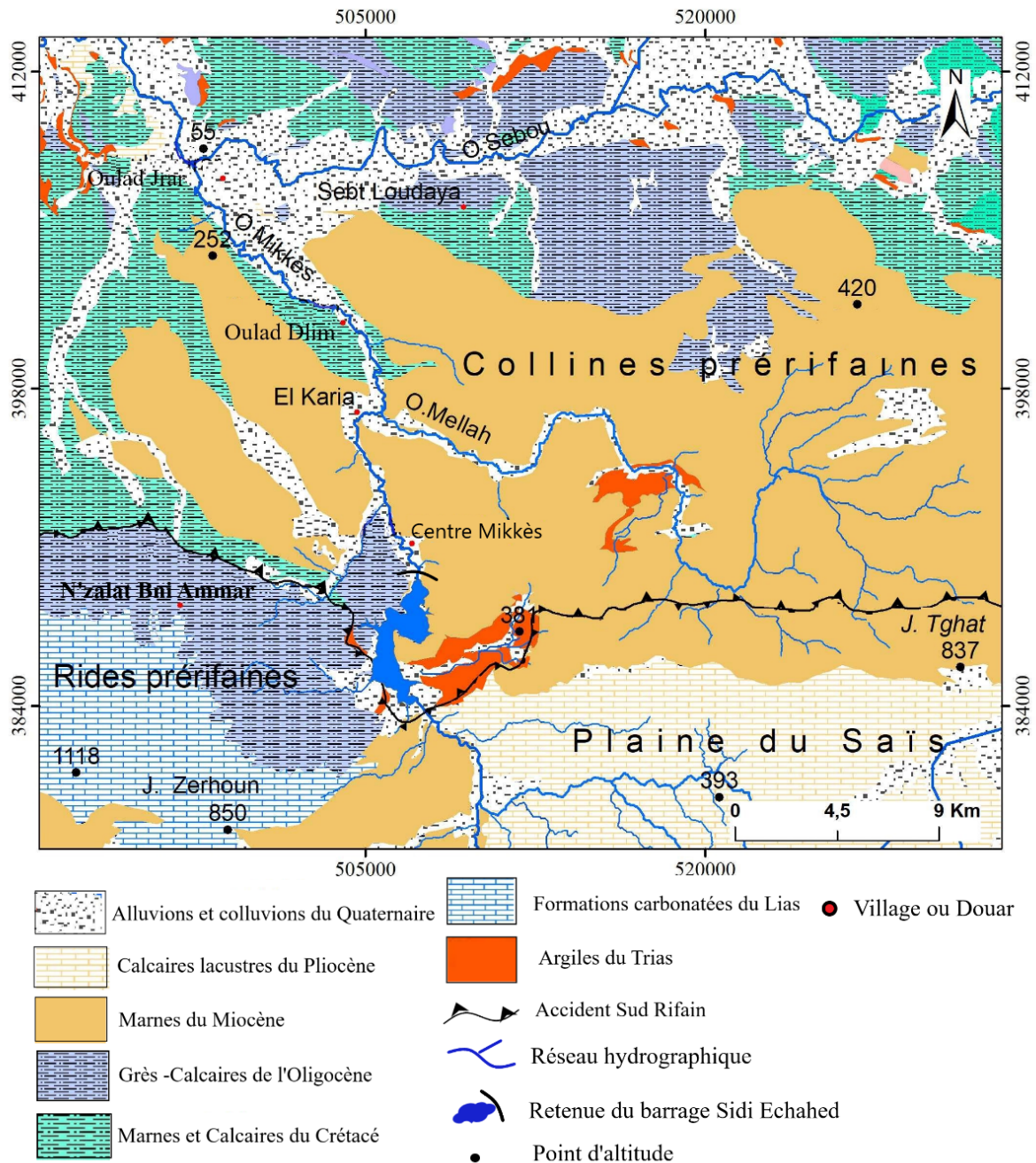


Figure 5.1 : croquis géologique simplifié du bassin versant de Mikkès dans le Prérif
(Extrait de la carte géologique de Fès–Ouest 1942, 1/10 000)

Du point de vue géomorphologique, le Prérif constitue un ensemble de collines d'orientation générale Est-Ouest, épousant la mise en place des nappes de charriages prérfaines. La plus haute altitude est située dans la partie orientale, à Jbel Tghat (836 m) dont le versant septentrional est drainé par l'Oued Mallah. Dans la partie occidentale de cet ensemble on note une augmentation de l'altitude des montagnes comme à Jbel Zerhoun qui atteint 1118m et à Jbel Kannoufa 1000 m. Plus au nord, dans les nappes prérfaines, les reliefs de collines sont généralement doux ; l'altitude décroît progressivement et les vallées sont plus ou moins profondes. Selon, les formations traversées par l'Oued Mikkès et ses affluents, comme Oued Mellah, affluent de rive droite. Le Mikkès conflue dans le fond de vallée du Sebou à Oulad Jrar (altitude 53m), à l'ouest de Sebt Loudaya.

1.2.- La Morphologie de la vallée du Bas Mikkès

Dans la majeure partie, la vallée du Bas Mikkès est remarquablement large dans le domaine prérfain. Cette largeur est variable en fonction de la répartition des ensembles lithologiques et leur disposition structurale. Ce qui influe le profil transversal de la vallée et l'extension de la plaine alluviale, ainsi que la sinuosité des méandres de l'oued. Afin de montrer les aspects de la section de la vallée et la morphologie de ses versants, trois profils transversaux ont été établis respectivement dans les parties amont, médiane et aval de la basse vallée prérfaine du Mikkès (fig. 5.2).

Le profil A (coordonnées : x : 502000, y : 393000 et x : 508000, y : 394000) est établi dans la partie amont, juste au débouché du barrage Sidi Echahed de quelques kilomètres au niveau de Centre du Mikkès (fig.5.3).

Ce profil transversal passe par Jbel Lamara (alt. 299 m), et Jbel Hajrat el Baz (alt. 335 m) et montre une vallée rétrécie avec un fond situé vers 140m d'altitude. Les versants sont dissymétriques et bien reculés ; celui de la rive gauche est long et de forme convexe au sommet et concave en bas ; il domine le fond de vallée d'un dénivelé de 200 m et présente une pente moyenne de 13 %. Le versant gauche est court et de pente forte, d'environ 18% ; et présente un dénivelé de 120m. Les deux versants sont façonnés dans un matériel lithologique homogène marneux du Miocène. Les versants sont intensément attaqués par les processus de ravinement qui se manifestent sous différentes formes.

Des formes hiérarchisées de ravinement, rectilignes et parallèles, lacèrent les dépôts colluviaux, dépassant parfois 1.5 m d'épaisseur, qui s'accumulent au pied des versants pour

former des cônes de déjection qui déferlent leur matériel sur la plaine alluviale ou directement vers le lit de l’oued.

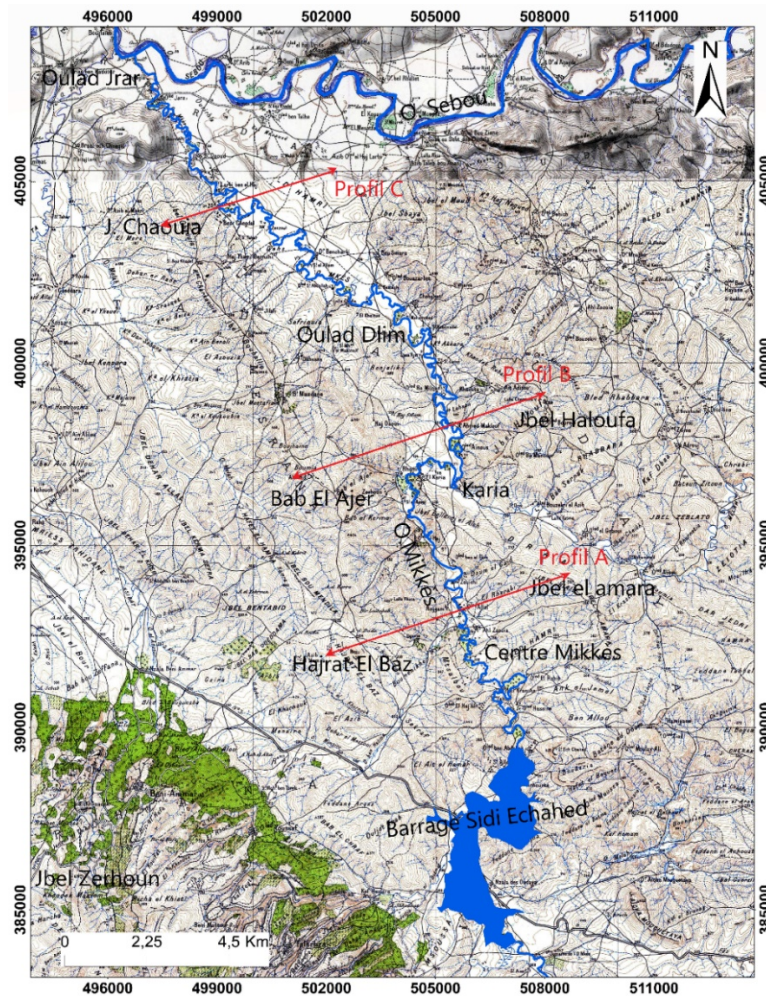


Figure 5.2 : localisation des profils en travers réalisés le long du tronçon de Mikkès aval (Extrait de la carte topographique 1/50000, feuille Bni Ammart 1942). A B et C : profils transversaux de la figure 5.3.

Profil B (coordonnées x : 500000, y : 397000 et x : 508000 ; y : 398000) est choisi dans la partie médiane du tronçon au niveau du Douar El Karia ; le profil montre un fond large d’environ 2500 m, dans lequel on observe distinctement un tracé très évasé qui paraît se raccorder à une phase ancienne d’incision de Mikkès. Les versants gardent toujours leur dissymétrie ; celui de la rive gauche est court, son sommet est situé à une altitude de 240m et présente une pente moyenne d’environ 6,6 %, soit un dénivelé de 100 m. Le versant de la rive droite est long, il correspond au versant Sud-ouest du Jbel Halloufa ; sa forme est irrégulière caractérisée par des ruptures de pente bien visibles dues à l’existence des différentes formes d’érosion. Ce versant montre une pente moyenne d’ordre 6,3%, soit un dénivelé de 100 m, par rapport au lit actuel de l’oued.

Profil C (coordonnées : x : 498000, y : 404000 et x : 502000 y : 405000), ce profil est réalisé dans le tronçon aval, en amont du Douar Oulad Jrar. Il passe par Jbel Chaouia qui domine le

versant Sud-ouest (alt. 125m) et Bled Hamri sur le versant Nord-est ; la vallée montre une certaine symétrie de part et d'autre d'un fond situé à 70 m d'altitude et de largeur mesurant environ 1200 m. Sur la rive gauche, le versant est taillé dans les formations marneuses du Miocène ; son sommet (J. Chaouia) est situé à une altitude d'environ 110 m, soit un dénivelé de 50 m par rapport au lit de l'oued et une pente moyenne de 3,12%. Sur la rive droite, le versant s'élève à une altitude atteint 1500 m, soit un dénivelé de 220m par rapport au lit de l'oued, et sa pente est de l'ordre de 3.6%.

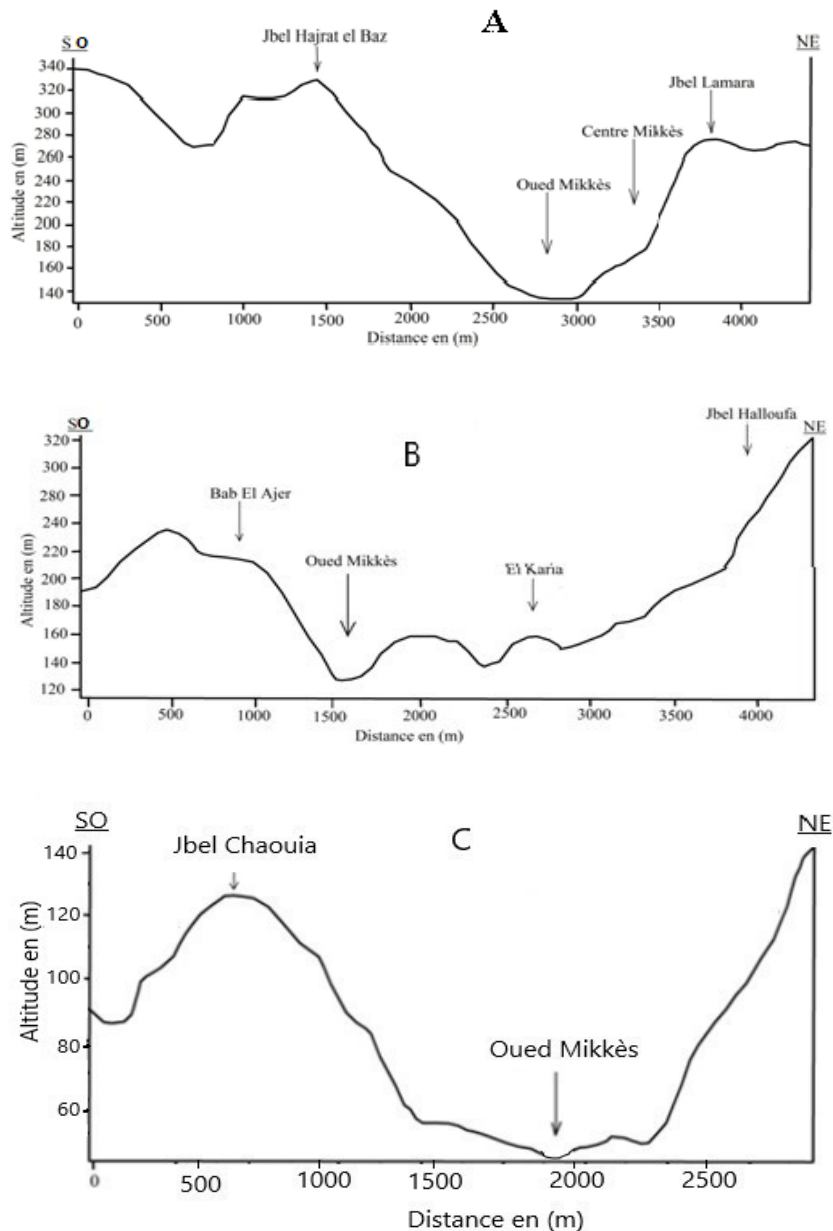


Figure 5.3 : profils en travers de la basse vallée de Mikkès (d'après la carte topographique 1/50000, feuille de Bni Ammart 1942) : a) profil A dans le secteur de centre Mikkès ; b) profil B dans le secteur de Oulad Dlim c) Profil C dans le secteur d'Oulad Jrar.

2.- La plaine alluviale du Bas Mikkès dans le Prérif

2.1.- Morphologie et extension générale

Dans le Prérif, la plaine alluviale est plus étendue par rapport aux tronçons précédents, étudiés dans le Saïs ; sa largeur peut dépasser 800m dans certains secteurs ; souvent, elle présente une surface relativement inclinée vers le lit actuel de l'oued, car elle est souvent drapée par des formations colluviales latérales issues des versants. Elle domine par un talus net dans le paysage du fond de vallée les lits moyen et mineur qui prennent un style méandriforme.

Sur la surface de la plaine alluviale, on peut observer dans certains tronçons, des traces de méandres anciens, déconnectés du lit actuel et abandonnés, ou partiellement connectés et régulièrement mis en eau lors des crues. Ces bras morts, qui témoignent des anciens tracés du cours d'eau, sont situés sur les marges latérales et au milieu de la plaine d'inondation. Ils permettent le développement d'une végétation aquatique riche et spécifique (ex : *Potamogeton nodosus* et *Typha latifolia* ...).

Ces annexes fluviales sont aisément identifiables directement sur le terrain et par le biais de l'image satellitaire. D'autre part, on observe sur les bordures externes de la plaine alluviale la présence de nombreux cônes de déjection qui envahissent les marges de la plaine alluviale, par les matériaux issus des versants limitrophes.

Nous donnons ci-dessous des exemples de l'aspect du paysage de fond de vallée et de la plaine alluviale du Bas Mikkès, dans différents secteurs le long de la vallée, de l'amont vers l'aval :

- La plaine alluviale, à l'amont de la retenue (fig.5.4).
- La plaine alluviale, à l'aval du barrage, dans le secteur de Centre Mikkès (fig.5.5).
- La plaine alluviale, dans le secteur d'Oulad Dlim (fig.5.6).
- La plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar (fig.5.7).

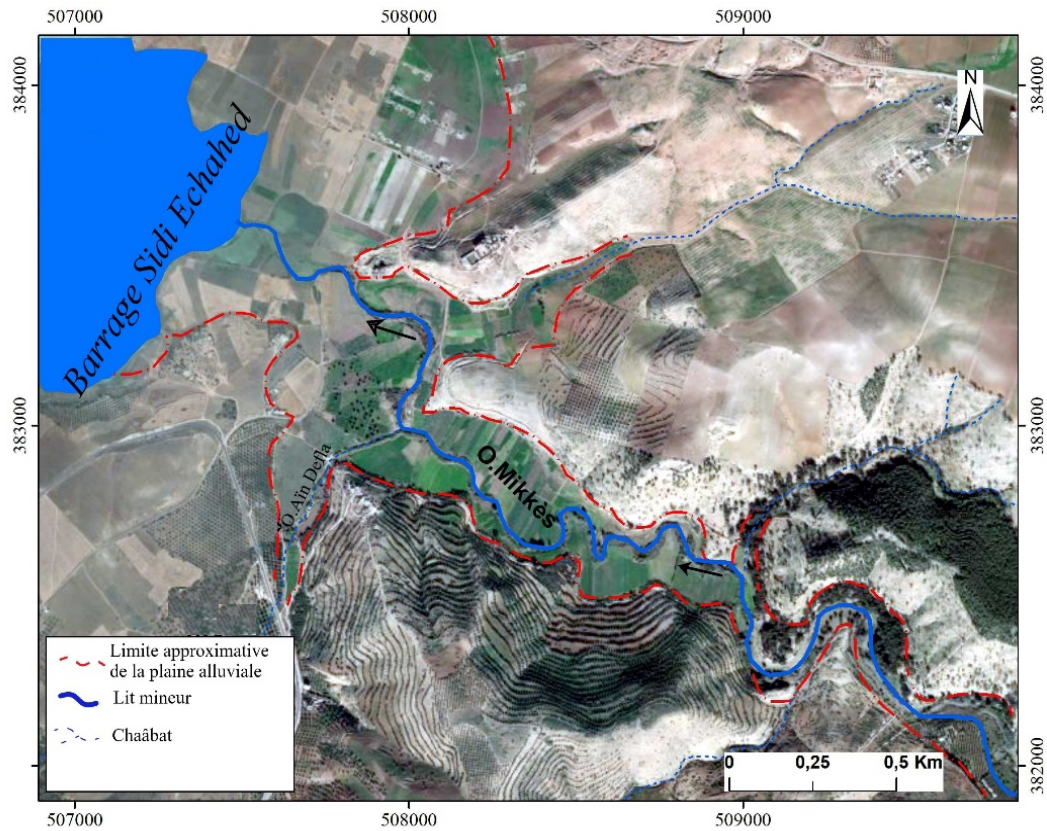


Figure 5.4 : la plaine alluviale, à l'amont de la retenue du barrage Sidi Echahed (Google Earth 2020)

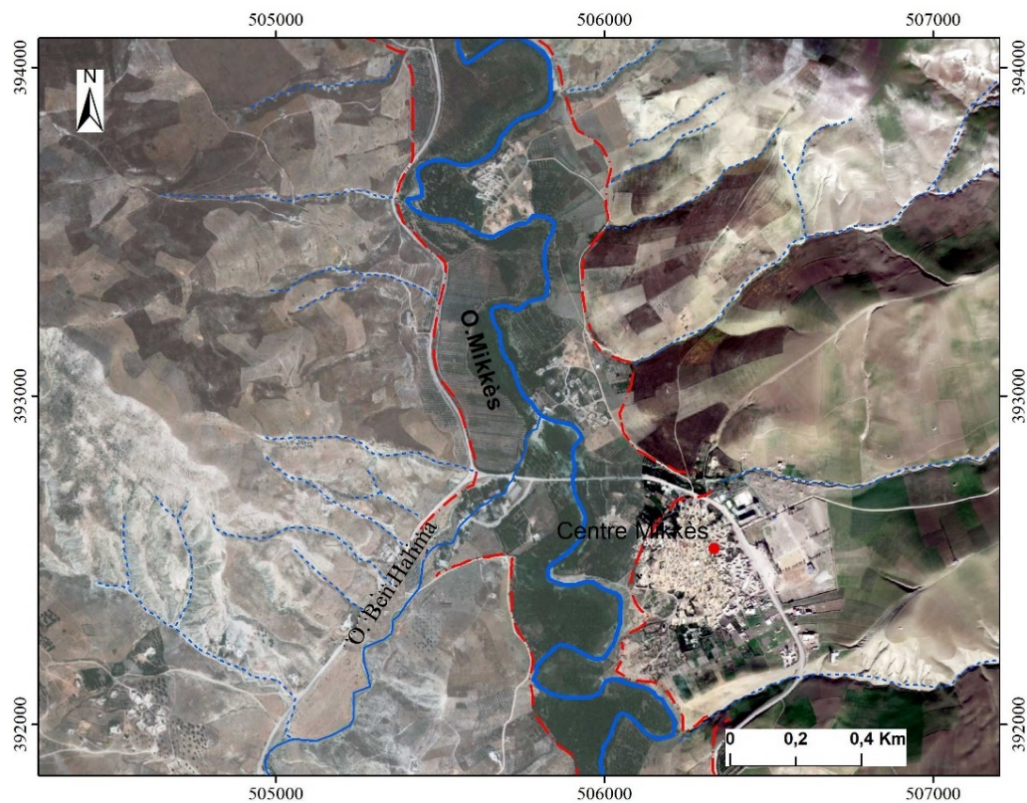


Figure 5.5 : La plaine alluviale, à l'aval du barrage, dans le secteur de Centre Mikkès(Google Earth 2020)

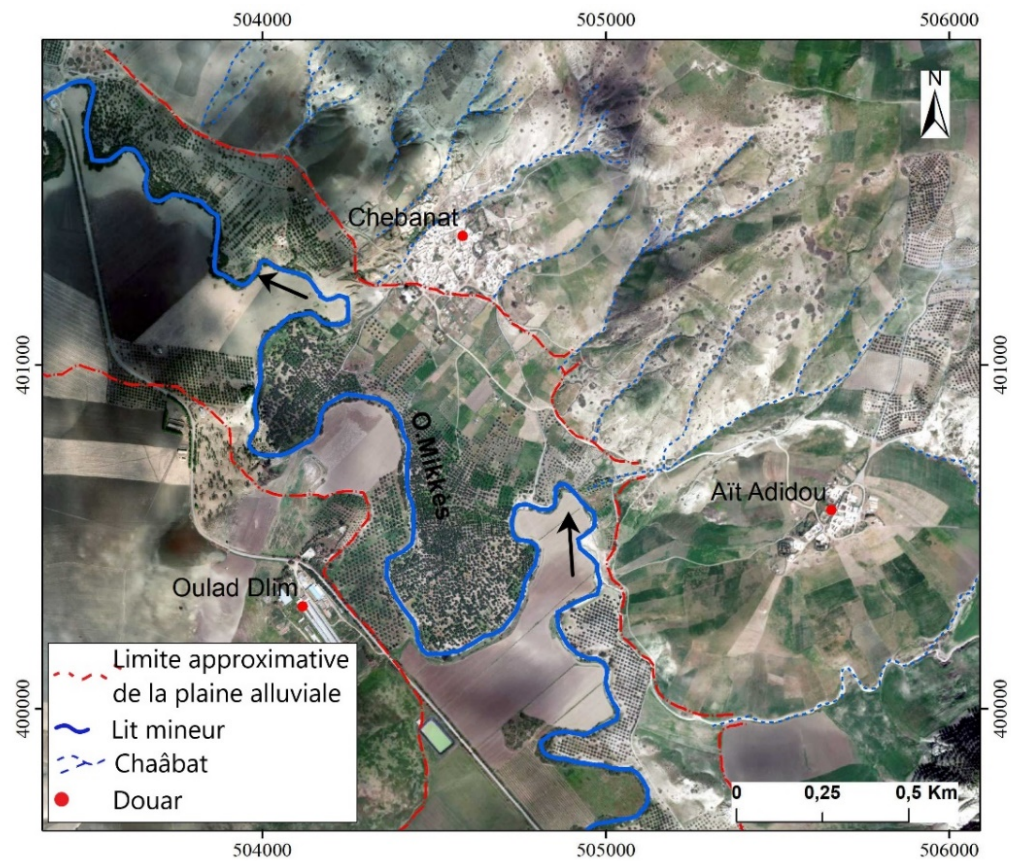


Figure 5.6 : la plaine alluviale, dans le secteur du Douar Oulad Dlim (Google Earth 2020)

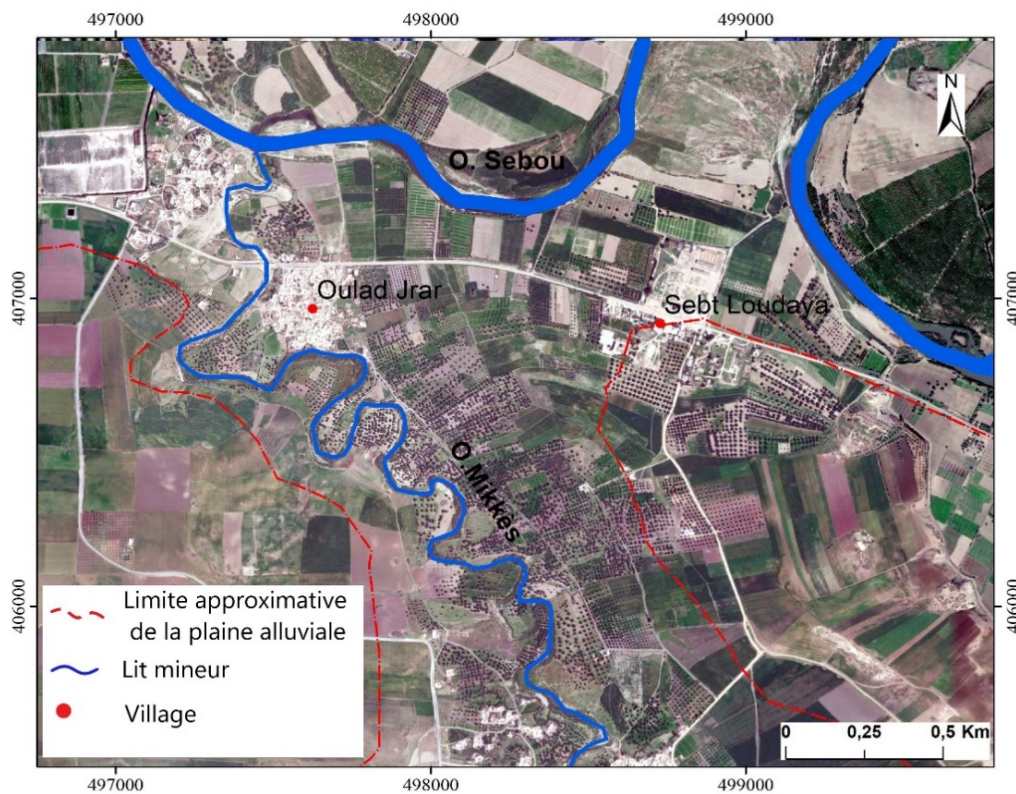


Figure 5.7 : la plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar (Google Earth 2020)

L'extension de la plaine alluviale apparaît irrégulière d'amont en aval et de part et d'autre du lit moyen ; sa largeur varie sensiblement d'un segment à l'autre. Les mesures de largeurs effectuées sur l'image de Sas Planet à résolution 250 m (fig.5.8), depuis le secteur du centre de Mikkès, montrent des valeurs qui fluctuent autour d'une moyenne d'environ 336m. Les largeurs les plus développées atteignent 850m, alors que les plus faibles ne mesurent qu'environ 102 m.

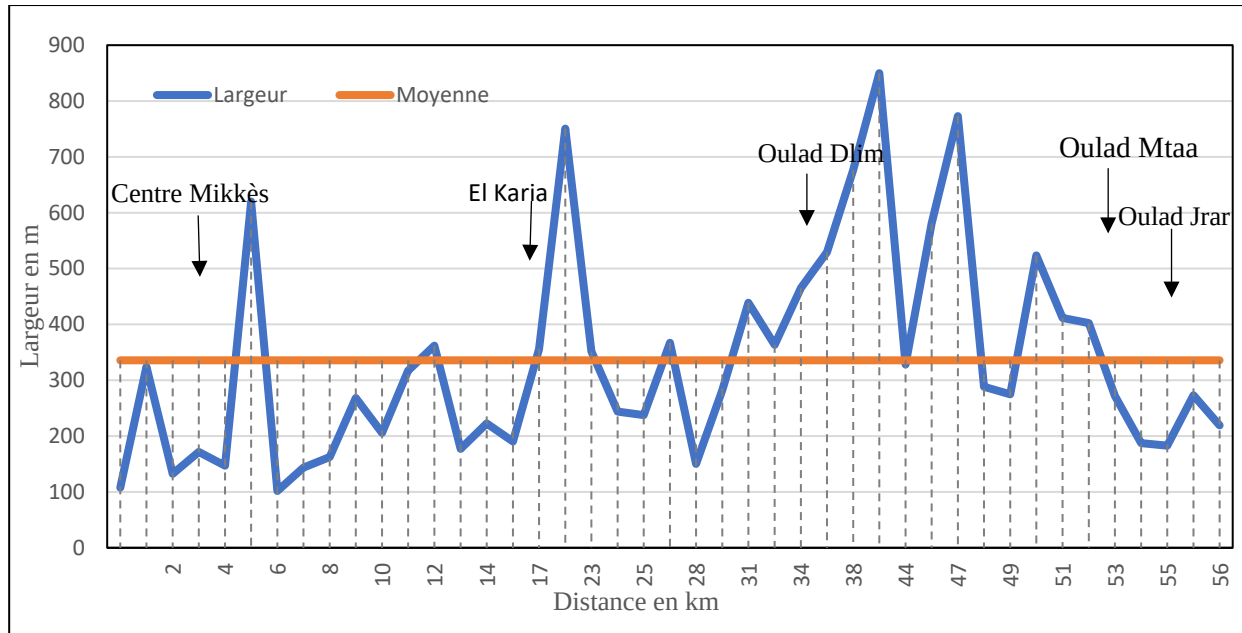


Figure 5.8 : variation amont aval des valeurs de la largeur de la plaine alluviale du Bas de Mikkès (mesures effectuées sur image Sas Planet 2020)

2.2.- La plaine alluviale à l'aval du barrage, au secteur de Centre Mikkès

2.2.1.- Aspect général : extension et organisation des dépôts

Au secteur de Centre Mikkès, la plaine alluviale occupe un fond qui prend la forme d'un couloir plus ou moins étroit, ne dépassant pas 500 m de large, encaissé de 300m environ et disproportionné de l'amont vers l'aval. Cette emprise hydro-géomorphologique, est entièrement occupée par les champs de céréales, des maraîchères et des oliviers(ph.5.1).

L'organisation générale du remplissage alluvionnaire du fond de vallée dans le secteur de Centre Mikkès, montre une disposition horizontale dissymétrique avec un remplissage alluvial plus épais, où il dépasse les quatre mètres. À l'échelle verticale étudiée dans le secteur du centre de Mikkès (fig. 5.9 et fig. 510), le remplissage alluvial montre l'alternance des niveaux grossiers de couleur grise, formés de galets et graviers mêlés dans une matrice sablo-limoneuse et des niveaux fins limoneux et limono-sableux vers le sommet fins limoneux.



Photo 5.1 : morphologie du fond de vallée de l'Oued Mikkès dans le secteur de Centre Mikkès (Mars 2021)

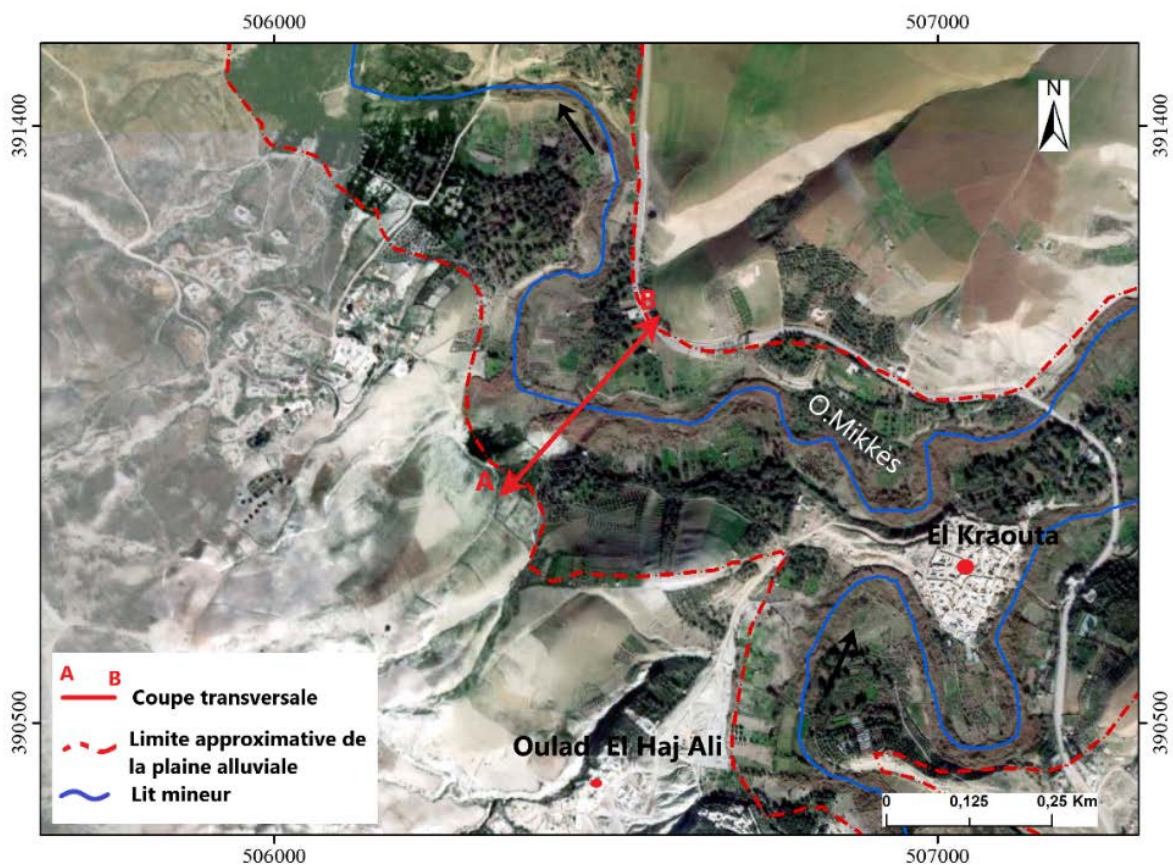


Figure 5.9 : localisation de la coupe transversale de la plaine alluviale dans le secteur du Centre Mikkès (d'après image Sas Planet, 2022)

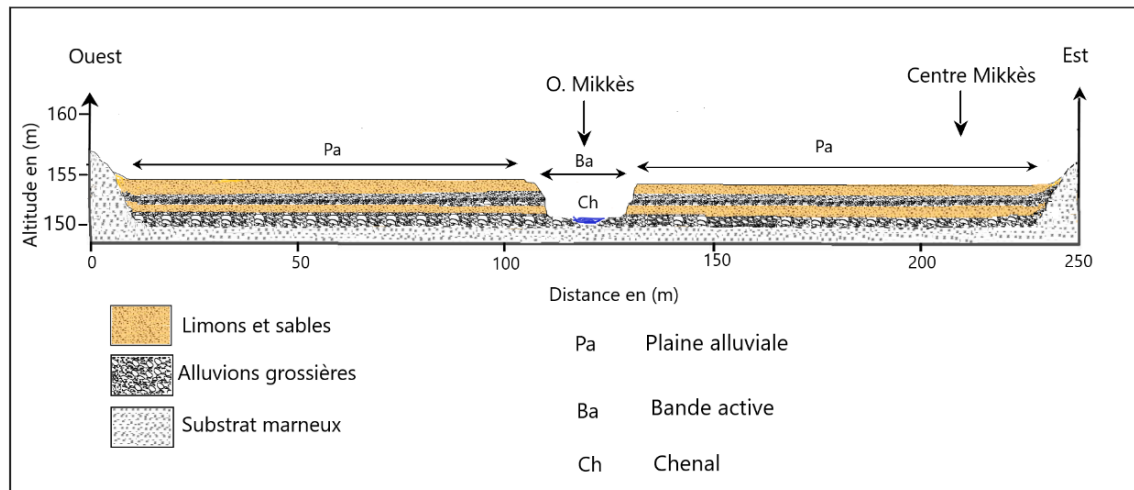


Figure 5.10 : coupe transversale schématique, montrant l'aspect général du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès dans le secteur de centre Mikkès (aval du barrage).

2.2.2. - Description de la coupe-type et analyse des sédiments

a. - Description de la coupe

Dans l'objectif de mettre en exergue l'évolution verticale des faciès, constituant le remplissage alluvial du fond de vallée au niveau du secteur de Centre Mikkès (aval du barrage Sidi Echahed, une coupe, jugée représentative, a été choisie sur la rive gauche de l'Oued Mikkès selon, les coordonnées Lambert (X=506400, Y=391000). La coupe montre du bas en haut les cinq niveaux distincts suivants (fig. 5. 11).

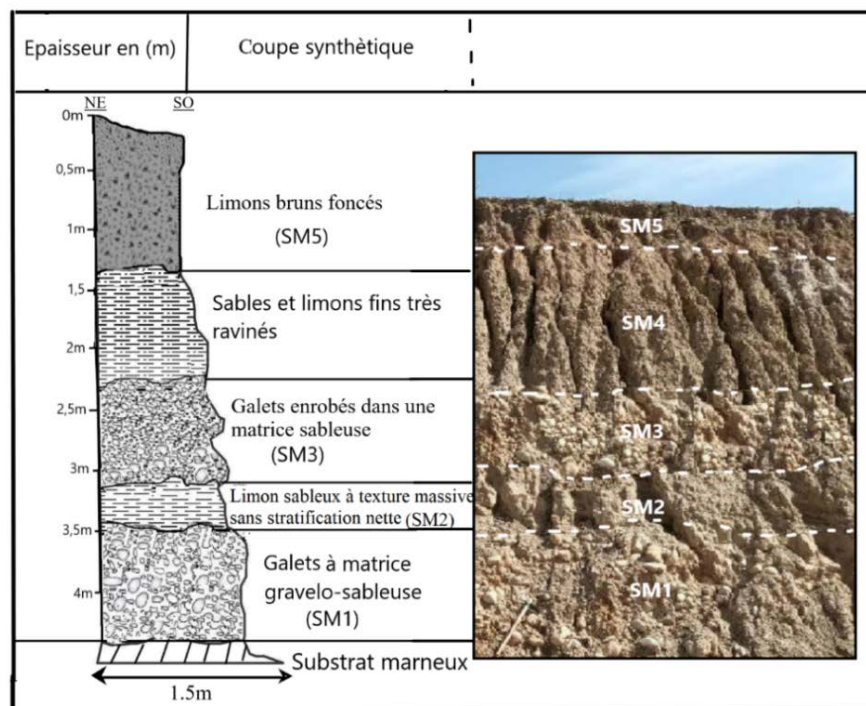


Figure 5.11 : coupe litho-stratigraphique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du Mikkès dans le secteur de Centre Mikkès

- **Niveau 1** : il correspond à la partie basale de la coupe, riche en galets et graviers, enrobés dans une matrice principalement sableuse ; ce niveau occupe 1,90 m de l'épaisseur de la coupe. Les dépôts y sont très hétérométriques et la majorité des galets sont imbriqués, indiquant la direction Sud -nord de l'écoulement. Ce niveau montre une couleur jaune pâle (Code Munsell : 2.5Y5).
- **Niveau 2** : il succède l'unité 1 et présente une structure et un faciès sédimentaire différents. Il s'agit d'un niveau plus cohérent et plus compact représentant environ 80 cm d'épaisseur. Le faciès est en général caractérisé par la fraction fine de couleur jaune pâle (Code Munsell : 2.5Y5).
- **Niveau 3** : il s'agit d'une deuxième accumulation grossière à faciès de barres caillouteuses, ce niveau présent un faciès comparable à celui de niveau 1. Elle renferme des galets hétérométriques et des graviers, enveloppés dans une matrice dont la couleur jaune pâle (Code Munsell : 2.5Y5). Ce dépôt vient de compléter le niveau 2 ce qui, reflète la succession de crues puissantes.
- **Niveau 4** : présente une structure et un faciès sédimentaire différents de la précédente. Il s'agit d'un niveau limono-sableux plus compact représentant une épaisseur de 1,75m. Le faciès est en général dominé par la fraction fine d'une structure massive. La couleur de ce niveau est brune foncée (Code Munsell : 7,5YR 6/2).
- **Niveau 5** : vient au sommet de la coupe, caractérisé par un faciès sédimentaire très fin et riche en matière organique finement litée, des débris végétaux. La couleur de ce niveau est brune foncée (Code Munsell : 7,5YR 6/2).

En définitive, l'analyse du remplissage sédimentaire à l'échelle de la coupe dans ce tronçon de vallée du bas Mikkès montre qu'après une phase d'incision responsable de l'encaissement du fond de vallée dans un domaine marneux, il s'est déroulé l'alluvionnement par la succession de plusieurs phases de sédimentation contrastées. Chacune d'entre-elles, sont liées à des conditions hydrodynamiques différentes représentées par la nature des alluvions et par les types de faciès. L'évolution verticale de ces phases est caractérisée par la diminution de l'énergie et de la compétence de l'écoulement du bas vers le sommet de la coupe. Ainsi, on passe d'un milieu agité de forte énergie à la base responsable du dépôt d'une nappe grossière vers un milieu plus calme, responsable du dépôt par décantations successives d'une épaisse assise limoneuse au sommet. L'alternance des niveaux grossiers et fins à la base peut traduire une migration latérale perpétuelle du chenal, tandis que la couche épaisse supérieure reflète sa fixation et l'accumulation des limons par transvasement de la plaine alluviale.

b.- Analyse des sédiments

b1.- Analyse de la fraction grossière

i.- Pétrographie des galets

Les spectres pétrographiques des galets des deux niveaux grossiers SM1 et SM3 de la coupe, montrent la dominance des calcaires (fig. 5.12). Leurs pourcentages dans les deux niveaux oscillent entre 60 et 70 %. Ensuite, on trouve les galets de grès avec un pourcentage de 20% pour le niveau SM1 et 30 % pour le niveau SM3. Le reste pétrographique est présenté par des variétés comme les basaltes et conglomérats ... Comme pour le tronçon médian (Saïs), ici le spectre pétrographique des galets de la plaine alluviale, reflète ici la dominance des affleurements calcaires du bassin versant amont et médian de l'Oued Mikkès.

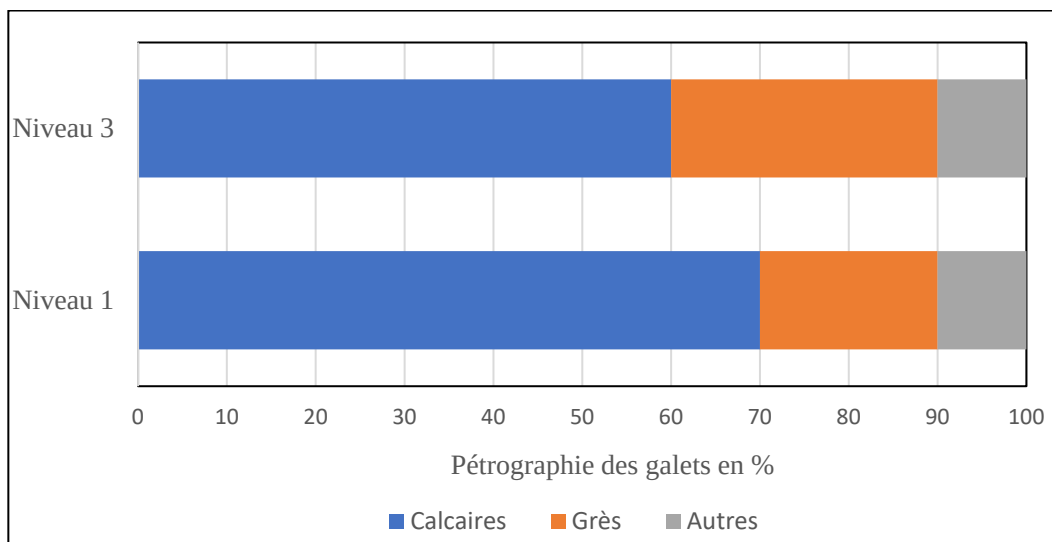


Figure 5.12 : spectres pétrographiques des galets des niveaux SM1 et SM2 de la coupe de Centre Mikkès

ii.- Granulométrie des galets

L'analyse granulométrique à l'échelle de la coupe de Centre Mikkès a mis en évidence des valeurs de diamètre des galets relativement proches de celles mesurées dans le niveau basal de la plaine alluviale (fig. 5. 13). Ce constat est confirmé par les valeurs des médianes du niveau 1 et du niveau 3, correspondant respectivement 46mm et 47mm (tab.5.1). La comparaison atteste que les alluvions actuelles sont déposées dans des conditions hydrodynamiques proches de celles responsables de l'alluvionnement du niveau basal de la plaine alluviale. Ces conditions sont caractérisées par leur forte énergie hydrodynamique de mise en place.

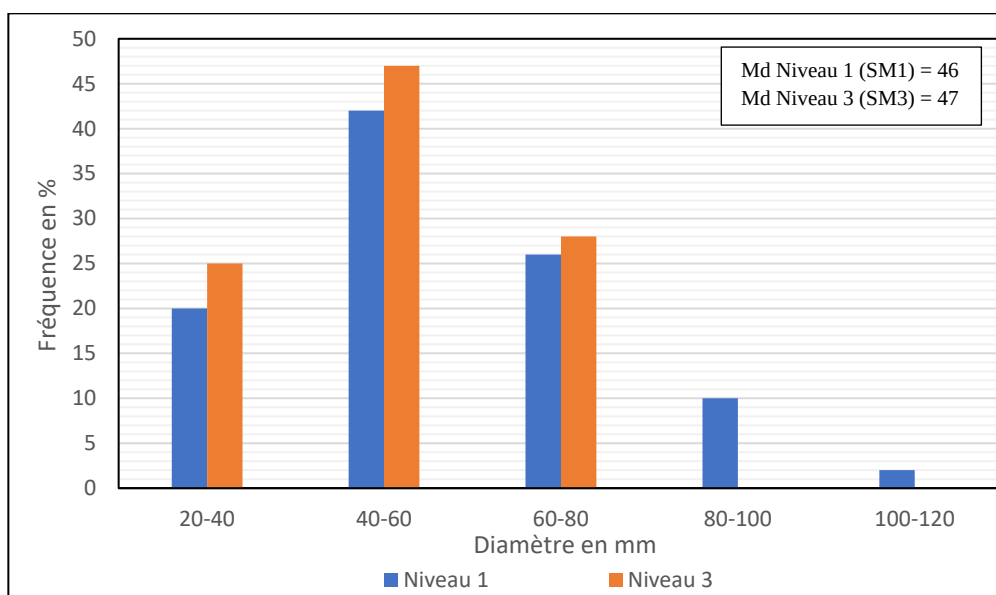


Figure 5.13 : histogrammes granulométriques des galets des niveaux SM1 et SM3 de la coupe du Centre Mikkès.

Paramètres granulométriques	Niveau SM1	Niveau SM3
Classe modale (mm)	40-60	40-60
Médiane D50 (en mm)	46	47
Diamètre maximal (mm)	110	70,5

Tableau 5.1 : paramètres granulométriques des galets des niveaux SM1 et SM3 de la coupe de Centre Mikkès.

iii.- Morphométrie des galets

Les galets analysés appartiennent à la classe granulométrique 40-60mm. Leur écoulement par classe des galets (fig. 5. 14.a), se caractérise par des indices présentés sur les différentes classes (sauf pour la classe supérieure à 800 du niveau 1), avec une nette concentration dans les trois classes 200-400, 400-600 et 600-800. Ces classes sont représentées respectivement par les pourcentages de 33%, 52,4% et 28% dans le niveau 1 (SM1) et par des pourcentages respectifs de 23%, 23,8% et 42,9 % dans le niveau (SM3). La comparaison entre les indices d'écoulement des galets du niveau inférieur (SM1) avec ceux du niveau (SM3), montre la tendance de ce dernier vers les classes supérieures (600-800) qui occupent 42,9 % (avec une médiane élevée de 600) ; par contre le niveau 1 (SM1) marque une tendance vers les petites classes (400-600), avec

une médiane de 426. Les différences entre les niveaux peuvent être induites par des remaniements locaux de matériel moins émoussé pour le niveau 1.

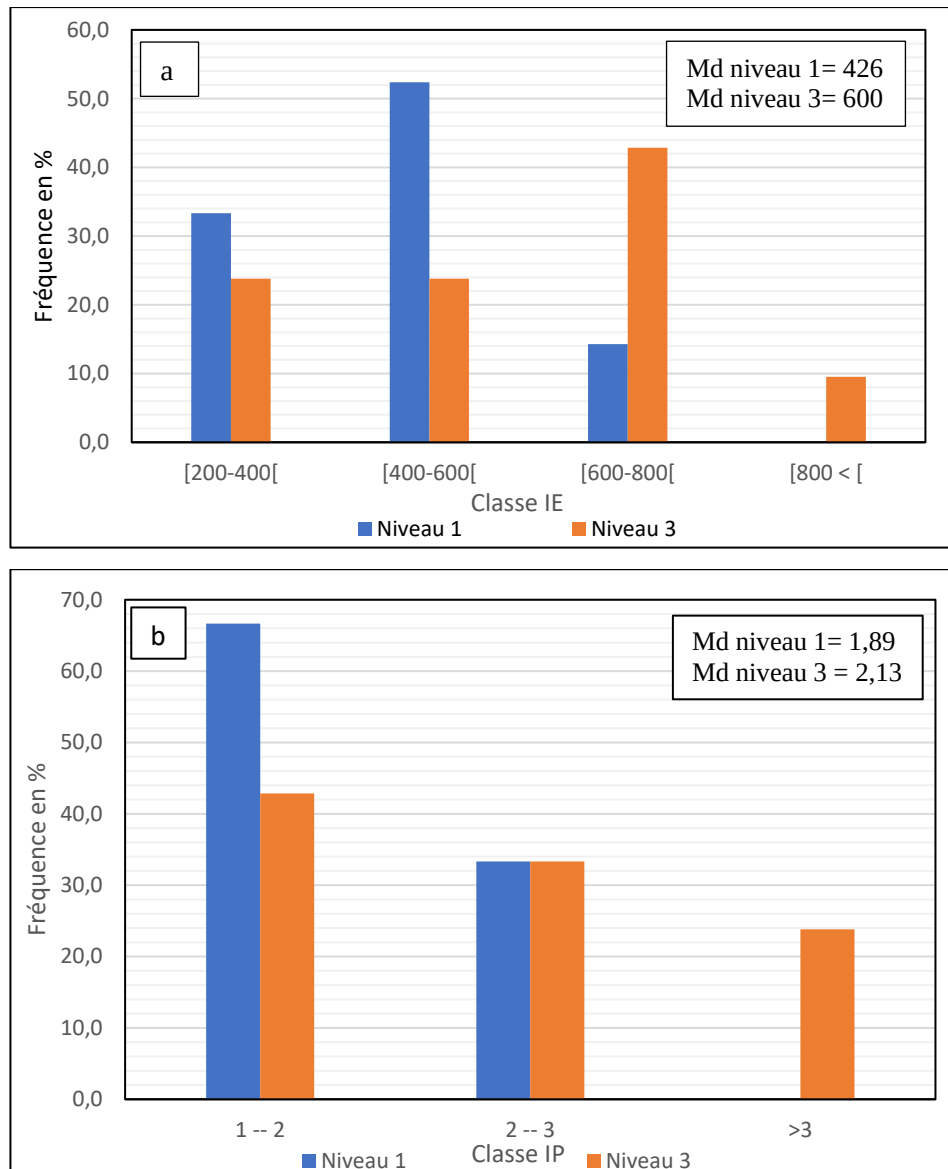


Figure 5.14 : indices d'émoussé et d'aplatissement des galets de la plaine alluviale au secteur de Centre Mikkès (a) Indices d'émoussé, (b) Indice d'aplatissement.

En ce qui concerne, les résultats obtenus pour l'aplatissement des galets (fig. 5. 14. a), ils divulguent une dominance de petites classes des indices correspondant à (1-2). Cette classe occupe 66,7 % dans le niveau 1 (SM1) où la médiane est de 1,89 et 49,2% dans le niveau 2 (SM3) où la médiane est de 2,13. Ces valeurs reflètent des galets peu aplatis, en relation avec la longue distance parcourue.

b2.- Analyse granulométrique de la fraction fine

i.- Granulométrie des sables

Les résultats obtenus à partir de la première analyse de 400g des échantillons bruts, montrent des textures essentiellement limoneuses pour les sédiments des niveaux (SM1), (SM3), (SM4), (SM5), avec des pourcentages respectivement de 64% ,56%,80% et 64%. Pour le niveau (SM2), il montre la dominance une texture sableuse avec un pourcentage de 52% et 32% des graviers. La courbe de fréquences granulométriques (fig. 5. 15), montre une allure multimodale présentée sur les différentes classes, avec un mode principal dans le diamètre 0,125mm sauf le niveau (SM4) qui enregistre un mode dans le diamètre 0,063.

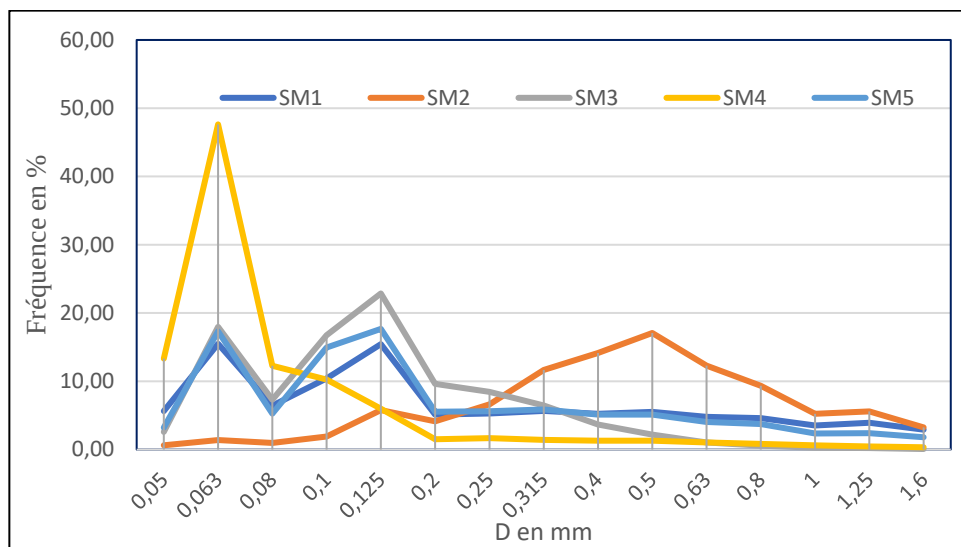


Figure 5.15 : courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe de Centre Mikkès.

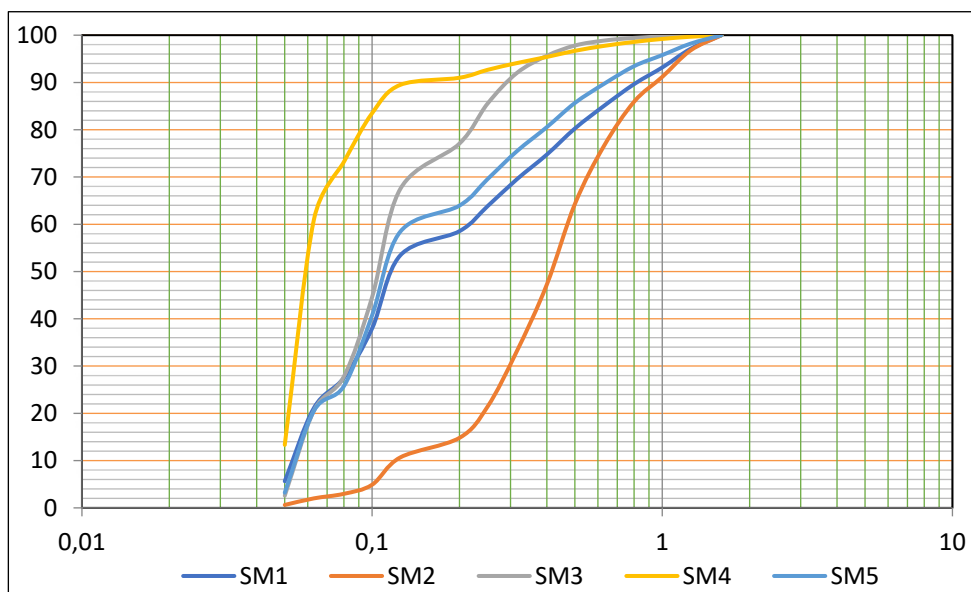


Figure 5.16 : courbes cumulatives des échantillons de la coupe du secteur de Centre Mikkès

Les courbes de fréquence cumulative montrent que les sables du niveau (SM2) présentent une allure parabolique orientée vers les classes grossières, même tendance enregistrée pour le niveau 4 (SM4), mais vers les classes les plus fines ; pour les autres niveaux, elles montrent une allure orientée vers les classes moyennes avec un meilleur classement des sédiments comme le témoignent les valeurs de l'indice d'asymétrie (Sk) et l'indice de classement S0 (tab.5.2).

Paramètres granulométriques	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
Q1	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
Q2	0,18	0,32	0,31	0,31	0,3
Q3	0,7	0,72	0,6	0,6	0,68
Le grain moyen (Mz)	0,28	0,41	0,29	0,15	0,28
La médiane (Md)	0,18	0,32	0,31	0,31	0,3
Classe modale (CM)	0,125	0,5	0,125	0,063	0,125
Indice de classement S0	0,41	0,42	0,43	0,42	0,40
Indice de classement SK	0,46	0,27	0,21	0,21	0,24

Tableau 5.2 : valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons analysés dans la coupe du Centre Mikkès

2.3.- La plaine alluviale du bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Dlim

2.3.1.- Aspect général : extension et organisation des dépôts

La plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Dlim est large et plate(ph.5.2). Elle surplombe le lit moyen par des berges de hauteurs allant de 2 à 5m. De ce fait, elle n'est submergée que lors de grandes crues exceptionnelles. Ses bordures sont marquées par l'existence de plusieurs apports latéraux et cônes de déjection issus des versants taillés dans les formations marneuses du Miocène. Son remplissage sédimentaire dans la partie sommitale est formé essentiellement des limons et des sables de débordement. Ces dépôts fertiles constituent l'espace favorable à l'activité agricole. Ils sont fortement exploités et mis en culture par la population locale (céréales, maraîchère, fourrage et olivier).



Photo 5.2 : morphologie du fond de vallée et de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès dans le secteur d'Oulad Dlim (Mars 2021)

Le remplissage sédimentaire de la plaine alluviale a été décrit à partir des observations effectuées sur le terrain au niveau des affleurements visibles sur les parois des berges. Une coupe transversale schématisée (A-B) est réalisée au secteur du Douar Oulad Dlim (fig.5.17 et 5.18), en amont du douar Chabanat. Cette coupe montre une organisation générale horizontale dissymétrique de part et d'autre du lit actif actuel, avec une épaisseur dépassant les trois mètres d'alluvions. Ces dernières sont formées des galets et graviers mêlés dans une matrice sablo-limoneuse à la base et des niveaux fins limoneux et limono-sableux vers le sommet.

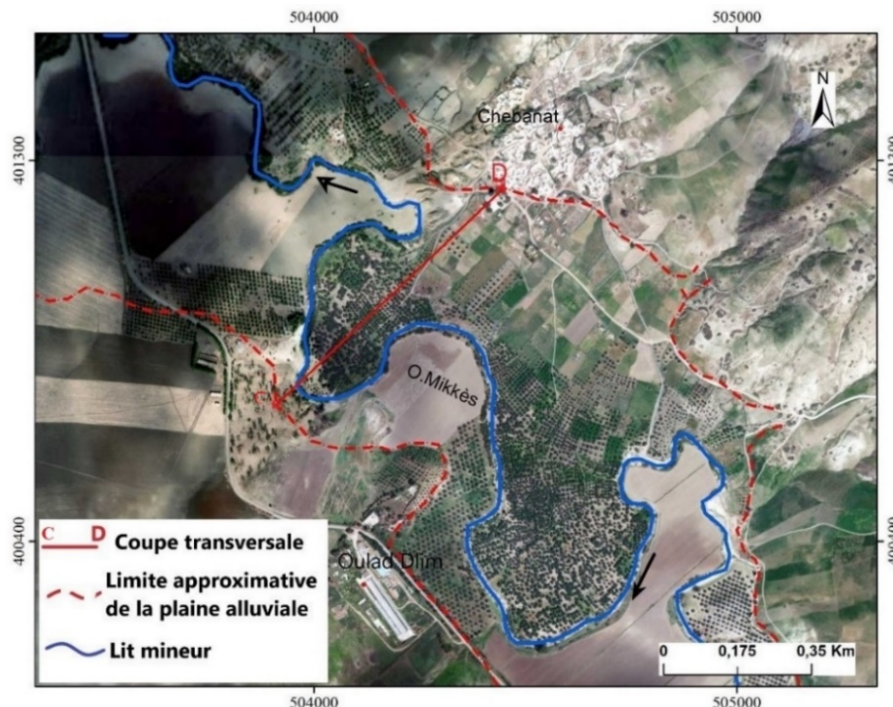


Figure 5.17 : localisation de la coupe transversale dans la plaine alluviale dans le secteur de Oulad Dlim (d'après image satellitale Sas Planet, 2022)

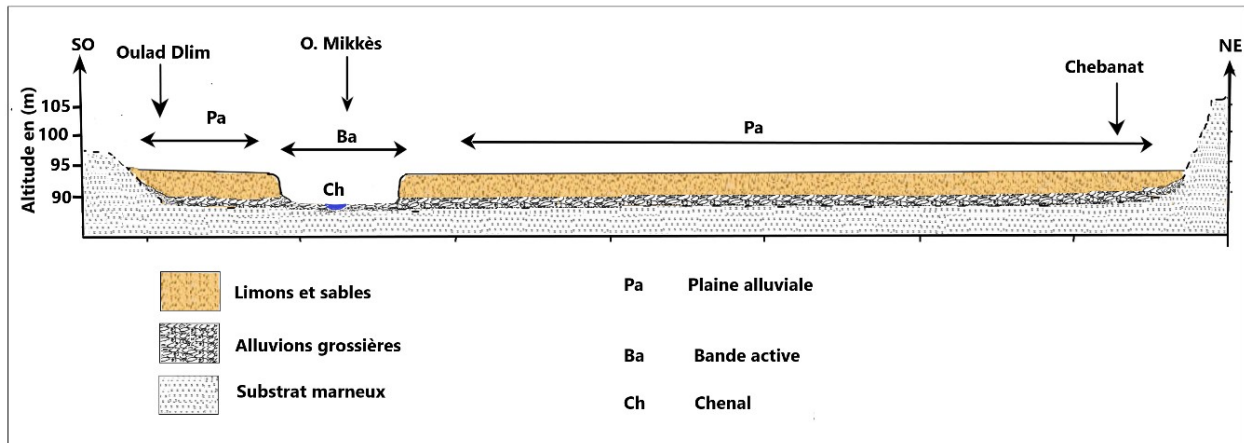


Figure 5.18 : coupe transversale synthétique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du Bas Mikkès dans le secteur du Douar Oulad Dlim

2.3.2. - Description de la coupe-type et analyse des sédiments

a. - Description de la coupe

Dans l'objectif de décrire l'évolution verticale des faciès constituant la formation de la plaine alluviale, une coupe, jugée représentative, a été choisie sur la rive droite de l'Oued Mikkès aux coordonnées Lambert (X ; 504000, Y ; 404000), dans le secteur de Oulad Dlim. La coupe montre du bas en haut quatre niveaux distincts (fig.5.19).

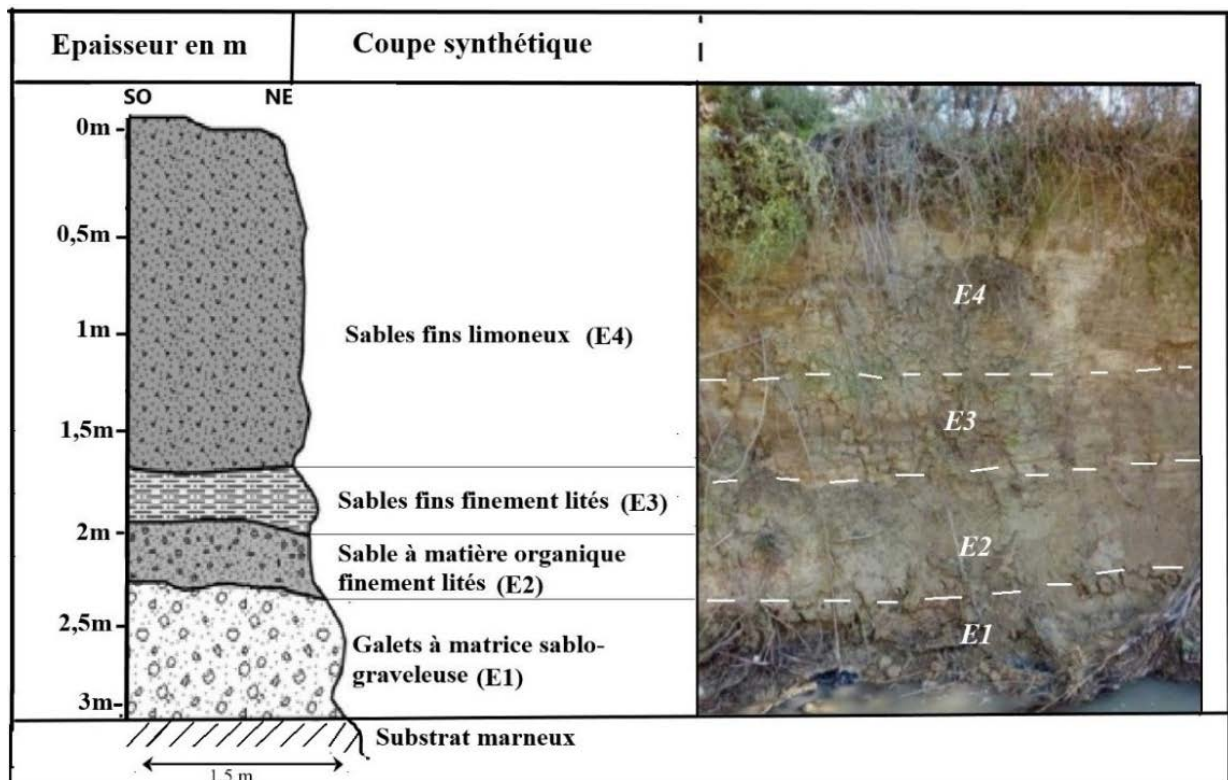


Figure 5.19 : coupe litho-stratigraphique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale dans le secteur de Oulad Dlim

- **Niveau 1** : correspond à un banc des galets et graviers à matrice sablo-graveleuse ce niveau est continu le long de la rive gauche de l’oued avec un sensible changement de son épaisseur d’un point à l’autre.
- **Niveau 2** : ce niveau est formé d’une épaisseur de 42 cm, de sables riches en matières organiques et finement litées, des débris végétaux et tiges de taille millimétrique.
- **Niveau 3** : correspond à un banc de sable de 32 cm d’épaisseur, il montre la succession de lits de sables plus fins et de couleur jaune pâle (Code Munsell : 2.5Y5).
- **Niveau 4** : vient au sommet de la coupe, c’est un faciès limono-sableux épais de 1,60 m. Il s’agit d’un niveau plus compact, dominé par la fraction fine avec une structure massive, dans laquelle la stratification est très discrète ; la couleur de ce niveau est jaune pâle (Code Musell : 2.5Y5). Après cette description des faciès à l’échelle de la coupe, il paraît que l’alluvionnement du fond de vallée du bas de Mikkès, s’est développé dans un contexte semblable à celui décrit pour la coupe du secteur de Centre Mikkès. Ce contexte de la morphogenèse fluviale est caractérisé par une succession des phases de sédimentation marquées par des apports grossiers à la base et des sédiments fins au sommet ; ce qui indique la diminution de l’énergie hydrodynamique de l’écoulement du bas vers le haut de la coupe. Le niveau grossier de base témoigne d’apport de crues. La séquence supérieure montre une sédimentation de faible énergie hydrodynamique.

b.- Analyse des sédiments

b1.- Analyse de la fraction grossière

i.- Pétrographie des galets

Le spectre pétrographique des galets du niveau (E1) (fig.5.20) montre une prédominance des calcaires dont le pourcentage (65 %). En deuxième ordre, figure les grès (25 %). Finalement viennent des autres variétés pétrographiques comme les basaltes et conglomérats avec un pourcentage de 10 %.

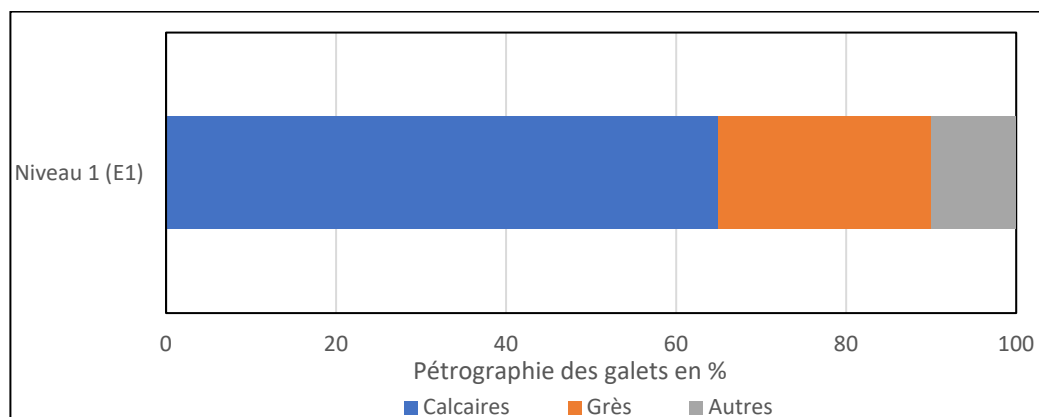


Figure 5.20 : spectre pétrographique des galets de la coupe Oulad Dlim.

L'importance des roches carbonatées témoigne bien des affleurements des calcaires qui affleurent largement dans le bassin versant amont et médian de l'Oued Mikkès

ii.- Granulométrie des galets

Dans le secteur d'Oulad Dlim, la répartition des classes de diamètre des galets dans le niveau basal E1 de la coupe étudiée, montre la dominance des pourcentages des classes 40-60 mm (fig.5.21). La valeur de la médiane montre une légère diminution (45,3mm) par comparaison au secteur amont de Centre Mikkès, où les médianes enregistrent 46 à 47mm. Cette décroissance des dimensions des galets traduit l'amenuisement global des particules d'amont vers l'aval.

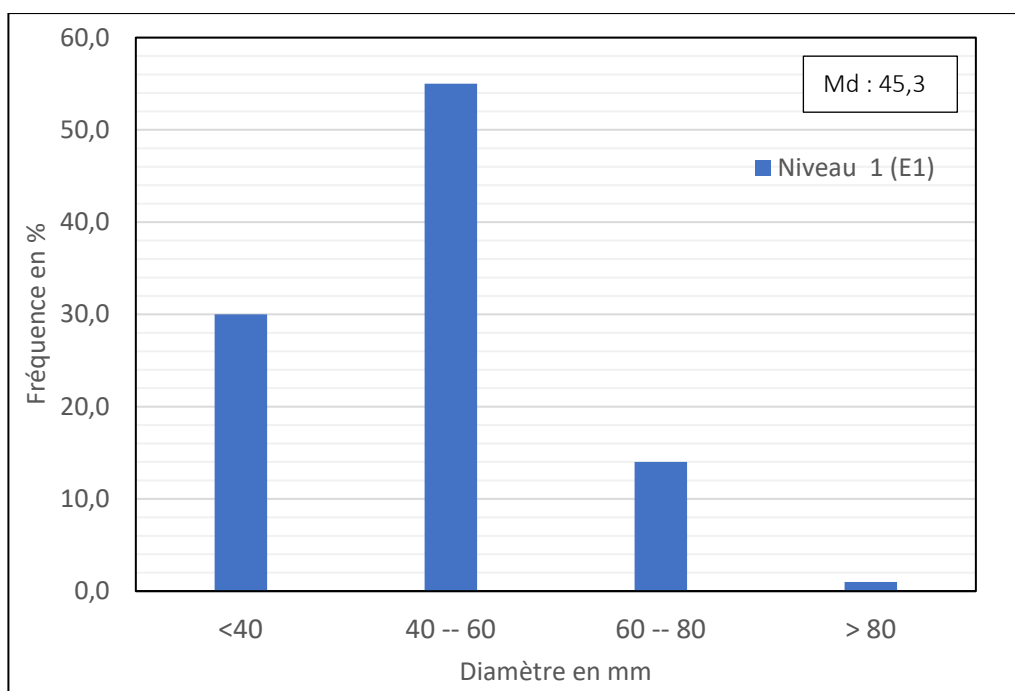


Figure 5.21 : histogrammes granulométriques des galets du niveau 1 de la coupe de Oulad Dlim.

iii. - Morphométrie des galets

Les résultats morphométriques sont obtenus sur la fraction granulométrique 40-60mm ; ils montrent la dominance des indices d'éroulés importants ; appartiennent à l'intervalle 500-600 qui occupent 41% du matériel étudié. La classe modale est de 500-600 et la médiane est de 615 (fig.5.22. a). Les galets apparaissent plus éroulés que dans le secteur du Centre Mikkès comme l'atteste la hausse de la médiane qui passe de 426 au Centre Mikkès à 615 dans ce secteur. Il s'agit d'une maturité sédimentaire qui traduit l'incidence de la distance parcourue par ces galets. La même tendance est enregistrée au niveau des résultats de l'indice de l'aplatissement des galets (fig. 5. 22.b) ; ces derniers enregistrent de faibles aplatissements, avec une dominance de petites valeurs des classes 2-3 ; elles présentent 63%.

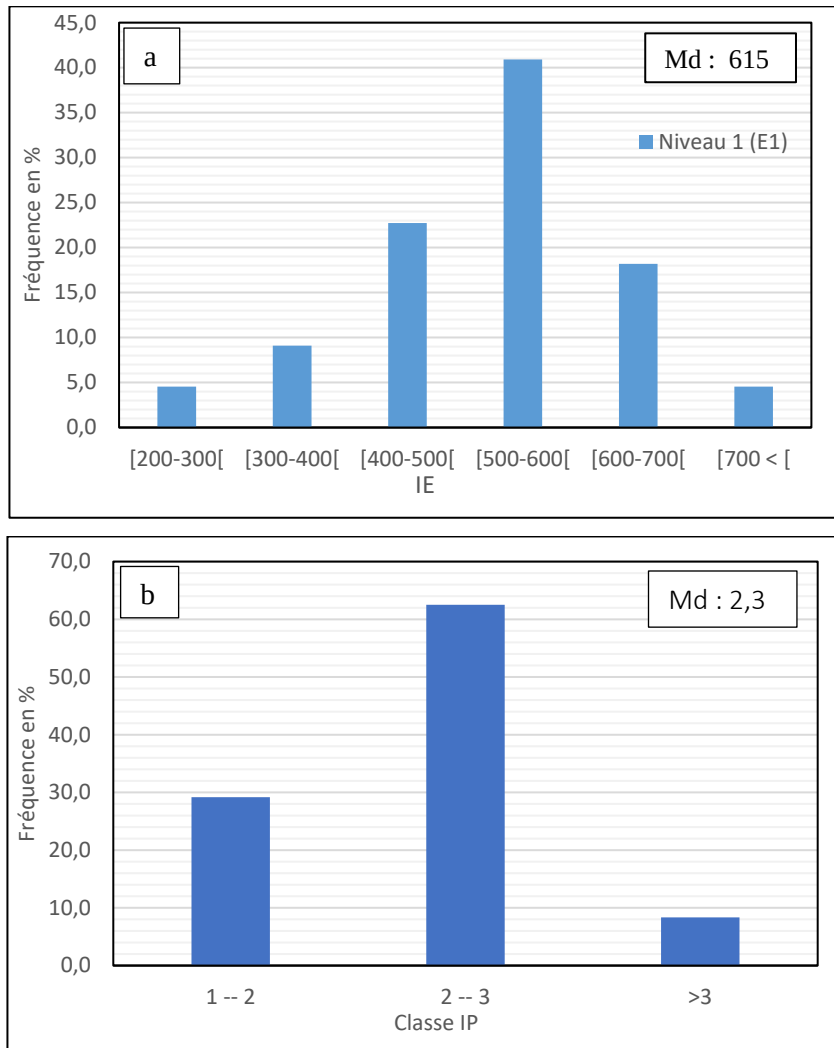


Figure 5.22 : indices d'émoussé et d'aplatissement des galets dans les alluvions de la plaine alluviale à Oulad Dlim (a) indice d'émoussé, (b) indice d'aplatissement.

b2.- Analyse granulométrique des fractions fines

La fraction fine des sédiments de la coupe montre des teneurs élevées des argiles et de la matière organique, leurs teneurs augmentent progressivement du haut vers le bas dans la coupe étudiée. L'analyse granulométrique de 400g de la fraction sableuse des échantillons E1, E2, E3 et E4, prélevés du bas en haut de la coupe, montre la dominance des classes fines (fig.5.23). La texture des échantillons E1 et E2, révèle respectivement 70,66% et 69,48 % des sables fins contre 29,34% et 30,52% de sables moyens et grossiers. Les échantillons E3 et E4 présentent respectivement 80,58% et 89,55 % des sables fins contre 19,42% et 10,45 % de sables moyens, avec une absence totale des classes grossières.

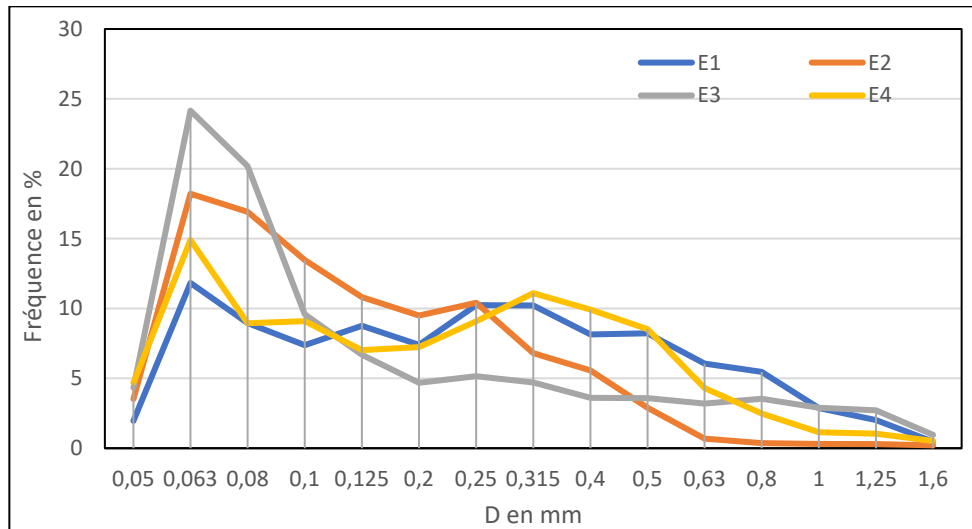


Figure 5.23 : courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe Oulad Dlim

Les courbes cumulatives des sables montrent des allures homogènes (fig. 5.24). Elles témoignent de l'état bien classé des sables de ces niveaux et leur net enrichissement en fractions fines. À l'échelle du site, les indices granulométriques de la fraction sableuse montrent l'homogénéité des valeurs de chaque échantillon. En effet, la classe modale montre des valeurs très faibles de 0,063mm, les médianes oscillent entre 0,13mm comme valeur minimale et 0,29mm comme valeur maximale. S_0 et S_k (tab.5.3).

Ces tendances indiquent l'évolution des sables vers des classes plus fines et une répartition de plus en plus symétrique. La comparaison des résultats, avec le secteur amont du centre de Mikkès montre que les sables de ce tronçon sont plus fins et mieux classés comme le témoignent les valeurs de l'indice d'asymétrie (S_k) et l'indice de classement S_0 .

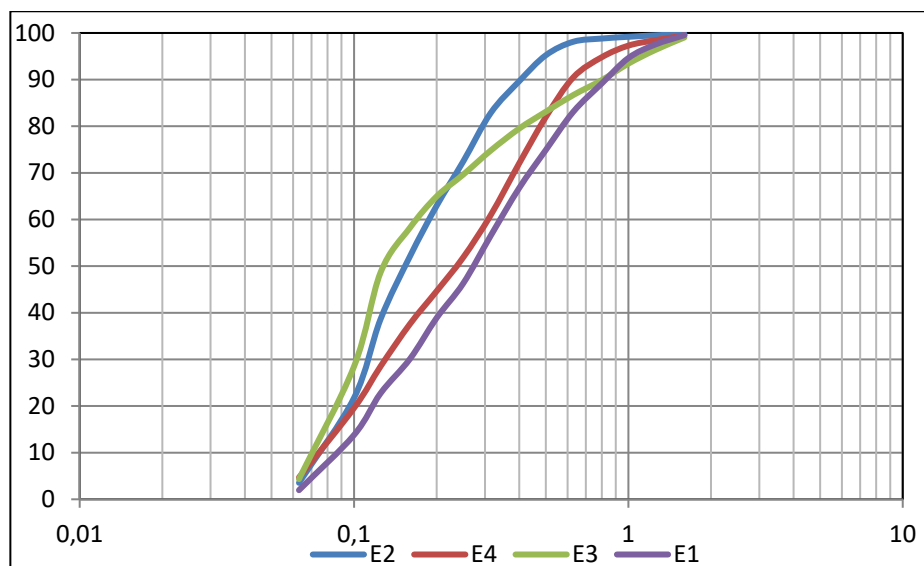


Figure 5.24 : courbes cumulatives des échantillons de sables de la coupe Oulad Dlim

Paramètres granulométriques	E1	E2	E3	E4
Q1	0 ,14	0,1	0,09	0,12
Q2	0,29	0,16	0,13	0,24
Q3	0,5	0,28	0,32	0,42
Le grain moyen (Mz)	0,37	0,17	0,09	0,28
La médiane (Md)	0,29	0,16	0,13	0,24
Mode (MO)	0,063	0,063	0,063	0,063
Indice de classement S0	0 ,53	0 ,6	0 ,53	0,53
Indice de classement SK	0 ,83	1,65	0,5	0,87

Tableau 5.3 : valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons de sables analysés dans la coupe de Oulad Dlim

2.4.- La plaine alluviale du Bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar

2.4.1.- Aspect général : extension et organisation des dépôts

Le secteur du douar Oulad Jrar est situé à l'extrême aval du Bas Mikkès dans la zone de confluence avec le Sebou. Ici le fond de la vallée est large et plat ; il est occupé par une plaine alluviale bien allongée et bien développée par comparaison à celles du secteur de Centre Mikkès et Oulad Dlim (ph.5.3). Ses bordures externes correspondent souvent à un contact d'érosion taillé dans la roche du substratum marneuse. Par endroits, elle est masquée par des matériaux colluviaux liés à l'évolution des versants et par les accumulations de cônes de déjection ou alluviaux latéraux. Généralement la plaine alluviale de ce secteur joue un rôle déterminant dans l'installation humaine, elle est le support principal des activités agricoles, grâce notamment à sa topographie plane et la fertilité de ses sols limoneux.

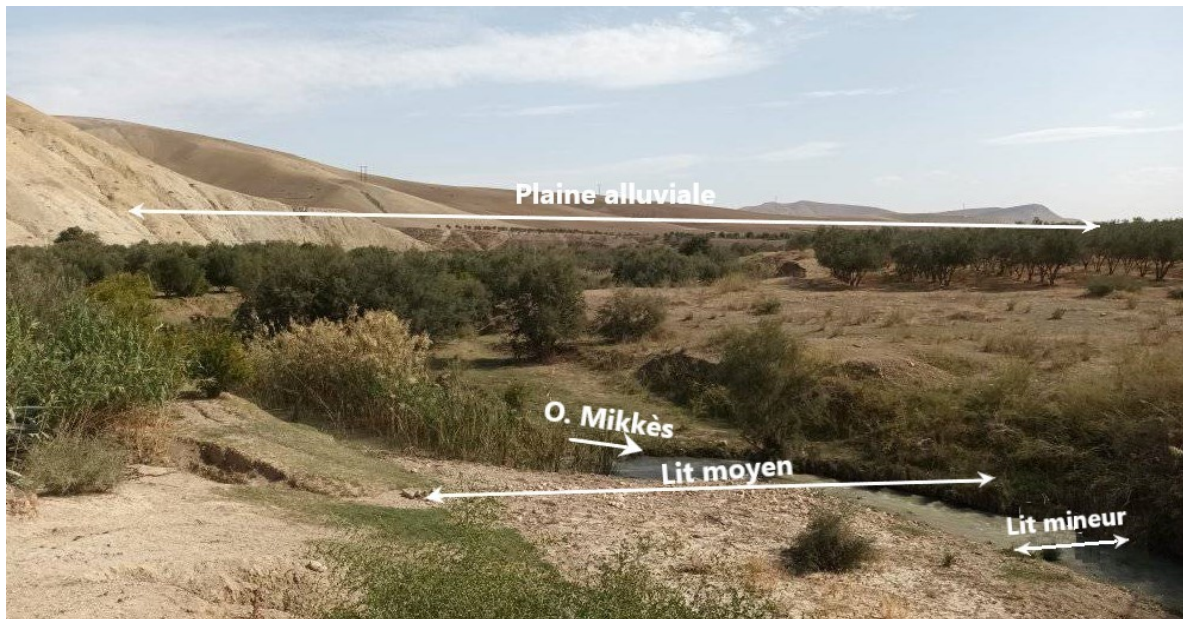


Photo 5.3 : morphologie du fond de vallée et aspect de la plaine alluviale (à droite) du Bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar (Mars 2021)

Une coupe transversale est réalisée au niveau de ce secteur (fig. 5.25 et fig. 5.26), a permis de monter l'organisation générale du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du secteur Oulad Jrar. Il s'agit d'un dépôt de matériaux globalement fins sablo-limoneux (environ 3m d'épaisseur) qui reposent sur le substratum marneux ; ce niveau est tapissé par des passages grossiers à galets, graviers dépassant 1m ; les dépôts limoneux superficiels, sont essentiellement utilisés pour l'agriculture puisqu'ils portent des sols fertiles riches en matières organiques.

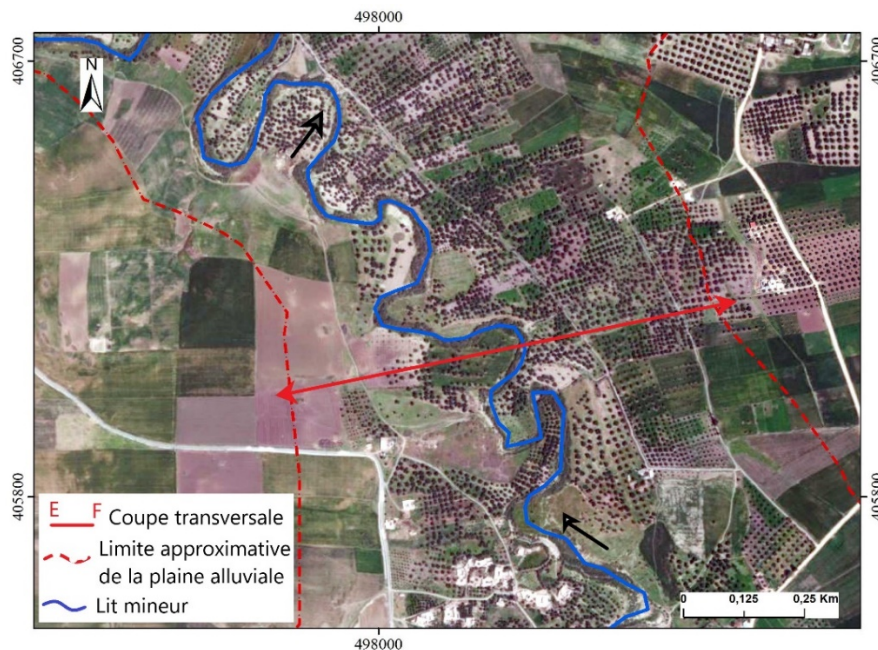


Figure 5.25 : localisation de la coupe transversale de la plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar (d'après l'image satellitale Sas Planet 2022)

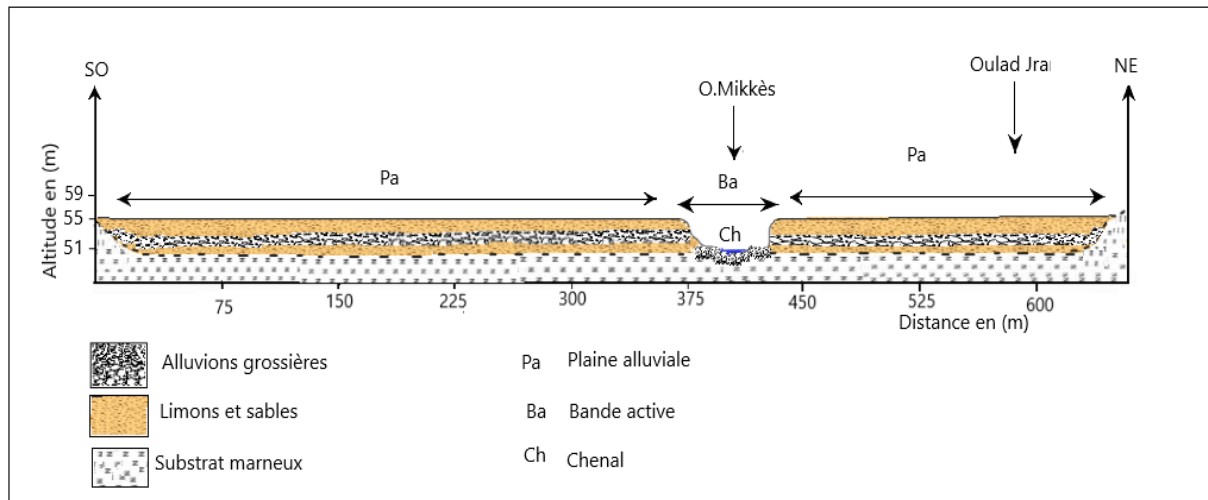


Figure 5.26 : coupe transversale synthétique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du Bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar

2.4.2. - Description de la coupe-type et analyse des sédiments

a. - Description de la coupe

La représentation des remplissages sédimentaires de la plaine alluviale au niveau du secteur d'Oulad Jrar est illustrée par la coupe-type verticale levée sur la rive droite de l'Oued Mikkès, près du Douar Oulad Jrar, selon les coordonnées Lambert suivantes (x=500000, y= 405500). La coupe dévoile la superposition de trois niveaux sédimentaires distincts (OJ1, OJ2 et OJ3) (fig.5.27).

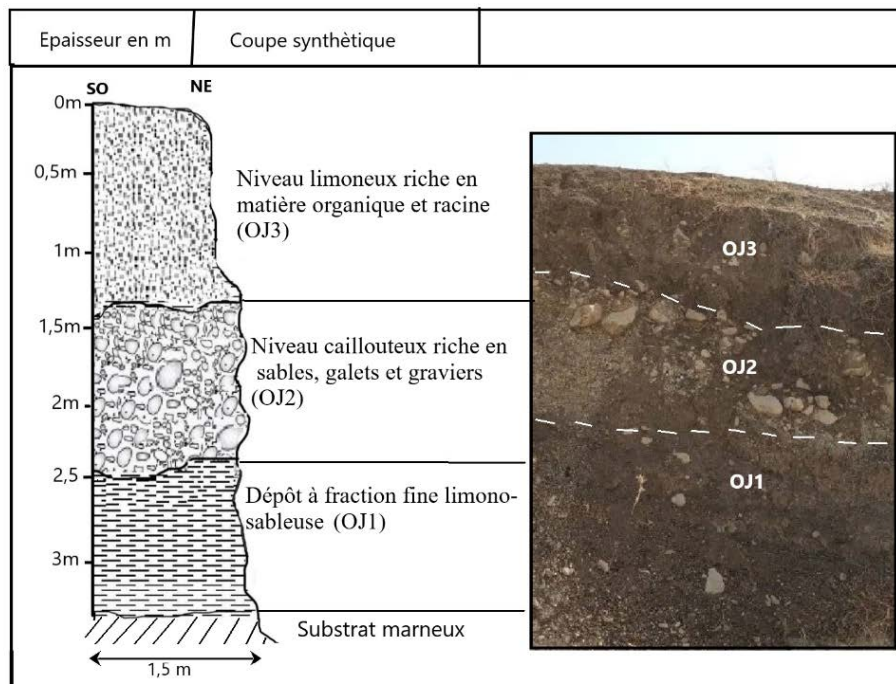


Figure 5.27 : coupe litho-stratigraphique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar.

-Le niveau 1 (OJ1) : est constitué des dépôts fins limono-sableux de couleur brune (Code Mansell 7.5YR/6/4), avec une épaisseur moyenne de 1m. Ce matériel concorde aux dépôts déposés dans des conditions hydrodynamiques de faible énergie ; une partie de ces dépôts est issue probablement des versants marneux bordiers.

-Le niveau 2 (OJ2) : montre des dépôts caillouteux riche en sables, galets et graviers de couleur brun foncé (Code Munsell 7.5YR/4/4). Ce niveau comporte des galets de gros calibres non émoussé, issus des versants proches. Sur le plan hydrodynamique l'existence de ce niveau témoigne d'apports de crues avec une énergie de transport importante.

-Le niveau 3 (OJ3) : vient au sommet de la coupe avec une épaisseur moyenne de 1,5m. Il s'agit d'un niveau limoneux riche en matière organique et racine de plante, sa couleur est brune pâle (Code Munsell : 7.5YR/6/4). Pour résumer, la description et l'analyse les faciès à l'échelle de la coupe d'Oulad Jrar montrent toujours le caractère polyphasé de la sédimentation fluvatile reflétant la variabilité de l'écoulement fluvatile. L'évolution verticale de ces phases est caractérisée par un milieu hydrodynamique calme suivi d'une phase de dépôts grossiers engendrés par une agitation de forte énergie de l'oued lors d'une crue ; on passe ensuite vers un milieu plus calme responsable du dépôt par décantations successives d'une épaisse assise limoneuse au sommet (limon de débordement fluvatile).

b.- Analyse des sédiments

b1.- Analyse de la fraction grossière

ii. Pétrographie des galets

Le spectre pétrographique obtenu dans cette analyse, est en gros, analogue à celui obtenu en amont à Oulad Dlim ; il montre la prédominance des calcaires qui représentent 47%. Dans un deuxième ordre, on trouve les grès avec un pourcentage de 40%. Les traces d'autres espèces minoritaires comme ne dépassent pas 13% (fig. 5.28).

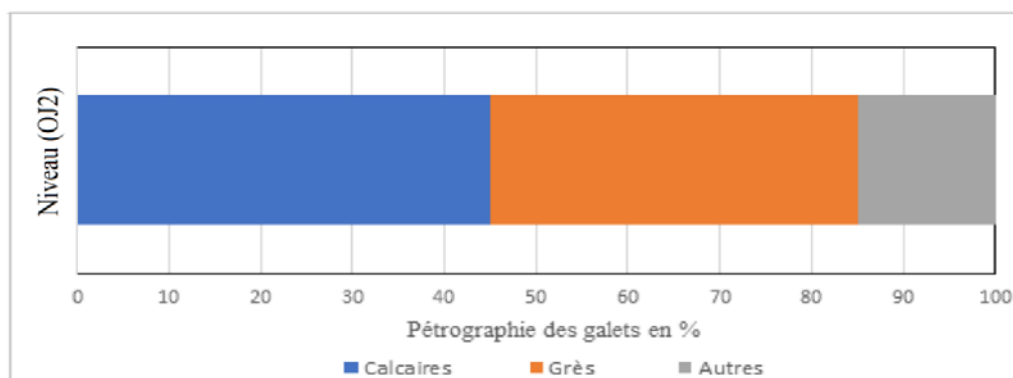


Figure 5.28 : spectre pétrographique des galets de niveau 2 (OJ2) de la coupe d'Oulad Jrar

i. Granulométrie des galets

Les données granulométriques (tab.5.4 et fig. 5.29) montrent des valeurs comparables à celles obtenues au secteur de Centre Mikkès et Oulad Jrar ; elles sont caractérisées par la prédominance des petites classes de diamètre 40-60mm. On note cependant l'augmentation de la valeur de la médiane (49,5mm) par comparaison aux résultats obtenus à l'amont au secteur de Centre Mikkès et Oulad Dlim.

Paramètres granulométriques	Niveau 3
Classe modale (mm)	40-60
Médiane D50 (en mm)	49,5
Diamètre maximal (mm)	94,5

Tableau 5.4 : paramètres granulométriques des galets de la coupe d'Oulad Jrar

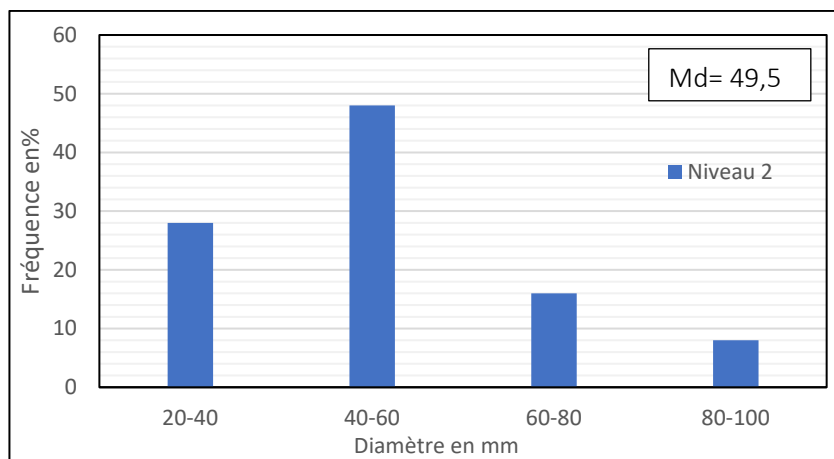


Figure 5.29 : histogrammes granulométriques des galets de niveau 2 (OJ2) d'Oulad Jrar

iii. Morphométrie des galets

L'analyse morphométrique des galets appartenant à la classe de diamètres 40-60mm, est caractérisée par des indices d'éroulés (IE) relativement étalés sur les différentes classes avec une classe modale de 600-800. Dans ce niveau, on remarque seulement un léger recul de la valeur de la médiane, qui passe de 615 à Oulad Dlim vers 591 dans secteur. En gros, ces galets matures et arrondis, ont subi un long transport longitudinal (fig.5.30. a).

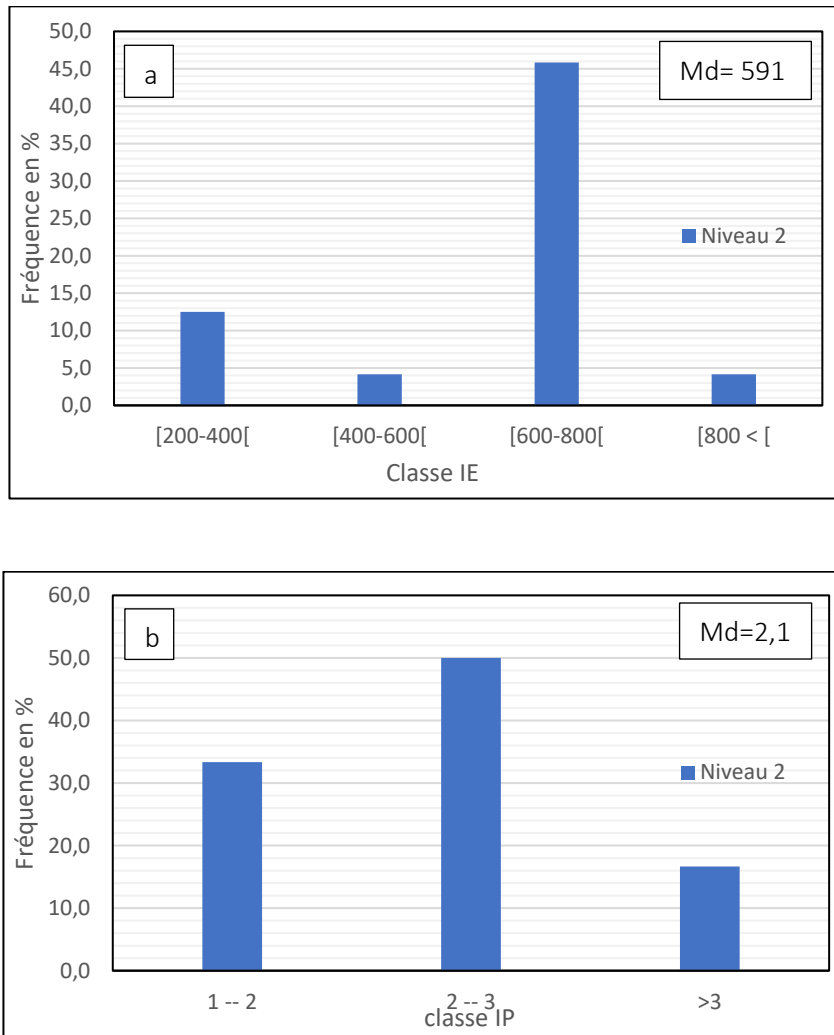


Figure 5.30 : indices d'émoussé et d'aplatissement des alluvions de la plaine alluviale à Oulad Jrar (a) Indices d'émoussé, (b) Indice d'aplatissement

Pour les indices d'aplatissement (fig.5. 30.b), la médiane est inférieure à celle calculée au niveau d'Oulad Dlim (Md : 2,3mm). Ici, la classe modale est 2-3 avec un pourcentage de 50%. Ces valeurs restent modérées comparables à l'amont ; elles reflètent les formes arrondies obtenues lors du long transport fluvial des galets.

b2.- Analyse granulométrique des fractions fines

L'analyse granulométrique des sables de la plaine alluviale du secteur d'Oulad Jrar, est déterminée en premier lieu à partir d'échantillons de 400g des sédiments pris des trois niveaux. Ces prélèvements contiennent des proportions de graviers qu'on a essayé de séparer de la fraction fine. Les résultats obtenus montrent la dominance du pourcentage des limons dans les trois niveaux. Pour les sédiments des niveaux (OJ1) et (Oj2), avec respectivement des pourcentages de 56% et 55% de limons, 30% et 25% des graviers, 14% et 18% des sables. Pour le niveau supérieur (OJ3), on trouve un pourcentage de 84% de limons, 10 % des graviers et 6% des sables(fig.5.31).

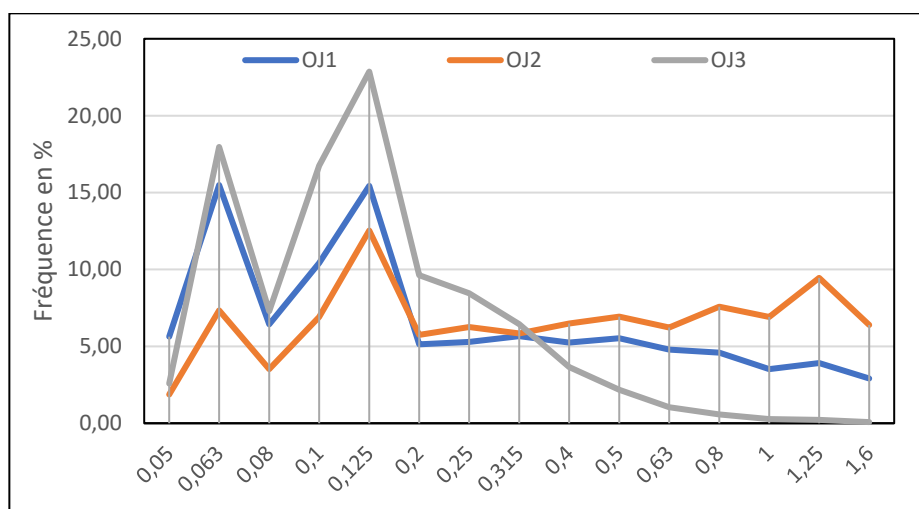


Figure 5.31 : courbes de fréquences des classes granulométriques des sables à graviers de la coupe d'Oulad Jrar

Dans un deuxième temps, l'analyse par tamisage de 150g de la fraction sableuse, a permis de déterminer la granulométrie et le tri des sables de chaque niveau. En gros, elle montre des textures fines ; ceci est bien traduit dans les valeurs des modes granulométriques des échantillons granulométriques (OJ1 = 0,063mm ; OJ2 et OJ3 = 0,125) (fig.5.32) appartenant aux classes fines.

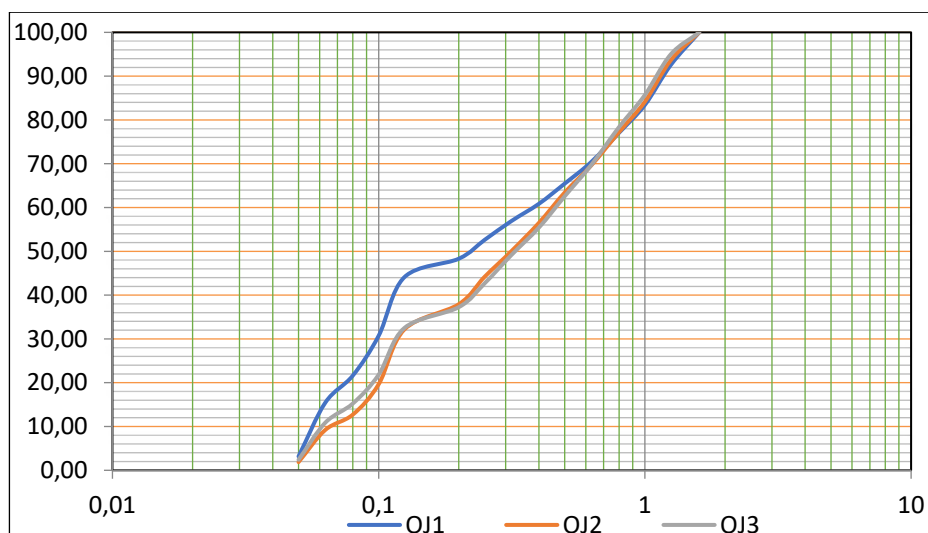


Figure 5.32 : courbes cumulatives des échantillons sableux de la coupe Oulad Jrar

D'autre part on remarque que les 3 niveaux ont des courbes cumulatives symétriques, marquant une tendance vers les classes fines. Les indices de classement S_0 et S_k affirment une tendance des sables mieux classés et plus fins vers le sommet de la coupe (tab.5.5). La comparaison de ces deux valeurs avec celles du secteur Oulad Dlim montre une diminution de la valeur de S_0 et S_k . Ces tendances dévoilent l'évolution des sables vers des classes plus fines et une répartition de plus en plus symétrique de la distribution des particules sableuses ; ce qui traduit une certaine régularité de l'écoulement dans ce secteur aval.

Les perturbations observées sur les courbes cumulatives, seraient peut-être l'influence de l'apport latéral de matériel sableux.

Paramètres granulométriques	OJ1	OJ2	OJ3
Q1	0,12	0,125	0,13
Q2	0,31	0,315	0,3
Q3	0,69	0,71	0,75
Le grain moyen (Mz)	0,45	0,46	0,43
La médiane (Md)	0,31	0,315	0,3
Mode (Mo)	0,063	0,125	0,125
Indice de classement S0	0,41	0,42	0,42
Indice de classement SK	0,27	0,28	0,32

Tableau 5.5 : valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons sableux de la coupe d'Oulad Jrar

En somme, l'analyse des faciès à l'échelle de la coupe du secteur Oulad Jrar, montre que la morphogenèse fluviale est caractérisée par une succession des phases de sédimentation marquées par la variation de l'énergie hydrodynamique et la compétence de l'écoulement du bas vers le haut de la coupe. Ainsi, on assiste à une première étape où sont déposés les dépôts fins à sables et graviers dominants (niveau 1) ; par la suite vient l'apport grossier qui reflète des chenaux plus puissants ou de barres alluviales (niveau2). Ce niveau est marqué par quelques éléments grossiers issus des versants proches. Cette étape a été suivie d'une autre caractérisée par la diminution de l'énergie de l'écoulement après migration et encaissement du chenal du Bas Mikkès ; ces nouvelles conditions ont conduit à la mise en place de la couverture limoneuse par des débordements successifs sur la plaine alluviale (niveau 3).

3.- Morphologie et caractéristiques morpho-sédimentaires du lit de l'oued

3.1.- Profil en long de l'Oued Mikkès dans le domaine prérfain

Dans le domaine prérfain, en aval du barrage Sidi Echahed, le cours d'eau du Mikkès coule sur plus de 55 km de long pour atteindre le Sebou dans le secteur d'Oulad Jrar à une altitude 55. Le tracé de l'oued suit un profil longitudinal qui présente une faible concavité et une pente moyenne d'environ 0,23 % (fig. 5.33). Il reçoit deux principaux affluents : O. Ben Halima (longueur 6 km, pente moyenne 12 %) en rive gauche à l'aval de centre de Mikkès et O. Mellah (longueur 47, pente moyenne 2,06%) plus à l'aval en rive droite, en amont de Rhomra. L'oued reçoit plusieurs petits cours d'eau et châabats qui drainent les versants marneux fragiles du Prérif.

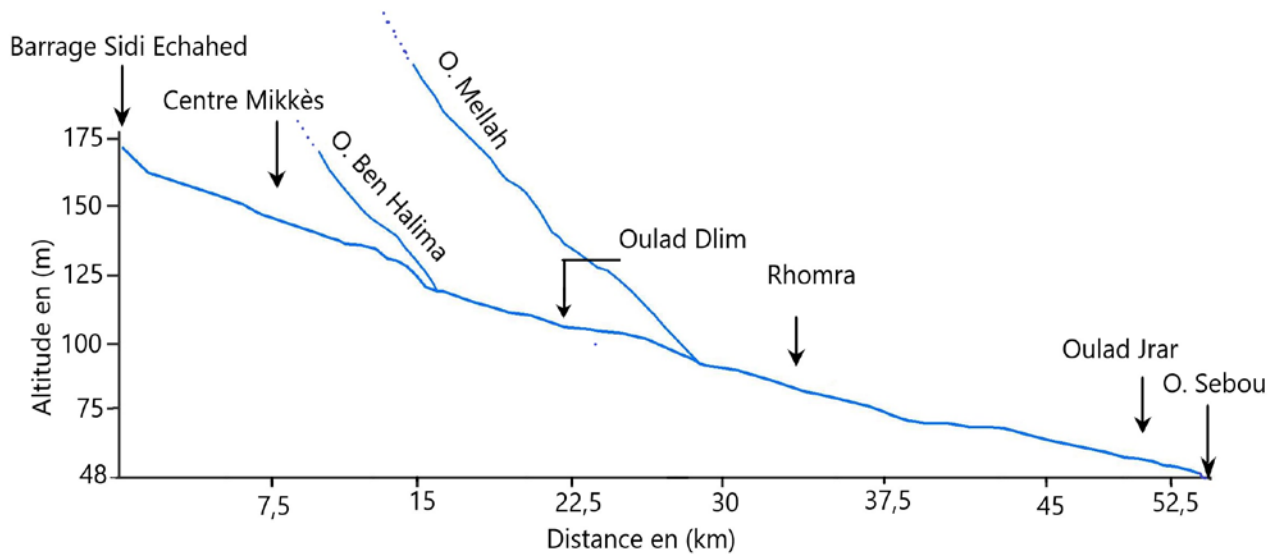
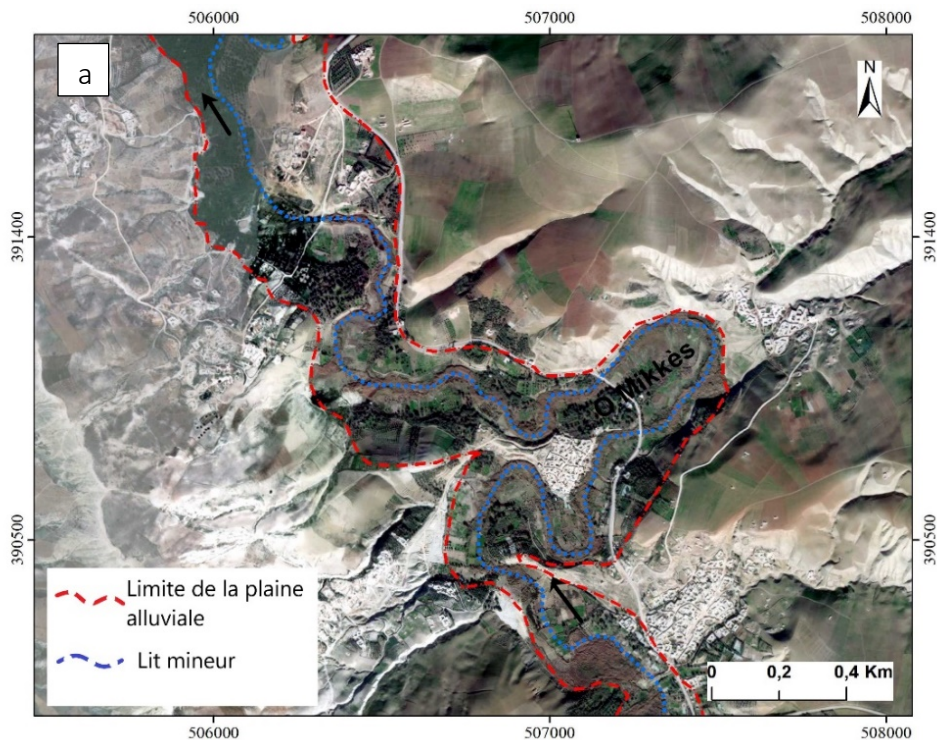


Figure 5.33 : profil en long du lit du bas Mikkès dans le Prérif, en aval du barrage Sidi Echahed

3.2.- Morphologie du lit fluvial

Le lit fonctionnel du Bas Mikkès prérfain présente un style morphologique généralement méandrique ; nous présentons des exemples de méandres dans les secteurs amont de Centre Mikkès, médian d'Oulad Dlim et aval d'Oulad Jrar (fig.5.34). Dans le détail le lit de l'oued montre souvent un lit moyen et un lit mineur, dominés par la plaine alluviale.



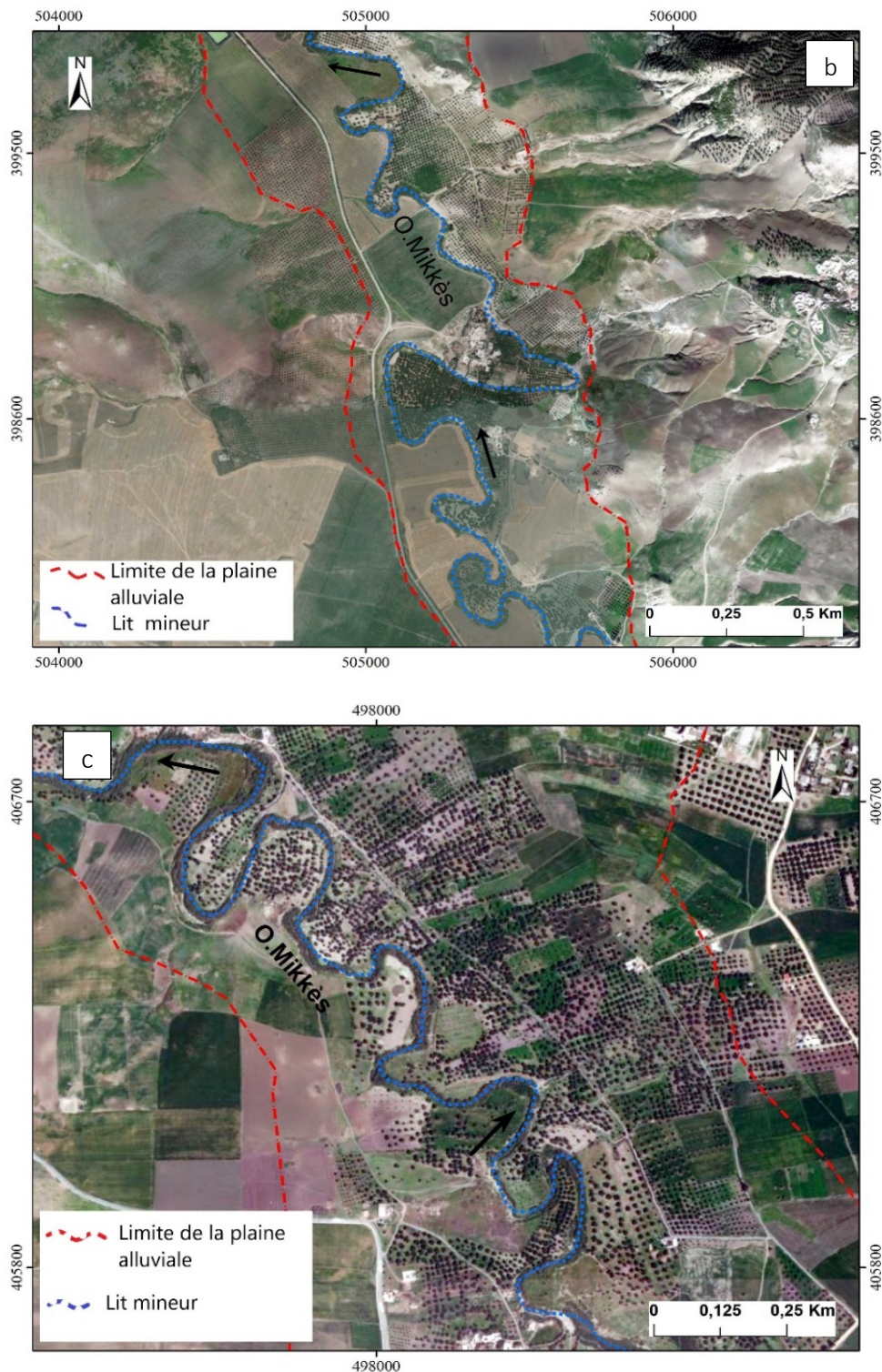


Figure 5.34 : exemples des aspects morphologiques des méandres du Bas Mikkès, d'après image satellitaire, Sas planet, année 2022.

- a) Cas des méandres du Bas du Mikkès dans le secteur amont de Centre Mikkès
- b) Cas des méandres du Bas du Mikkès dans le secteur médian d'Oulad Dlim
- c) Cas des méandres du Bas du Mikkès dans le secteur aval d'Oulad Jrar

3.2.1.- Morphologie du lit moyen

Le lit moyen est souvent dominé directement par des berges inscrites dans la plaine alluviale ; sa largeur varie selon les secteurs entre 16m et 30 m, selon l'importance des processus d'érosion latérale (ph.5.4) ; il montre des bancs alluviaux drapés par des sédiments fins limoneux, peu ou pas végétalisés ; ces bancs sont remaniés et rajeunis par des évènements hydrologiques de fréquence moyenne à forte. les sédiments grossiers du lit moyen sont souvent drapés par des limons.



Photo 5.4 : paysage fluvial du Bas Mikkès montrant l'extension du lit moyen, dans le secteur de Centre Mikkès (Mars, 2021).

3.2.2.- Morphologie du lit mineur

Le lit mineur du Bas Mikkès serpente dans les alluvions majoritairement fines du lit moyen ; il dessine des méandres libres dont le tracé décrit des boucles remarquables, avec alternance des zones de mouilles et de seuils. La sinuosité des méandres dessine des courbures aiguës qui sapent les sites concaves les berges et déposent les alluvions sur les rives convexes au niveau des barres de méandres. La largeur du lit mineur est très variable d'un segment à l'autre, selon que le chenal est façonné dans les alluvions ou dans le substratum. Ses valeurs sont mesurées approximativement sur l'image de Google Earth de 2020 sur un pas de 150m tout au long de l'oued depuis le secteur de Centre Mikkès (fig.5.35). Les résultats obtenus varient autour d'une moyenne de 10 m. Les valeurs minimales sont de l'ordre de 3m alors que les maximales peuvent atteindre 19 m.

D'après les observations de terrain, la profondeur varie aussi franchement d'un point à l'autre ; elle peut atteindre 2,5 m au niveau des mouilles ; alors que dans les rapides des seuils le fond du lit mineur est plus large et peut être situé au même niveau topographique que de celui du lit moyen. La pente longitudinale du lit mineur est variable, oscillant autour d'une moyenne de 0,23%.

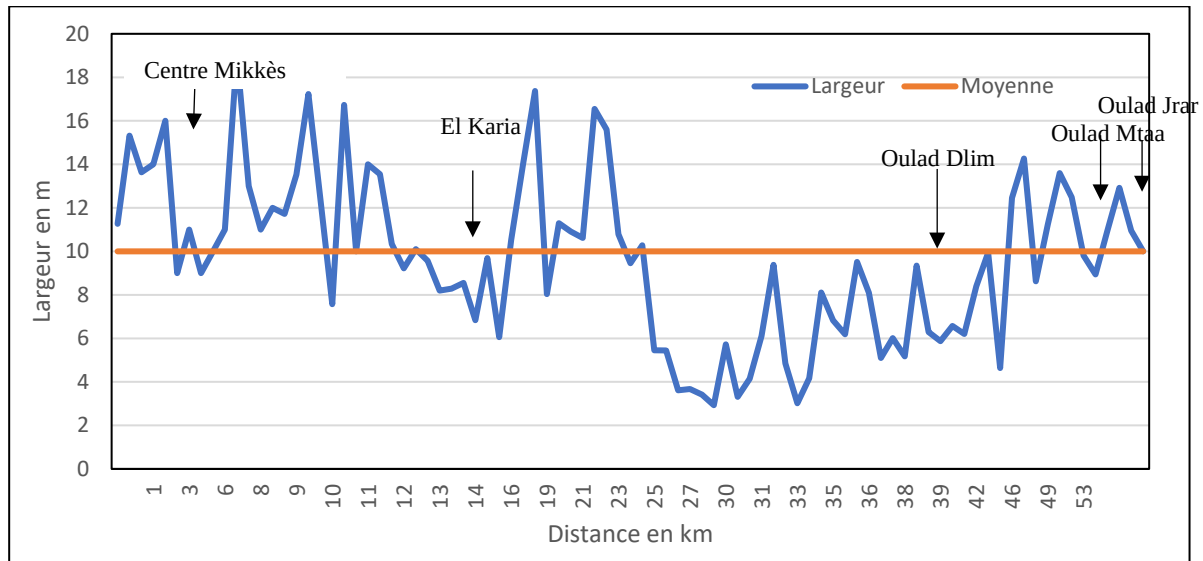


Figure 5.35 : variation des valeurs de la largeur de lit mineur du Bas Mikkès
(d'après les images Sas Planet 2021)

Le long des méandres les seuils et les mouilles correspondent aux unités géomorphologiques principales composant le lit de l'oued. Ces deux unités se distinguent l'une de l'autre par leurs formes transversales et longitudinales ainsi que par leurs caractéristiques hydrauliques et sédimentaires ; leur organisation morpho-sédimentaires exprimerait en effet la réponse morphologique du cours d'eau à une dissipation optimale de l'énergie fournie par les écoulements liquides et le transport solides (T. Dépret, 2013).

Les mouilles et les seuils sont susceptibles de migrer en direction de l'aval. En outre leur répartition longitudinale n'est pas aléatoire. Elle est en quelque sorte intrinsèque à la dynamique fluviale et elle est la traduction directe de l'interaction entre flux liquides et solides transitant dans le cours. Schématiquement, l'espacement entre deux unités successives, reste lié principalement à la largeur du lit mineur (A. Rollet, 2008).

Dans les secteurs où les méandres sont bien développés, les mouilles sont positionnées au niveau de courbure maximale et se caractérisent par des formes allongées allant de 18 m à 70 m de long, (fig.5.36) et par des largeurs ne dépassant pas 8m pour les plus larges et par des profondeurs faibles inférieures à 2m. Les seuils sont positionnés au niveau de la zone de changement de sens des courbures, ils sont caractérisés par des longueurs mesurant entre 20 m et 45 m. Le matériel alluvial qui constitue ces seuils, se compose de galets de moyennes tailles ; en surface ils sont drapés de sédiments fins déposés par l'écoulement d'étiage.

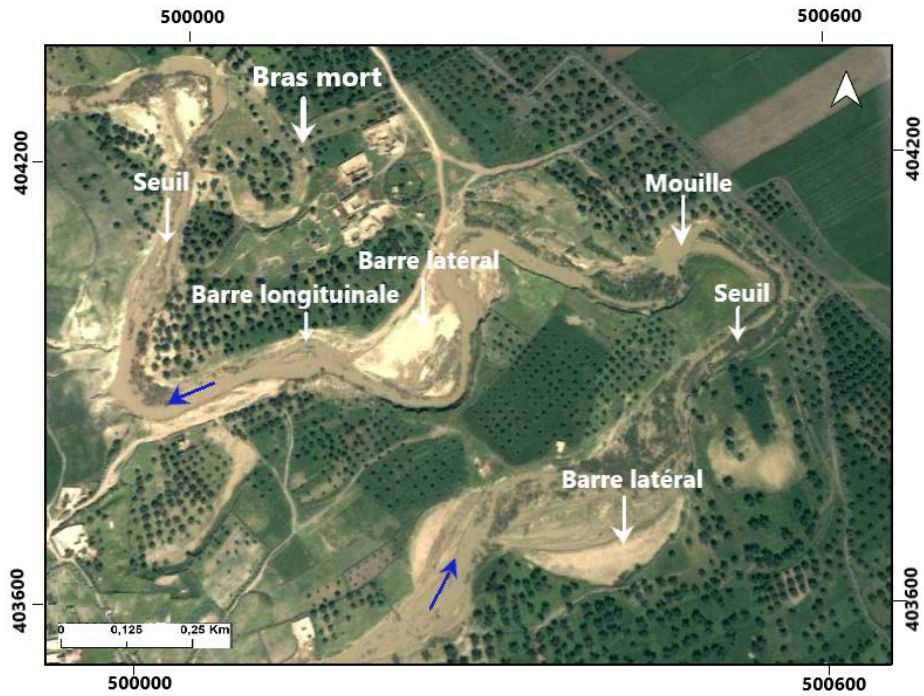


Figure 5.36 : aspects morphologiques des seuils et mouilles du tronçon aval du Mikkès, dans le secteur de Oulad Dlim (d'après Google Earth 2020).

3.2.3.- Les recoupements de méandres

Les recoupements de méandres du Bas Mikkès sont fréquents ; ils se font par débordement (ou déversement) ou par coalescence (ou tangence). Ces phénomènes ont lieu lors d'événements des crues importantes.

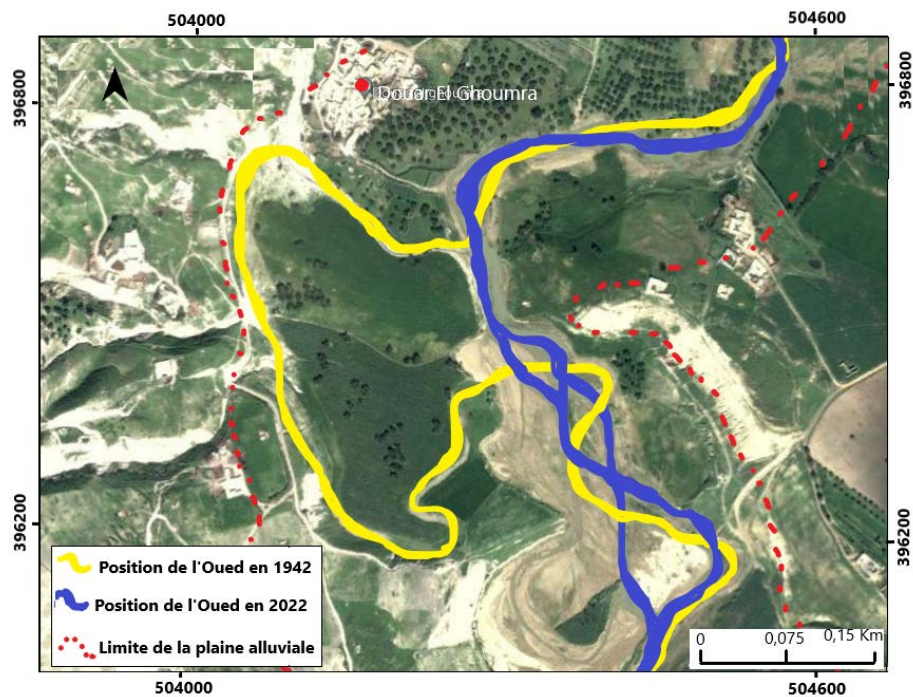


Figure 5.37 : recoupement d'un méandre du Bas Mikkès, dans le secteur de Douar Ghoumra (d'après carte topographique 1942 et image Google Earth, 2022).

Le recouplement par débordement est un processus réduisant la sinuosité du cours d'eau en court-circuitant une boucle lors de débordement d'une crue ou de la succession de plusieurs crues. Tandis que le recouplement des méandres par coalescence se réalise lorsque deux coudes d'un méandre se rejoignent. Cela provoque ensuite l'abandon du méandre qui souvent devient un bras mort. Nous donnons ci-dessous le cas de recouplement d'un méandre dans le secteur de Ghoumra. Dans le secteur de Ghoumra, les méandres sont extrêmement mobiles et instables. Leur évolution diffère d'un point à l'autre selon le type de berges dans lesquelles ils s'entaillent et en fonction des variations des plans d'eau de l'Oued Mikkès (fig.5.37). Le lit mineur se déplace en permanence par recouplement de méandres provoqué soit par sapement soit par débordement. Les transformations spatio-temporelles du tracé de l'Oued Mikkès dans ce secteur sont donc liées aux recouplements des lobes de méandres, à l'importance des fréquences des crues et aux reculs permanents des rives concaves des méandres. Actuellement, il ne reste que de l'ancien méandre qu'un bras mort bien individualisé occupé par une végétation hygrophile très dense. Entre ce bras mort et le méandre actuel, on observe un réseau de levées concentriques séparées par des chenaux qui fonctionnent lors des crues et évacuent les eaux d'inondation à la décrue après décantation de leurs éléments fins.

3.2.4.- Morphométrie des méandres

En utilisant le logiciel Arc-Gis et en exploitant les images satellitaires Sas Planet à haute résolution (250m), nous avons calculé les valeurs des principaux paramètres morphométriques montrées dans le tableau (tab.5.6). Le coefficient moyen de sinuosité est de l'ordre de 2.75, ce qui concorde à une longueur réelle du lit mineur de 55 km et à un trajet à vol d'oiseau de 20km.

L'analyse morphométrique de ces méandres a donné les valeurs du tableau (tab. 5.6). On y observe que les valeurs de la longueur d'onde varient de 1456 m comme valeur maximale, à 315 m comme valeur minimale et 49m comme valeur moyenne. Donc, ils ont une longueur d'onde assez grande. Ces méandres ont une amplitude moyenne de 233m, la valeur maximale atteint 1033 m, alors que la valeur minimale est de l'ordre 57 m. Pour le rayon de courbure, il atteint une valeur maximale de 661 m, tandis que la valeur minimale ne dépasse pas 25 m, la valeur moyenne est de l'ordre 113 m.

En gros, les méandres dans le tronçon du Bas de Mikkès ont des dimensions plus grandes que ceux des tronçons amont dans le Saïs et le Moyen Atlas. Ce qui dévoile l'importance des apports liquides et solides de Mikkès dans le Prérif en comparaison avec les domaines amont. De plus, la nature tendre des terrains marneux, a favorisé l'amplification et l'extension de la plaine alluviale et d'élargissement les lits fonctionnels de l'oued par sapements latéraux et

longitudinaux. À cela il faut ajouter le facteur de la pente longitudinale (0,23%) qui est plus faible et qui favorise l'extension et la mobilité des méandres dans ce tronçon prérifain.

Longueurs du cours d'eau (Km)	Longueur réelle	55 Km
	Longueur, suivant l'axe principal du cours d'eau	44,60 km
Sinuosité	Indice de sinuosité	2,75
Pente	Pente longitudinale	0,23%
Largeur du lit mineur (m)	valeur maximale	19
	valeur minimale	3
	valeur moyenne	10
Longueur d'onde (m)	valeur maximale	1453
	valeur minimale	49
	valeur moyenne	315
Amplitude (m)	valeur maximale	1033
	valeur minimale	57
	valeur moyenne	233
Rayon de courbure (m)	valeur maximale	661
	valeur minimale	25
	valeur moyenne	113

Tableau 5.6 : morphométrie des méandres du Bas Mikkès
(Mesures effectuées sur 230m, dans le secteur d'Oulad Jrar).

3.3.- Analyse des sédiments du lit mineur

3.3.1.- Analyse de la fraction grossière

Depuis l'aval du barrage Sidi Echahed la fraction grossière (galets et graviers) est de plus en plus réduite dans le lit mineur. Le fond du lit est composé principalement des sédiments fins qui par endroits peuvent comporter des passages graveleux ou à petits galets. En fait, même s'ils existent, les galets sont souvent enfouillés en dessous des sables et limons. Les prélèvements étudiés pour l'analyse sédimentologique sont pris dans trois barres du lit mineur choisies dans les secteurs cités auparavant : du Centre Mikkès, de Ould Dlim et de Oulad Jrar.

a.- Granulométrie des galets

Les résultats obtenus de l'analyse granulométriques des galets des barres du lit mineur du Bas Mikkès dans différents secteurs sont représentés sur l'histogramme (fig.5.38) ; ils montrent une dominance des classes de diamètre de 60-80mm. Cette classe représente plus de 58% pour la barre 1 (SCM), 42 % pour la barre 2 et 34 % pour la barre 3, avec des médianes qui oscillent respectivement entre 75 et 90 mm (tab.5.7).

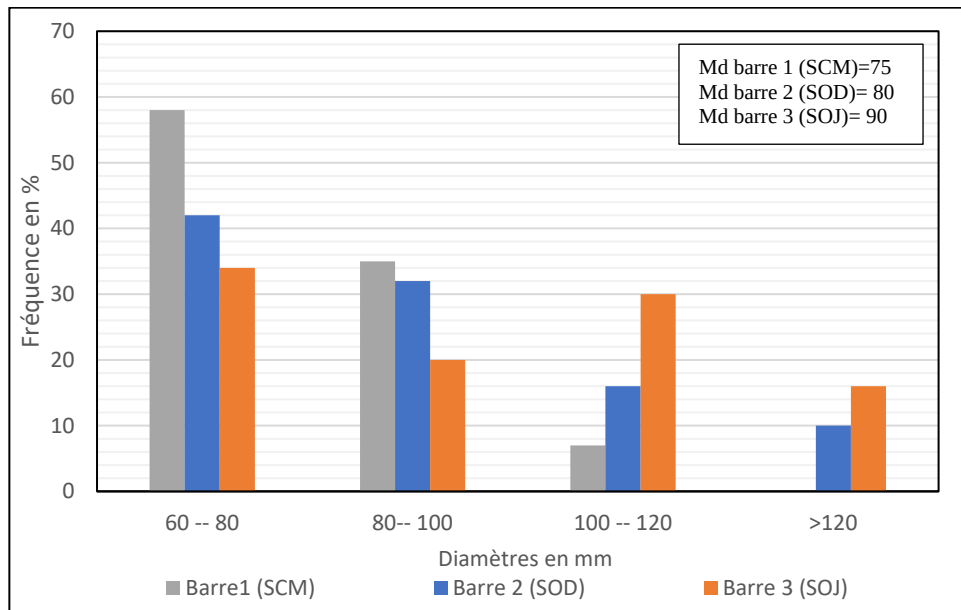


Figure 5.38 : histogramme de fréquence de la dimension des galets des barres alluviales du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), d'Oulad Dlim (SOD) et d'Oulad Jrar (SOJ).

Paramètres granulométriques	Barre 1 (SCM)	Barre 2 (SOD)	Barre 3 (SOJ)
Classe modale (mm)	60-80	60-80	60-80
Médiane (D50) (mm)	75	80	90
Diamètre maximal (mm)	90	130	110

Tableau 5.7 : Paramètres granulométriques des galets des barres alluviales du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).

b.- Pétrographie des galets

L'analyse pétrographique est réalisée sur des prélèvements de 100 galets de la classe de diamètre 60-80 mm, pris dans trois barres alluviales citées ci -dessus. Elle montre une composition d'environ 50% de galets calcaires, 40% des grès et le taux restant (10%) sont des

variétés pétrographiques rares, comme les basaltes, les conglomérats... (fig. 5.39). Ces faciès s'expliquent par la nature lithologique des terrains drainés par le Bas Mikkès et ses affluents dans le Prérif. Les calcaires, sont parmi les roches résistantes les plus abondantes dans le bassin prériefain du Mikkès. L'augmentation des pourcentages des grès s'explique par l'importance des apports issus des versants gauches gréseux de Jbel Dhar Nssour. À noter que depuis 1996, la mise en place du barrage Sidi Echahed, a empêché les apports longitudinaux issus du Saïs et du Moyen Atlas de parvenir vers le tronçon aval.

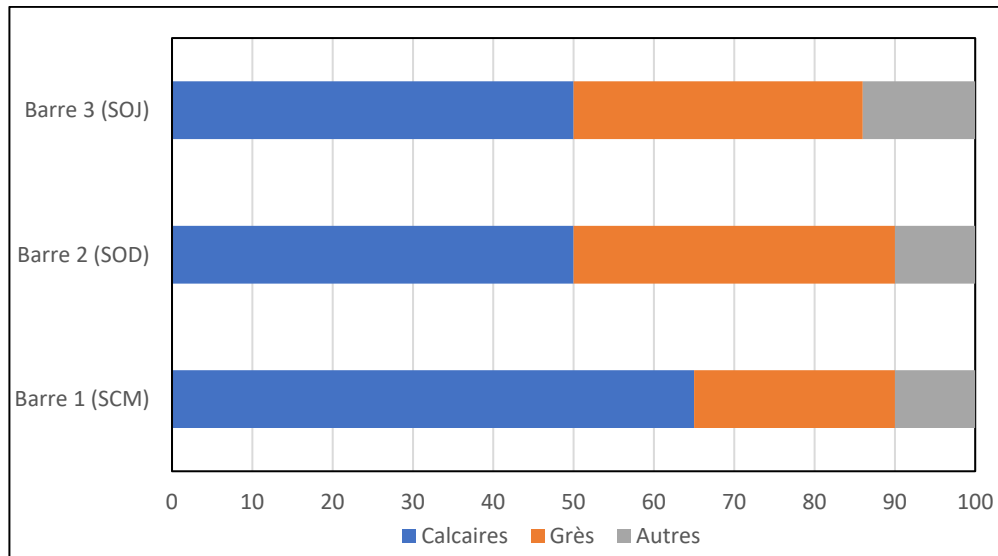


Figure 5.39 : Spectre pétrographique des galets de lit mineur dans du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).

c. Morphométrie des galets

L'étude morphométrique des galets du lit mineur est effectuée sur deux échantillons de 100 galets de la classe 60-80mm, pris dans les barres alluviales du lit mineur. Les indices d'émoussés (fig.5.40. a), montrent des valeurs oscillantes entre 100 et 500, avec une nette concentration des classes 100-200. Dont les médianes correspondant à 220 pour la barre longitudinale 1 (SCM), 200 pour la barre longitudinale 2 (SOD) et 215 pour la barre 3 (SOJ). Ces valeurs dévoilent des formes peu émoussées, indiquant un très faible transport des galets ; qui sont produits par les versants calcaires et gréseux proches. D'autant plus que le Bas Mikkès, en raison de la mise en place du barrage Sidi Echahed depuis 1996, est démunie de ces apports des versants lointains du Moyen Atlas et du Saïs.

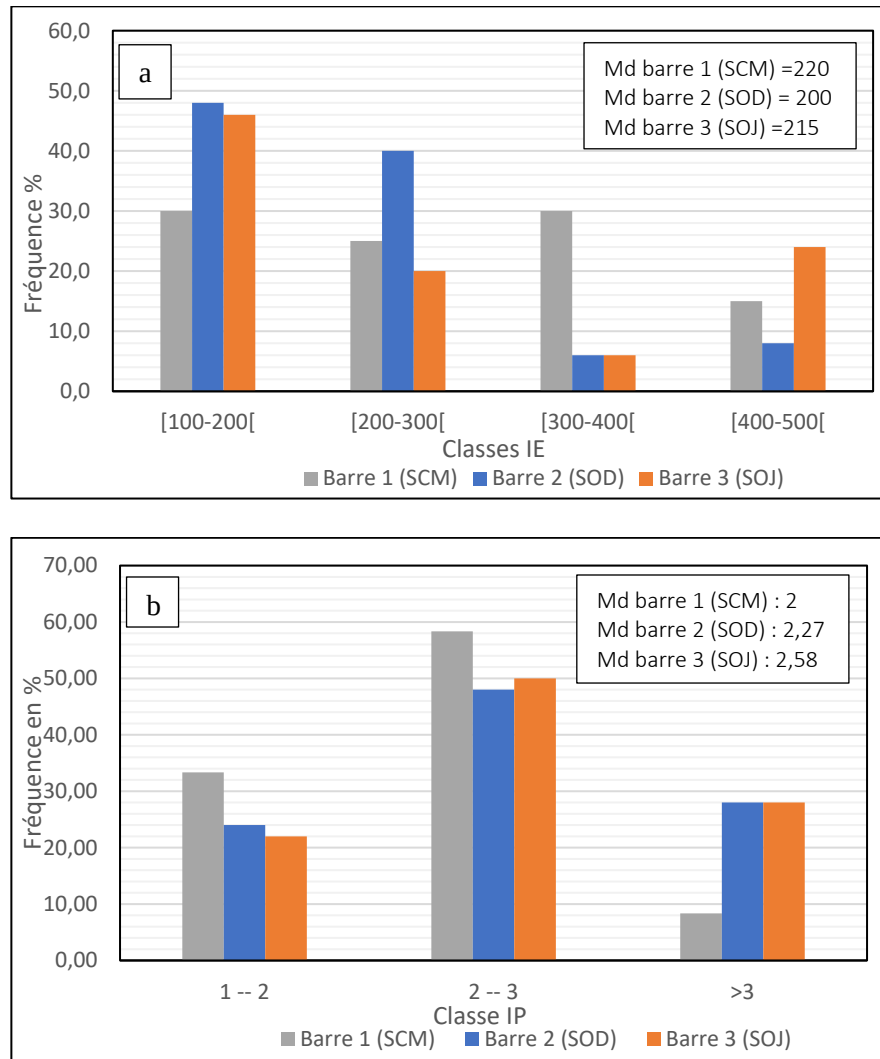


Figure 5.40 : indices d'éroussé et d'aplatissement des barres de lit mineur dans les secteurs du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ). a) Indices d'éroussé, b) Indice d'aplatissement.

Les indices d'aplatissement (fig.5.40. b), montrent la dominance des valeurs situées dans l'intervalle 2-3, dont les médianes enregistrent respectivement 2, 2,27 et 2,58. Ces valeurs, témoignent d'une source nourricière proche, représentée par des escarpements calcaires et gréseux qui délivrent des galets anguleux détachés des couches résistantes des versants marno-gréseux proches.

3.3.2.- Analyse de la fraction fine

L'analyse granulométrique des sables du lit mineur du Bas Mikkès a été réalisée sur des sables prélevés des mêmes barres précédentes. Les résultats obtenus sont illustrés sous forme de courbes de fréquences et cumulatives (fig.5.41 et fig. 542).

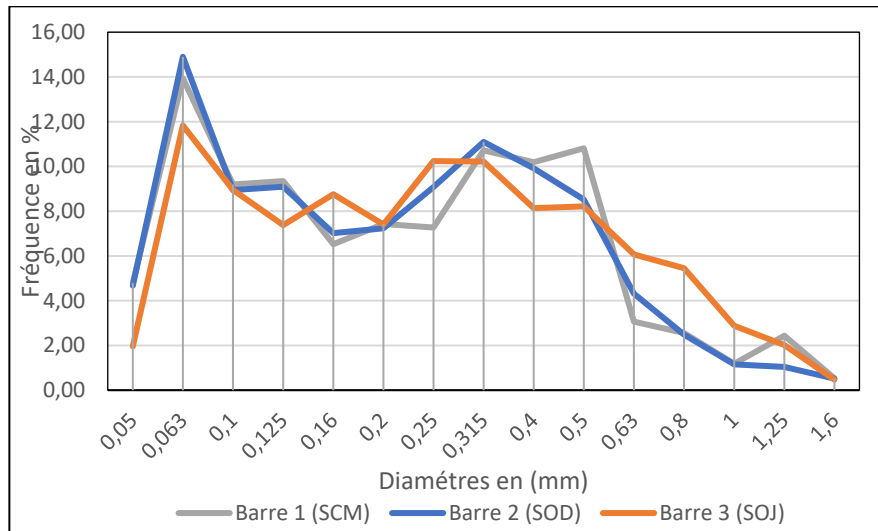


Figure 5.41 : courbes des fréquences des classes granulométriques des sables des barres alluviales dans le Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), d'Oulad Dlim (SOD) et d'Oulad Jrar (SOJ).

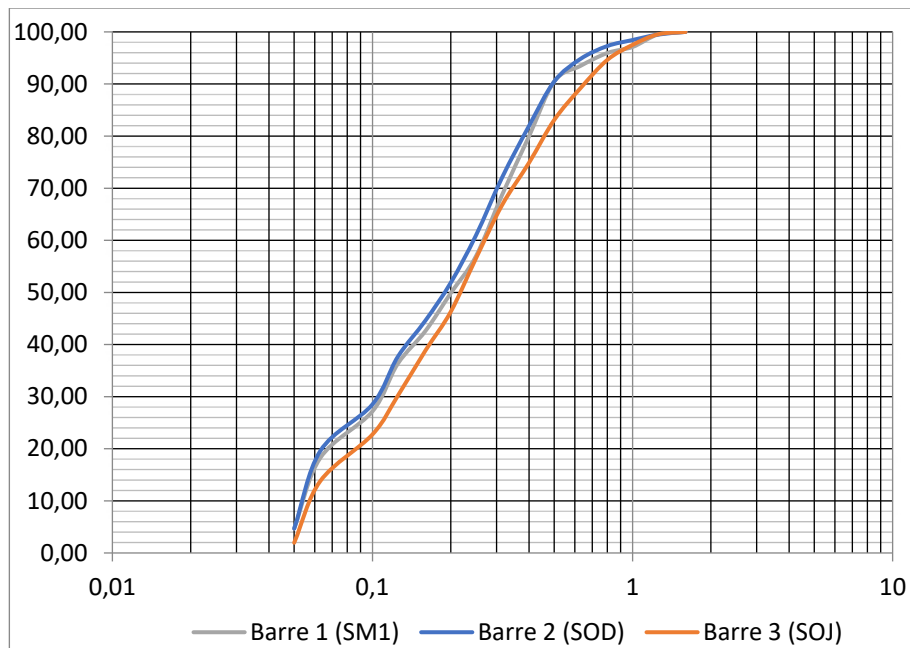


Figure 5.42 : courbes des fréquences cumulées des classes granulométriques des sables des barres du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), d'Oulad Dlim (SOD) et d'Oulad Jrar (SOJ).

Les résultats de l'analyse granulométrique de 150g de la fraction sableuse de trois échantillons montrent la dominance de la valeur modale 0,063mm avec des médianes très proches. Elles correspondent respectivement à : 0,3, 0,20mm et 0,24mm ; ce qui montre que ces sédiments appartiennent aux sables fins. Ces constats sont confirmés par l'indice de classement de Trask (So) = 0,57 ; 0,53 ; 0,52, et l'indice de classement Sk = 0,17 ; 0,72 ; 0,83 (tab.5.8). Ces résultats indiquent que les sédiments sableux du lit actuel sont très bien classés et déposés dans un environnement de faible énergie.

Paramètres granulométriques	Barre 1(SCM)	Barre 2 (SOD)	Barre 3 (SOJ)
Q1	0,13	0,09	0,11
Q2	0,3	0,20	0,23
Q3	0,4	0,32	0,4
Le grain moyen (Mz)	0,22	0,21	0,24
La médiane (Md)	0,3	0,20	0,23
Modale (Mo)	0,063	0,063	0,063
Indice de classement S0	0,57	0,53	0,52
Indice de classement SK	0,17	0,72	0,83

Tableau 5.8 : valeurs des quartiles et indices granulométriques des sables des barres alluviales dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).

4.- L'influence des dynamiques latérales

La dynamique des versants et des torrents latéraux, dans la vallée du Bas Mikkès est très active. Son impact se manifeste essentiellement dans son incidence comme source des débits liquides et solides et comme facteur amplificateur de l'érosion latérale le long de l'Oued Mikkès. Les dynamiques latérales favorisent en effet des perturbations de l'écoulement causées par l'arrivée des affluents sur les deux rives et aux apports latéraux issus directement des versants dominants la plaine alluviale. Dans plusieurs tronçons, les cônes de déjection et les bourrelets de lissements de terrain repoussent le lit mineur de l'oued d'un côté à l'autre de la vallée.

4.1.- L'influence des confluences

Dans le Prérif, le Mikkès reçoit deux grands affluents essentiels ; l'Oued Ben Halima sur la rive gauche (superficie du BV= 396Km²), conflue avec le Mikkès juste après quelques kilomètres en aval du barrage de Sidi Ehahed (fig.5.43). Son cours d'eau est court (6 Km), et sa pente est d'environ 0,13 %. L'Oued Mellah (superficie BV = 37 km²) sur la rive droite, conflue plus à l'aval.

Sur la rive gauche (5.35) ; il est caractérisé par un tracé relativement long de 52 km et par une pente d'environ (2,06 %). Au droit de chaque confluence avec un affluent, la plaine alluviale de Mikkès s'élargit sensiblement et passe de 371 m, avant la confluence avec Ben Halima, à 568m après la confluence. Pour la confluence avec Oued Mellah, la largeur de la plaine alluviale passe de 498 m à 653 m après la confluence (fig.5.44). De même, après chaque confluence, le lit mineur de Mikkès s'agrandit ; par exemple, sa largeur varie de 15m avant sa confluence avec

l'affluent Ben Halima à 24 m après cette dernière ; elle passe de 9 m avant la confluence avec Oued Mellah à 18m à son aval.

En fait, sur le plan morpho-dynamique, les zones de confluences apparaissent comme des zones instables, marquées par une forte activité morphodynamique et par le recul des berges et l'élargissement du lit mineur au détriment de la plaine alluviale, grossie par les apports des affluents. Le lit du Mikkès s'adapte aux nouvelles conditions de débit et de charge ; il se manifeste par des divagations et l'élargissement de son lit jusqu'au moment où il parvient à trouver un certain équilibre entre la pente, la largeur et la profondeur du lit, le débit et la charge véhiculée.

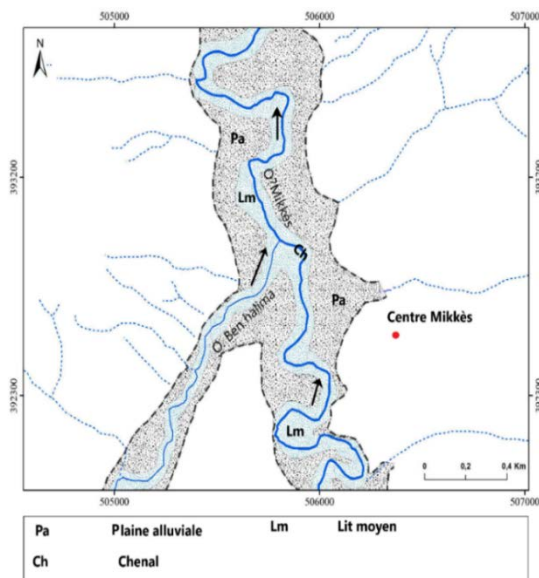


Figure 5.43 : impact de la confluence de l'Oued Ben Halima sur la morphologie des méandres de l'Oued Mikkès (inspiré de l'image Google Earth 2022).

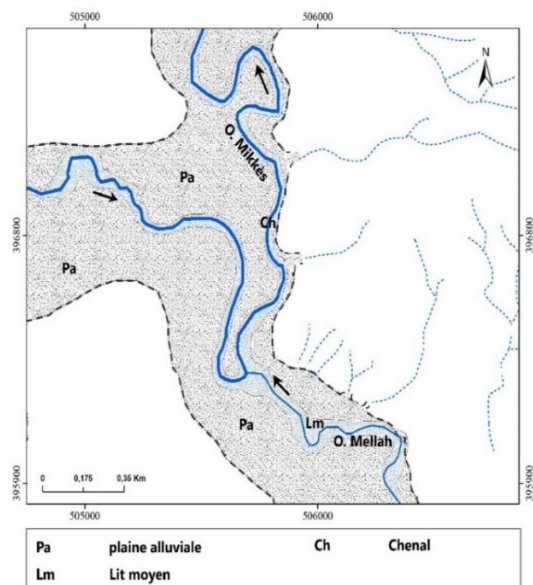


Figure 5.44 : impact de la confluence de l'Oued Mellah sur les méandres de l'Oued Mikkès (inspiré de l'image Google Earth 2022)

4.2.- L'influence des cônes de déjection

L'érosion intense des versants marneux prérfains et la forte production détritque engendrent des dynamiques latérales torrentielles, affectant le fonctionnement hydromorphologique du Bas Mikkès. Ces dynamiques latérales alimentent de nombreux cônes de déjection latéraux qui atteignent le lit actif de l'Oued Mikkès. Ces cônes sont actifs systématiquement sur les deux rives, mais ils sont plus fréquents sur la rive gauche (ph5.5).

Dans de nombreux cas, le développement de ces cônes entraine la migration du cours de l'Oued Mikkès vers la rive opposée en y provoquant un sapement des berges. Lorsque le sapement atteint la base des versants, il y déclenche de grands glissements rotationnels. Ces

derniers, activés aux moments des fortes crues, causent un recul important des versants et alimentent le cours de l'Oued Mikkès en charge alluvionnaire importante.



Photo 5.5 : Exemple de cône de déjection latéral sur la rive gauche de l'Oued Mikkès dans le secteur de Douar Oulad Haj Ali, à l'ouest de Centre de Mikkès (Octobre, 2019).

5.- Typologie des berges et caractéristiques de la ripisylve

5.1.- Typologie des berges

L'érosion d'une berge est la destruction de ses matériaux constructifs par l'eau de la rivière. Cet enlèvement des sédiments est possible lorsque les forces d'entraînement dues à la forte vitesse du courant. Le façonnement des berges du Bas Mikkès est généralement très actif du fait de la dynamique des méandres de fortes sinuosités. De plus, l'affouillement et l'attaque des pieds des versants marneux accentuent la sinuosité du lit mineur et créent des déséquilibres favorisant le sapement de berges.

L'étude des berges le long du Bas Mikkès dans le Prérif nous a permis de distinguer cinq types selon leurs états de stabilité et d'érosion : les berges stables, les berges sapées périodiquement, les berges sapées actuellement, les berges glissées et les berges dégradées (tab.5.9). Comme dans le cas du Moyen Mikkès dans le Saïs, la quantification des différents types est établie à partir des images Sas Planet, année 2020 et en utilisant le logiciel Global Mapper (2020), complété par les travaux de terrain.

Les résultats sont représentés en % de répartition des longueurs sur une longueur totale de 21,113km. Sur le reste de longueurs des berges, les berges portent souvent une dense ripisylve ce qui nous a empêché de trancher et de déterminer chaque type de berges. Sur d'autres tronçons les berges sont taillées dans le substrat marneux.

	Berges stables	Berges sapées périodiquement	Berges sapées actuellement	Berges glissées	Berges dégradées	Total
Longueur (m)	5946	1311	2600	8007	3249	21113
Fréquence %	28,16	6,21	12,32	37,92	15,39	100 %

Tableau 5.9 : répartition des types de berges selon leurs longueurs respectives, le long du Bas Mikkès

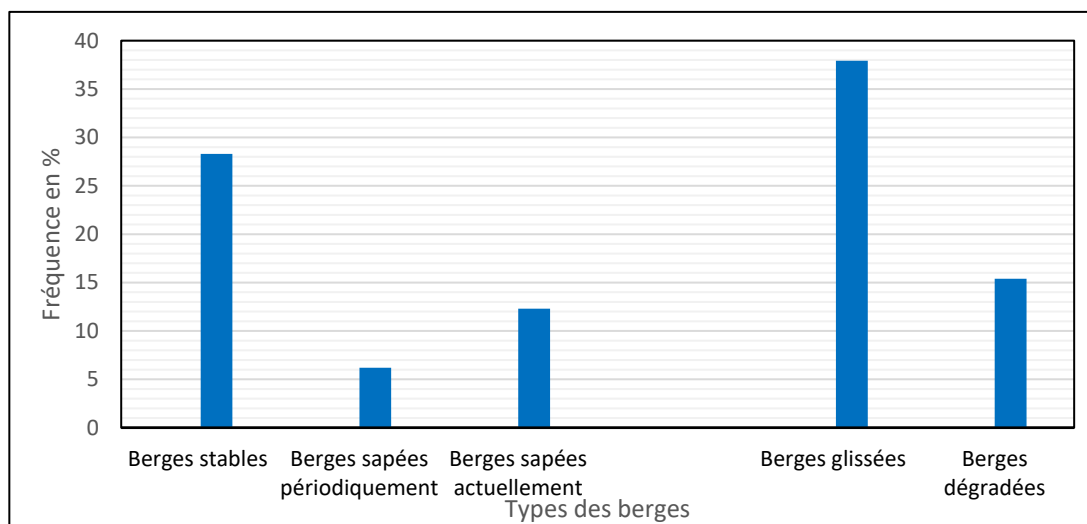


Figure 5. 45 : répartition des types des berges selon leurs proportions des longueurs respectives, le long du Bas Mikkès

Notons que le taux en pourcentage des berges sapées actuellement augmente de l'amont vers l'aval de façon progressive, du fait que l'oued le long de son cheminement reçoit des affluents importants qui engendrent l'accroissement des débits liquides, l'augmentation de la vitesse et le creusement linéaire et sapement latéral des berges.

5.1.1-. Les berges stables

Ce sont des berges évoluant d'une façon très lente, leur stabilisation est due à leur éloignement du chenal actif de l'oued, ainsi qu'à la présence des ripisylves qui donnent certaines résistances contre le sapement des eaux courantes (pl.ph.5.1.d). Généralement les rives convexes sont souvent des zones de calme hydrodynamique où les matériaux transposés se déposent à leurs pieds et construisent un ensemble de bancs accolé à la rive qui empêchent le courant hydrique de les aborder en les repoussant vers la rive opposée. Ce qui favorise une certaine stabilité de ce type de berges.

5.1.2-. Les berges sapées périodiquement

Ce sont des berges qui constituent des limites entre le lit moyen et le lit majeur exceptionnel et que le sapement ne se réalise qu'en cas de débordement des eaux de crues ; la montée des eaux de façon périodique suivant le rythme hydrologique des crues, favorise des affouillements à leur base et un certain recul de façon discontinue (pl ph.5.1.c).

5.1.3-. Les berges sapées actuellement

Ce sont des berges situées de part et d'autre du lit mineur dans les zones de concavités ; elles subissent des processus hydrodynamiques intenses de façon continue et surtout lorsque les débits sont à plein bord. La hauteur et la degré d'évolution des berges dépendent de la nature du matériel de la berge affectée et des conditions hydrodynamiques de l'oued.

Les eaux de l'Oued Mikkès érodent facilement les matériaux constructifs des berges taillées dans les formations de la plaine alluviale, libérant une grande quantité des matériaux alimentant le chenal actif. L'intensification du sapement dans certains sites le long de l'Oued Mikkès crée un recul rapide des berges (pl.ph.5.1.a).

5.1.4-. Les berges glissées

Les berges glissées sont les plus abondantes le long du Bas Mikkès puisqu'elles représentent plus de 35% des longueurs. En fait, l'équilibre d'une berge dépend de sa géométrie, des caractéristiques mécaniques des matériaux et de la présence de l'eau dans le sol.

Les glissements se déclenchent fréquemment dans des berges dont les constituants sont riches en limons et en argiles. Ils arrivent après le passage des crues dans les eaux qui imbibent et saturent les matériaux de la berge ; il arrive un moment où ces matériaux s'effondrent et glissent ou en masse. Le processus est souvent facilité par l'affouillement des matériaux constructifs de la base des berges. (pl.ph5.1.b).

5.1.5-. Les berges dégradées

Ce type caractérise souvent les berges qui ont une faible hauteur (moins de 1 m), ce qui favorise le débordement du cours d'eau pendant la période hivernale et aboutit à une dégradation totale de la berge. Ce type des berges représente plus de 15% des longueurs analysées.



Planche photos 5.1 : typologies des berges de l'Oued Mikkès au Prérif

- a) Berge concave sapée actuellement près de Douar Aït Hdidou, dans le secteur de Oulad Dlim (Avril 2021).
- b) Glissement d'une berge au niveau du Douar Oulad Jrar. (Mars 2018).
- c) Berge sapée périodiquement près du Douar Oulad Jrar. (Avril 2019)
- d) Berge stable protégée par la ripisylve près de Centre Mikkès (Mars 2020).

5.2.- Les caractéristiques de la ripisylve

En comparaison avec ce qu'on a observé dans le domaine du Saïs, la ripisylve dans le Bas Mikkès est peu dense ; les formations végétales sont réduites à des plantes herbacées ou arbustives groupées en amas ou simplement réparties de façon clairsemée. L'espèce la plus dominante est représentée par le *Tamaris africana*, présent sur les deux rives (pl. ph.5.2). Dans le lit mineur nous trouvons par endroits les espèces hydrophytes qui sont des plantes dont l'appareil végétatif est développé tout à l'intérieur du plan d'eau ou à sa surface (nageant ou enraciné). Elles sont représentées principalement par les espèces *Potamogeton nodosus* et *Typha latifolia*.



Planche photos 5.2 : aspects de la ripisylve du Bas Mikkès dans le Prérif

- a) *Tamaris africana* sur les deux rives de l'Oued Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar (Janvier 2022)
- b) *Tamariscus gallicus* sur la rive droite près de douar el Ghoumra, dans le secteur Oulad Dlim (Janvier 2022)
- c) *Potamogeton nodosus* couvrant le lit mineur de Mikkès, près du Douar Oulad Dlim (Avril 2018)
- d) Rideau de *Typha latifolia* dans le lit mineur du Bas Mikkès, près de Centre Mikkès (Avril 2018)

En comparant la ripisylve entre les différents secteurs étudiés auparavant le long du Mikkès (amont, médian, aval), la ripisylve est plus développée et plus dense dans le premier tiers du tronçon, en raison de l'artificialisation de l'écoulement par le barrage Sidi Echahed qui permet l'apparition des nouvelles espèces riveraines qui colonisent les lits de l'oued. Elles profitent de l'humidité et la fertilité des alluvions du fond de la vallée. En gros, la ripisylve du Bas de Mikkès est largement bien développée par comparaison au tronçon médian du Saïs Dans le secteur du Centre de Mikkès, les berges montrent une ripisylve riche en *Typha latifolia*. Vers le secteur médian d'Oulad Dlim, la végétation riveraine est formée des arbustes de *Tamaris gallicus* qui colonisent surtout la berge basse à pente douce. Également on observe par endroits soient des berges dénuées de ripisylves, ou bien colonisées par des espèces pionnières d'hélophytes. On

peut déduire que la pression des cultures jusqu'à la tête de la berge et le pâturage s'imposent au développement de la ripisylve et contribue à l'apparition des espèces prairiales. Au secteur aval d'Oulad Jrar les ripisylves montrent les mêmes variétés des espèces citées dans le secteur médian, avec abondance de *Tamaris africana*.

Sur le plan morphodynamique, la ripisylve du Bas Mikkès contribue à la protection des berges contre l'érosion et implique une diminution de la vitesse du courant, en favorisant le retient des sédiments fins sur les berges. Elle favorise également, la fixation et la stabilisation des barres alluviales qui se trouvent dans le lit de l'oued, engendrant leur aggradation et leur préservation.

6.- Etude diachronique du tracé du Bas Mikkès entre 1942 et 2021

L'étude de documents cartographiques, photos aériennes et images satellitaires de différentes années, a permis de réaliser une étude évolutive de la morphologie du tracé du Bas Mikkès, avant et après la mise en place du barrage Sidi Echahed. Nous présentons ci-dessus l'analyse faite sur le tronçon qui s'étend à l'aval du barrage, dans le secteur de Centre de Mikkès (fig. 5.46).

6.1.- Période avant mise en place du barrage

- **L'état de l'oued en 1942** : on a utilisé la carte topographique de Béni Ammar à échelle de 1/5000 (fig.5.46.a), le tracé du Bas Mikkès correspondait en 1942 à un chenal unique avec des successions des méandres très sinueux, avec une sinuosité très forte de l'ordre de 2,90 ; sa longueur réelle était de 9,91 km.

- **L'état de l'oued en 1962** : on a utilisé des photos aériennes à l'échelle de 1/25000 (fig.5.46.b) ; celles-ci montrent que le lit du Bas Mikkès présentait un style fluvial à chenal unique sinueux, avec une sinuosité de l'ordre de 2,82 et de 9,65 km de long. La largeur moyenne du lit mineur était de 37 m.

6.2.- Période après mise en place du barrage

- **L'état de l'oued en 2001** : on a exploité les images satellitaires de Google Earth du mois de février 2001(fig.5.46.c). Le Bas Mikkès avait un chenal unique également méandriforme, avec un indice de sinuosité égale à 2,72. Sa longueur était de 9,26 km. La largeur moyenne du li mineur est de l'ordre de 35 m.

- **L'état de l'oued en 2021** : Le Bas Mikkès n'a pas changé de style (fig.5.46.d) ; il a gardé le même style divaguant, la même longueur de 9,26 km et le même indice de sinuosité.

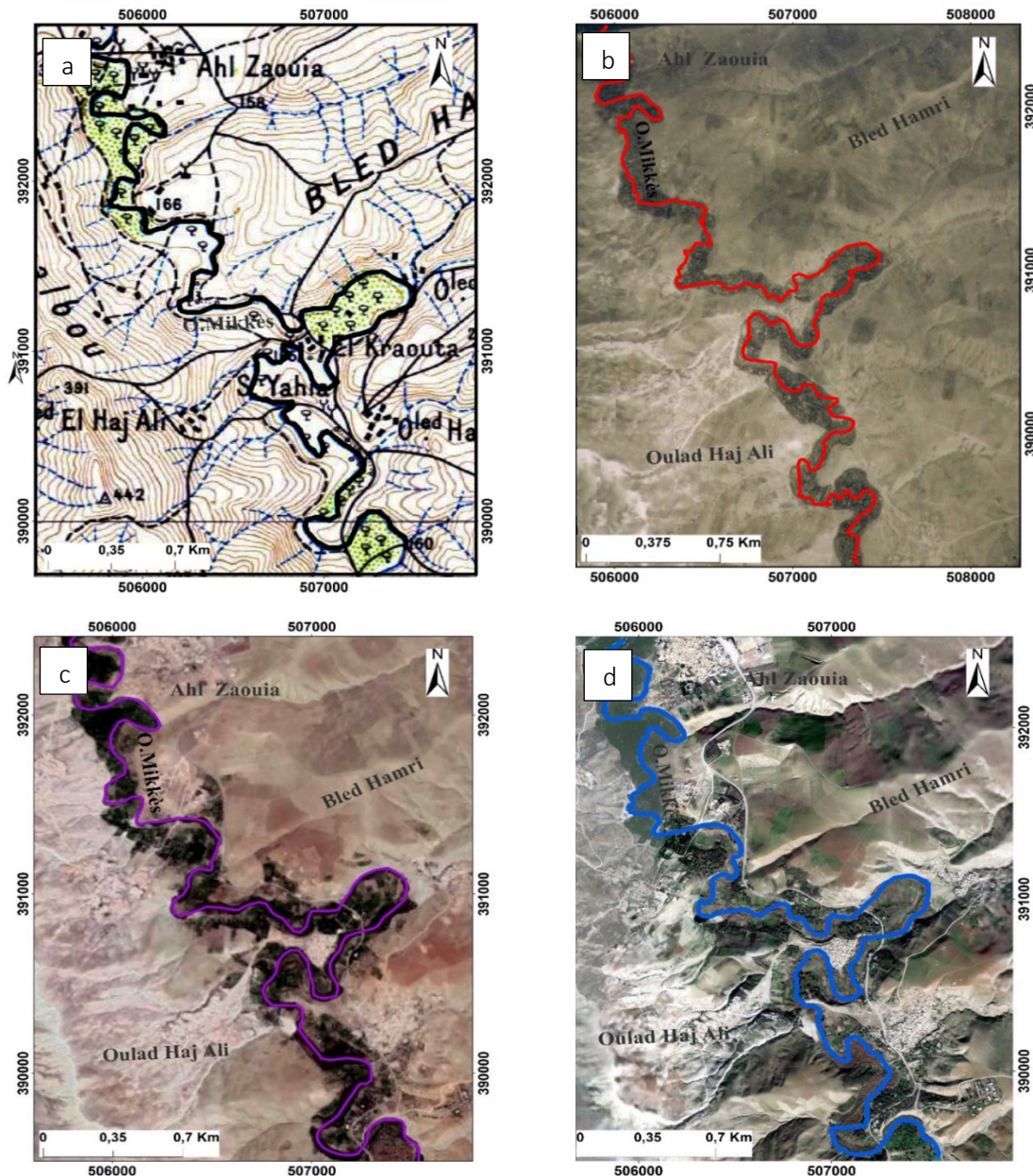


Figure 5.46 : évolution diachronique du tracé du Bas Mikkès entre 1942 et 2021 dans le secteur de Centre Mikkès, à l'aval du barrage. a) l'état en 1942, d'après carte topographique 1/50000 b) l'état en 1962 d'après photo aérienne 1/25000 ; c) l'état en 2001, d'après image Google Earth 2001 ; d) L'état en 2021, d'après image Google Earth 2021.

La comparaison des quatre situations(fig.5.4), nous a permis de constater durant les années 1942, 1962 que le tracé de l'oued du Bas Mikkès a subis des modifications et des migrations latérales significatives de son chenal. Ce qui est bien visible surtout pour les méandres de la partie amont, qui ont tendance à migrer latéralement vers la rive droite. Après les années 2000, la carte diachronique montre que le lit de Mikkès était peu mobile, sans modification morphologique

significative. Cette situation peut être mise en rapport avec la mise en place du barrage Sidi Echahed qui a privé l'oued de ses apports liquides et solides naturels depuis 1996.

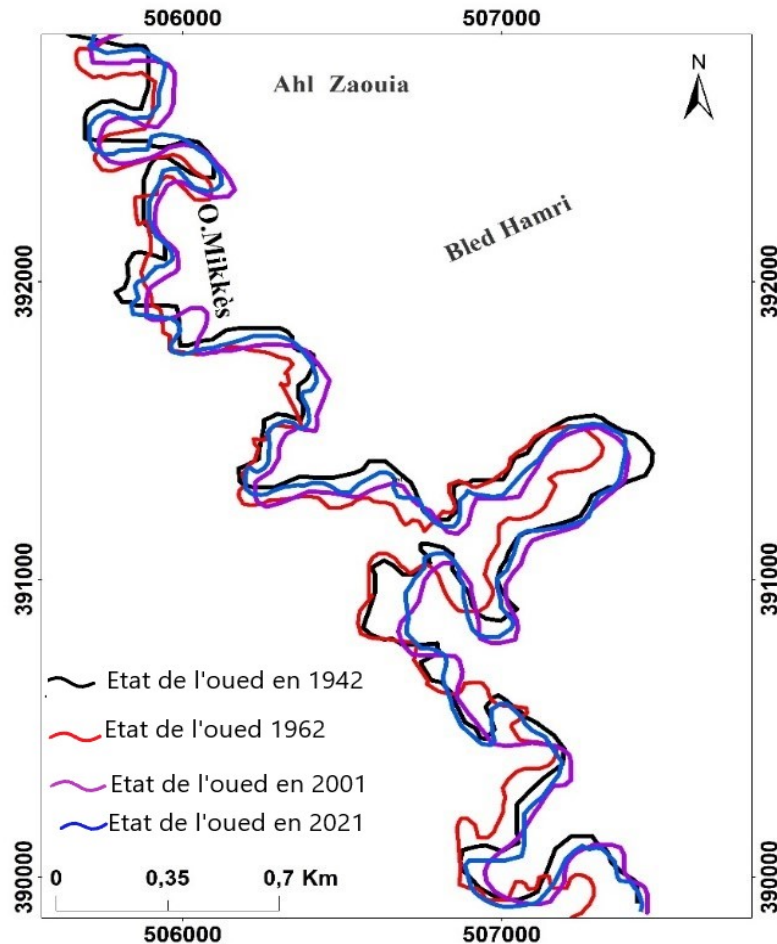


Figure 5.47 : superposition des tracés du Bas Mikkès en 1942, 1962, 2001 et 2021 ; secteur du Centre de Mikkès.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons poursuivi l'étude de la morphodynamique fluviale de l'Oued Mikkès dans le domaine Prérifain, avant de rejoindre l'Oued Sebou. Après sa sortie du Saïs, le cours d'eau s'écoule sur environ 55km dans une vallée creusée dans les terrains fragiles essentiellement marneux et calcaires marneux. L'élargissement et l'évasement de cette vallée sont plus importants par rapport aux tronçons du Moyen Mikkès et du Haut Mikkès et dépendent principalement du degré de résistance des ensembles lithologiques traversés et leur disposition structurale. Ce qui influe le profil transversal de la vallée et l'extension de sa plaine alluviale, ainsi que le profil longitudinal et le style fluvial de l'oued. L'analyse morphodynamique a concerné la vallée du Bas Mikkès à l'aval du barrage Sidi Echahed mis en place en 1996. Elle a

porté préférentiellement sur trois tronçons : amont dans le secteur Centre Mikkès, médian dans le secteur Oulad Dlim et aval dans le secteur Oulad Jrar.

La plaine alluviale dans ces secteurs est beaucoup plus développée par comparaison aux cas dans le Saïs et du Moyen Atlas ; elle montre une largeur plus importante variant autour d'une moyenne d'environ 336 m. Le remplissage sédimentaire de la plaine alluviale dépasse les trois mètres d'épaisseur visible ; il s'agit d'un matériel alluvionnaire classique, montrant essentiellement une alternance de niveaux fins sablo-limoneux, surmontant souvent des niveaux à faciès grossiers, qui restent rares voire absents dans plusieurs cas. Ce qui traduit le contexte hydrodynamique distal du tronçon de Bas Mikkès, mais aussi le contexte géologique marneux qui livre préférentiellement une charge fine.

Au niveau du lit fluvial fonctionnel, l'étude morphologique a fait ressortir la présence d'un chenal unique dessinant des méandres de fortes sinuosités. Le lit de l'oued montre souvent deux lits, moyen et mineur, dont la morphologie et les dimensions varient selon les secteurs. Le fond du lit conserve principalement des sédiments fins, même si l'on observe parfois et localement des passages graveleux ou petits galets. Ce qui montre que la charge sédimentaire transportée est dominée par la fraction fine sablo-limoneuse bien classée. En fait, l'existence du barrage Sidi Echahed à l'amont a réduit considérablement le transit des matériaux grossiers en provenance du Haut et Moyen Mikkès. Les charges sédimentaires fines dominantes proviennent majoritairement des versants marneux pré-rifains et des sapements de berges de l'oued.

L'influence des dynamiques latérales sur la dynamique et la morphologie du Bas de Mikkès a été étudiée ; elle s'exprime essentiellement dans les apports liquides et détritiques latéraux apportés par les chaâbats, torrents et cônes de déjection et aussi par des impacts sur la forme et la largeur des méandres.

L'étude des berges le long du Bas Mikkès, a débouché sur une typologie en 5 types (berges stables, sapées périodiquement, sapées actuellement, glissées et dégradées). Dans un contexte lithologique marneux, le glissement des berges domine largement (38%), suivi des sapements par le courant (18%). Les ripisylves des berges sont plus ou moins bien développées selon les transects. Elles se composent essentiellement du *Tamaris africana* ; dans le lit mineur des espèces hydrophytes constituées *Potamogeton nodosus* et *Typha latifolia* dominent.

L'étude diachronique du tracé du Bas Mikkès est effectuée entre 1942 et 2020, dans le tronçon situé à l'aval du barrage de Sidi Echahed, dans le secteur de Centre de Mikkès ; elle a mis en évidence la stabilité relative du chenal de l'oued à partir des années 2000. Ce qui coïncide

avec l'impact du barrage de Sidi Echahed mis en service déjà depuis les années 1996 (privation du Bas Mikkès des apports liquides et solides des grandes crues issus de l'amont).

Dans le chapitre suivant nous analyserons plus en détail l'impact de ce barrage, tout en abordant la question de l'anthropisation et ses influences sur le fonctionnement de l'Oued Mikkès.

Chapitre 6 :

Anthropisation, mutation socio-spatiale et impacts sur l'Oued Mikkès

Introduction

1.- Bref aperçu sur l'anthropisation durant la période de protectorat (1912-1956)

2.- Découpage administratif et population du bassin versant

3.- L'occupation humaine et exploitation des ressources du bassin versant de Mikkès

4.- Interventions d'aménagement sur le lit de l'oued et leurs impacts hydro-morphodynamiques

Conclusion

Introduction

Il est couramment admis aujourd'hui que les interventions anthropiques influencent largement la dynamique fluviale, de la majorité des cours d'eau marocains, et par conséquent leur hydro- morphologie et leur évolution spatio-temporelle (A. Taous, 2013). La majorité des fonds de vallées marocaines sont affectés par l'action de l'homme, qui exploite les ressources naturelles (eau, sols fertiles...) de ces espaces géomorphologiques fragiles.

Au niveau de la vallée de l'Oued Mikkès, vers les dernières décennies, le milieu fluvial est de plus en plus affecté par l'anthropisation (pression démographique, mutation socio-spatiale, surpâturage, utilisation de la ressource en eau, aménagement hydraulique, etc.). Ces pressions modifient de plus en plus le régime hydro-sédimentaire naturel de l'oued et engendrent la fragmentation de son continuum hydro-sédimentaire et éco-morphologique, menaçant les équilibres environnementaux et le paysage fluvial.

L'objectif de ce dernier chapitre est d'exposer l'état d'anthropisation et son impact sur le système fluvial de l'Oued Mikkès. La démarche consiste à mettre en premier lieu l'accent sur la répartition de la population, son évolution démographique et ses principales activités socio-économiques à l'échelle du bassin versant. Dans un deuxième niveau, à l'échelle de la vallée, on va mettre en relief les modes d'occupation et inventorier les aménagements et les types d'exploitations de l'espace fluvial, tout en exposant leurs impacts sur le fonctionnement morphodynamique de l'oued et les ajustements morphologiques et sédimentaires.

Pour réaliser ce chapitre on s'est basé sur la base des données statistiques des recensements (1982-2014), la recherche bibliographique est destinée à la zone d'étude compléter par des documents monographiques et des travaux cartographiques.

1.- Bref aperçu sur l'anthropisation durant la période de protectorat (1912-1956)

Dans la région d'étude, l'importante tribu berbère des Bnim Tir est celle qui dominait le paysage de l'époque. Afin de profiter de la complémentarité des écosystèmes, la fraction de la tribu était organisée de telle sorte qu'elle pouvait bénéficier à la fois d'un accès au piémont et aux causses du Moyen Atlas, ainsi qu'au plateau du Saïs.

L'élevage transhumant était l'activité principale de la tribu. Les zones de moyenne et haute altitude de la montagne du Moyen Atlas leur servent de pâturage d'été alors que le plateau du Saïs était utilisé pour le pâturage d'hiver. Les membres de la tribu profitaient également de l'accès terres fertiles du Saïs pour cultiver quelques parcelles à proximité des cours d'eau. (T. Gamarof et *al.* 2013).

Le début du protectorat français (1912-1956) recoupe la période de la première guerre mondiale (1914-1918), pendant laquelle la France est fortement demandeuse en ravitaillement alimentaire. La politique de protectorat va alors dans le sens d'un soutien à l'agriculture coloniale marocaine avec une forte orientation vers la céréaliculture, qui se retrouve dans la zone d'étude. (fig.6.1).

Durant cette période, la zone d'étude a été considérée comme étant la plus privilégiée par les colons, particulièrement au niveau de la plaine de Saïs. La plaine alluviale de la vallée de l'Oued Mikkès dans le Saïs a connu des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles pour servir les activités agricoles de nombreuses fermes coloniales installées près des oueds en profitant de leurs ressources en eau d'eau.

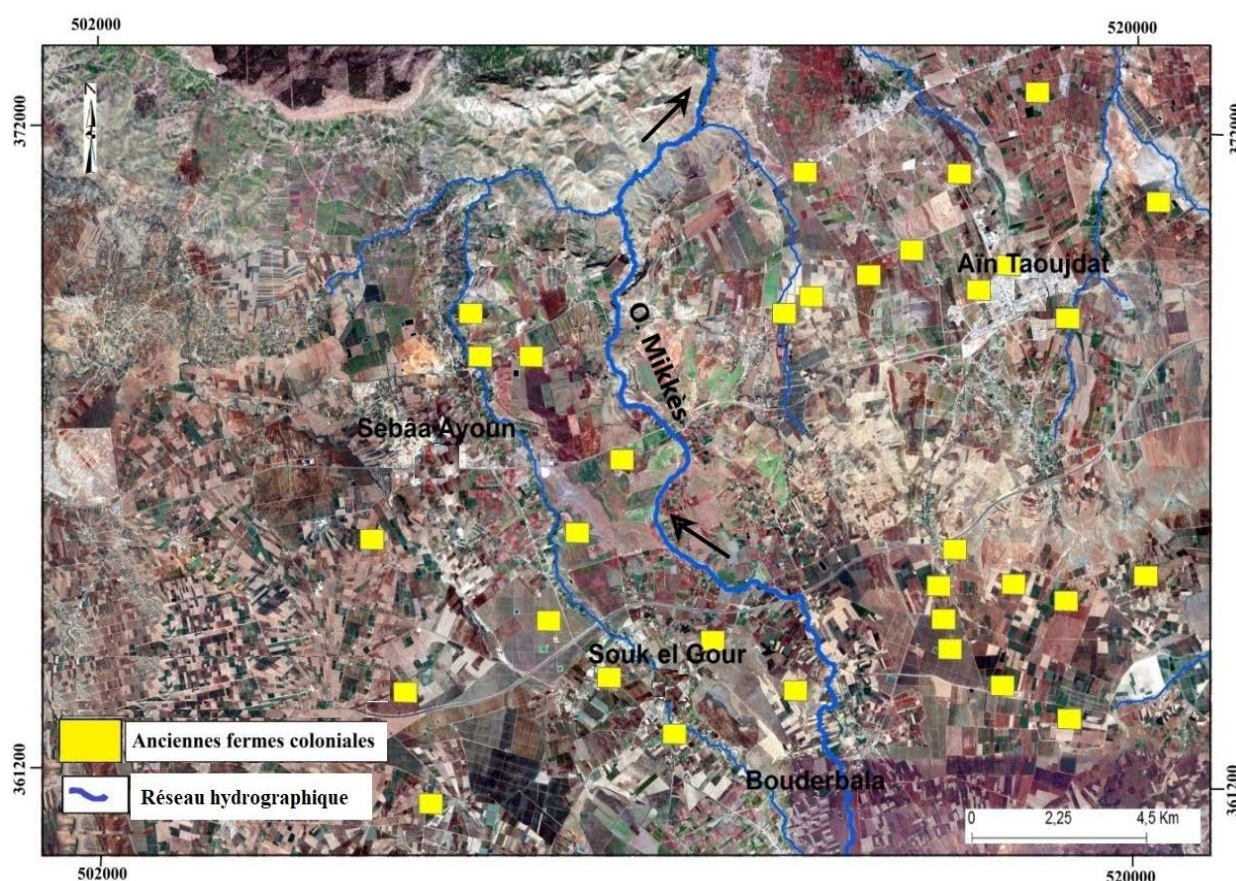


Figure 6.1 : localisation des fermes coloniales en 1943 dans le Saïs -secteur de Bouderbala- Sebâa Aioun – Ain Taoujtate. (Source : T. Gamerof et *al.* 2013).

2.- Découpage administratif et population du bassin versant

2.1.- Découpage administratif

Nous rappelons, administrativement, le bassin versant de l'oued Mikkès relève de la région de Fès Meknès. Il draine les territoires de six provinces comme est présenté sur la (fig 6.2). Il est traversé par un réseau routier dense liant les différents centres urbains de la région.

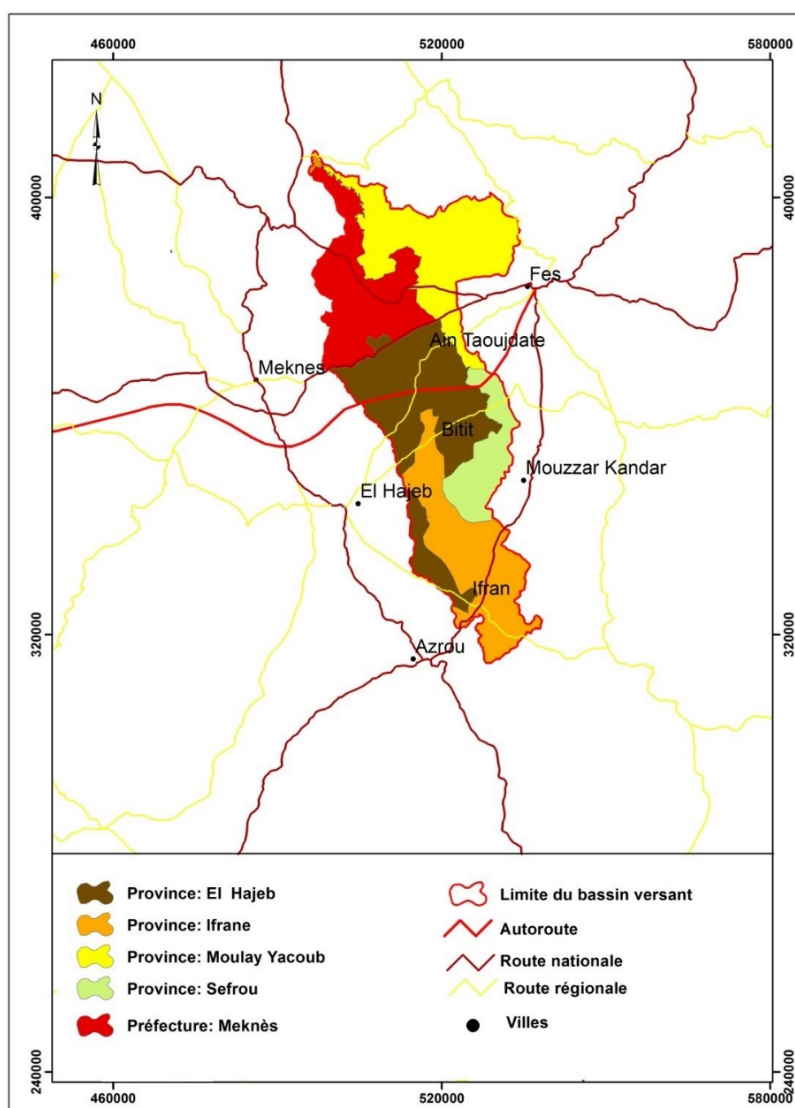
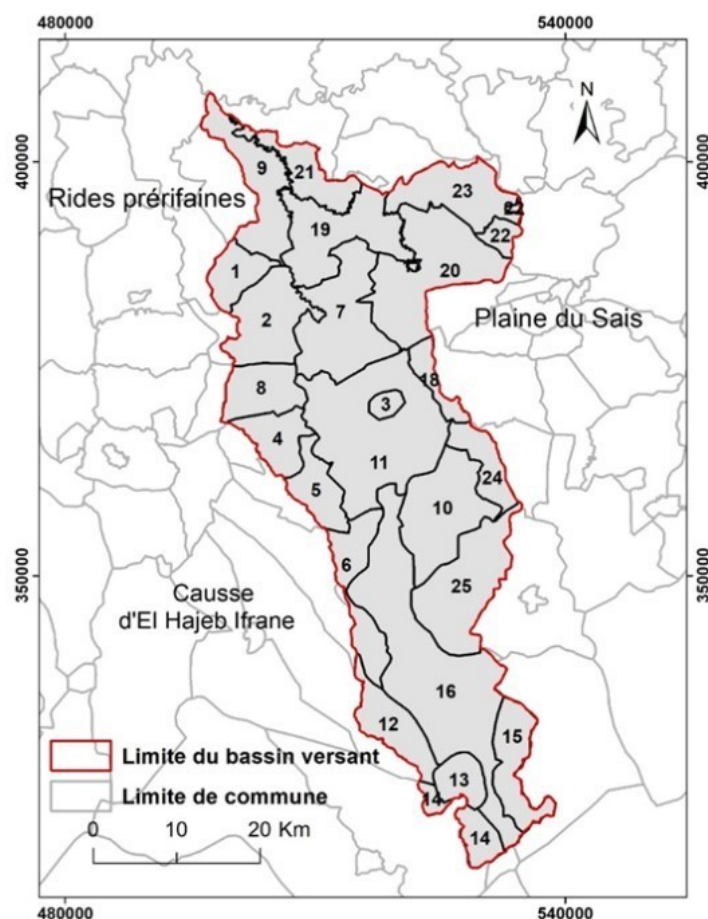


Figure 6.2 : localisation administrative du bassin versant de l'oued Mikkès

La population du bassin versant de Mikkès est très dispersée en douars épars ou regroupée en agglomérations d'importance variable. Les communes sont réparties principalement sur cinq provinces, en plus d'une très faible surface de la province de Sidi Kacem, en extrême aval du bassin :

- Province de Meknès : communes de M'haya, Oued Jdida, Sidi Abdelah Al Khayat.
- Province d'El Hajeb : communes d'Aïn Taoujdate, Sebaa Aïoun, Ait Boubdmane, Ait Harz Allah, Bittit, Laqsir, Aït Naamane
- Province de Ifrane : communes de Beni Smim, Ifrane, Dayat Aoua et Tizguît
- Province de Sefrou : communes d'Aïn Cheggag et Ait Sebaa Lajrouf
- Province de Moulay Yacoub : communes d'Aïn Chkef, Mikkès et Sbaa Rouadi, Charquoua, Sebt Loudaya Laajajra, Moulay Yacoub.



N°	Commune	N°	Commune	N°	Commune
1	Sidi A. Al Khayat	9	Bitit	17	Ain Clkef
2	Ain Taoujdate	10	Laqsir	18	Mikkès
3	Sabaa Aioun	11	Ait Naamane	19	Sebaa Rouadi
4	Ait Boubidmane	12	Ifrane	20	Sebt Loudaya
5	Ait Harz Allah	13	Ben Smim	21	Ain Bou Ali
6	M'haya	14	Dayat Aoua	22	Laajajra
7	Oued Jdida	15	Tizguit	23	Ain Cheggag
8	Charqaoua	16	Moulay Yacoub	24	Ait Sebaa Lajrouf
				25	N'zalat Bni Ammar

Figure 6.3 : situation des différentes communes dans le bassin versant du Mikkès.

2.2.- Démographie et répartition de la population

Les données démographiques (tab.6.1) montrent un accroissement significatif de la population, passant de 234551 habitants en 1982 à 410849 habitants en 2014 (population totale

des communes). Notons que les communes du bassin versant du Mikkès se caractérisent par des différences d'une commune à l'autre, selon les conditions naturelles et humaines de chaque zone.

Globalement on peut différencier entre deux types de communes selon leur démographie (fig.6.4) : celles qui montrent une évolution démographique en progression (cas d'Ain Taoujdat, Ain Chkef, Laqsir, M'haya, Sbâa Rouadi...) et celles qui montrent une évolution démographique en régression (cas de N'zalat Bni Ammart, Mikkès, Charqaoua).

En effet, la forte augmentation de la population concerne surtout les communes des centres urbains, où la population a enregistré un taux de plus de 8% entre 1982 et 2014. Cela est dû au fait que l'accroissement naturel du milieu rural a été absorbé surtout par quelques centres ruraux qui sont par la suite devenus des municipalités ou des centres urbains tels que Ain Taoujdate, Sbâa Aioun, Laqsir, Aïn Chegag.

Il faut noter également que la distribution de la population reste inégale dans les différentes parties du bassin ; le Moyen Mikkès est la zone la plus peuplée durant toutes les années recensées (83480 habitants en 1982 et 141613 habitants en 2014). Le Haut Mikkès est la zone la moins peuplée (52979 habitants en 1982 contre 82714 habitants en 2014). Le Bas Mikkès reste la zone moyennement peuplée (98092 habitants en 1982 contre 186522 habitants en 2014).

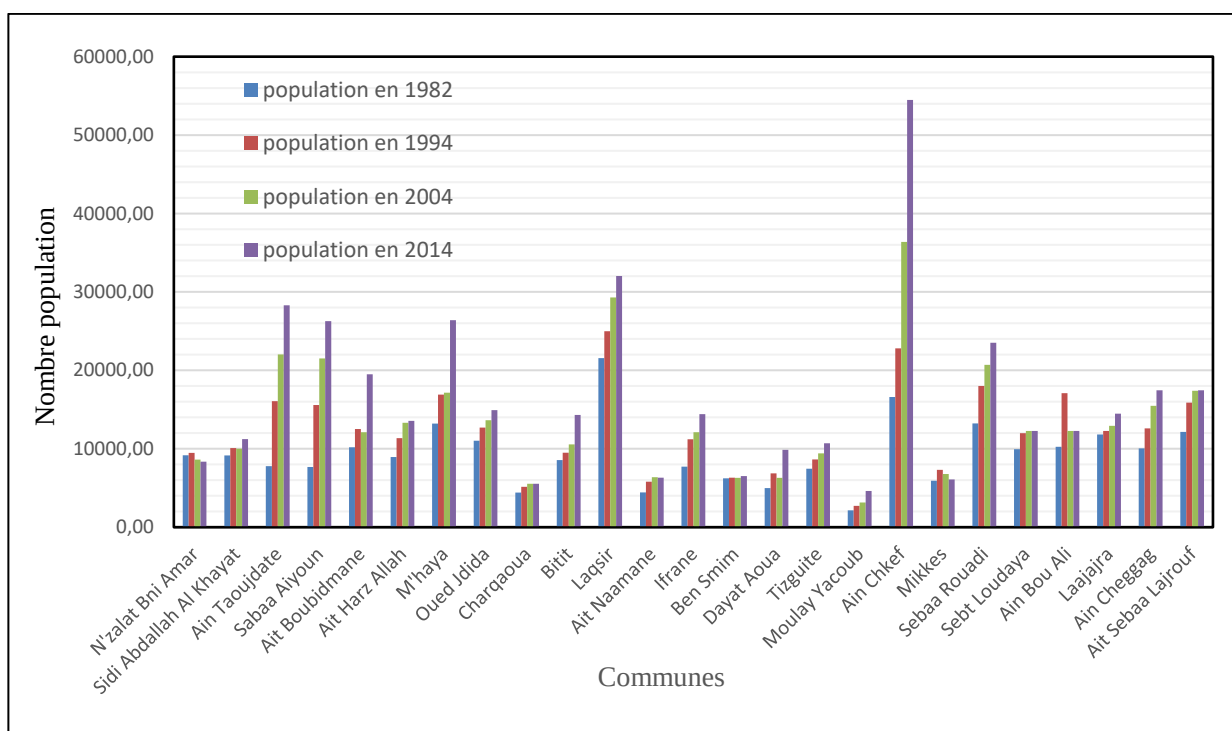


Figure 6. 4: évolution de la population des communes du bassin versant du Mikkès
(Données de l'HCP, 1982-2014).

Secteurs du bassin versant	Communes	Population en 1982	Population en 1994	Population en 2004	Population en 2014
<u>Haut Mikkès</u> <u>Causse du Moyen Atlas</u>	Ben Smim	6224	6314	6283	6506
	Dayat Aoua	4978	6868	6283	9854
	Ifrane	7717	11209	12104	14422
	Tizguite	7445	8646	9424	10693
	Ait Naamane	4434	5799	6375	6307
	Ait Sebaa Lajrouf	12141	15882	17400	17466
	Ain Cheggag	10040	12602	15475	17466
Total		52979	67320	73344	82714
<u>Moyen Mikkès</u> <u>dans la plaine su Saïs</u>	Ait Boubidmane	10191	12521	12101	19501
	Laqsir	21559	24991	29296	32028
	M'haya	13203	16900	17156	26395
	Ait Harz Allah	8936	11348	13310	13555
	Sabaa Aiyoun	7688	15575	21513	26277
	Sidi Abdallah Al Khayat	9157	10097	10014	11227
	Bitit	8565	9486	10552	14316
	Oued Jdida	11017	12703	13634	14935
	Ain Taoujdate	7776	16070	22030	28288
Total		98092	129691	149606	186522
<u>Bas Mikkès</u> <u>dans le Prérif</u>	Moulay Yacoub	2145	2726	3153	4612
	Charqaoua	4407	5154	5540	5526
	N'zalat Bni Ammar	9173	9471	8609	8350
	Sebt Loudaya	9938	11979	12269	12282
	Sebaa Rouadi	13221	17999	20695	23519
	Ain Bou Ali	10251	17079	12269	12282
	Ain Chkef	16597	22796	36368	54477
	Laajajra	11826	12268	12931	14476
	Mikkès	5922	7303	6773	6089
Total		83480	106775	118607	141613
Population totale du bassin versant		385622	500797	564507	680085

Tableau 6.1 : évolution de la population des communes du bassin versant du Mikkès, entre 1982 et 2014 (Données de l'HCP, 1982-2014).

L'examen des taux d'accroissement de la population dans le bassin du Mikkès, entre les années 1982-2014 (fig. 6.5) montre un accroissement régressif de la population dans l'ensemble du bassin ; la période 1982/1994 enregistre un taux d'accroissement de 2,64%, par contre la période 1994/2004 marque une régression aigüe de 1, 20% ; la période 2004/2014, se

caractérise par une augmentation moyennement importante du taux d'accroissement qui est près de 1,88%.

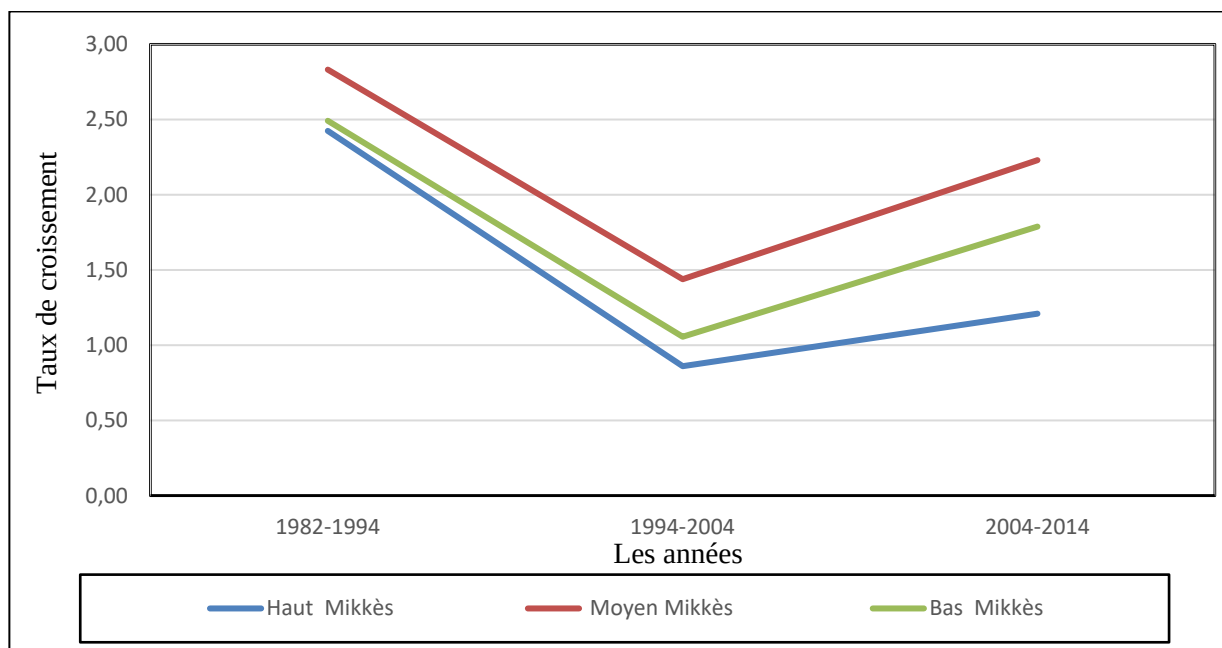


Figure 6.5 : évolution du taux d'accroissement dans le bassin versant d'Oued Mikkès

Dans le détail, on note des variations notables du taux d'accroissement dans les différents secteurs du bassin. Pour la période (1982-2014), on trouve dans le Haut Mikkès 0,12 %, dans le Moyen Mikkès 2,82 % et dans le Bas Mikkès 2,18 %. Il faut noter également qu'il y a une grande hétérogénéité dans les taux d'accroissement entre les communes du bassin versant. En effet, la concentration de la population se fait surtout sur les sites favorables à la pratique des activités agricoles, soit le long des oueds et à proximité des sources, par contre les zones de montagnes ont une faible concentration de la population.

2.3.-Densité de la population

Malgré un faible taux d'accroissement annuel de la population, le bassin de Mikkès est marqué par une densité moyenne relativement élevée, qui est de 116 hab. /km² en 2014. Une valeur largement inférieure à la moyenne nationale qui est de l'ordre de 48 hab. /km². À l'échelle des communes du bassin (fig 6.6 ; et fig.6.7) la répartition des densités de la population, on observe que les plus fortes densités de population correspondent aux communes qui appartiennent au secteur de Saïs, telles que les communes Ain Taoujdate (2611hab/km²) Ain chkef (367 hab. /km²) et Sbâa Ayoun (517 hab. /km²).

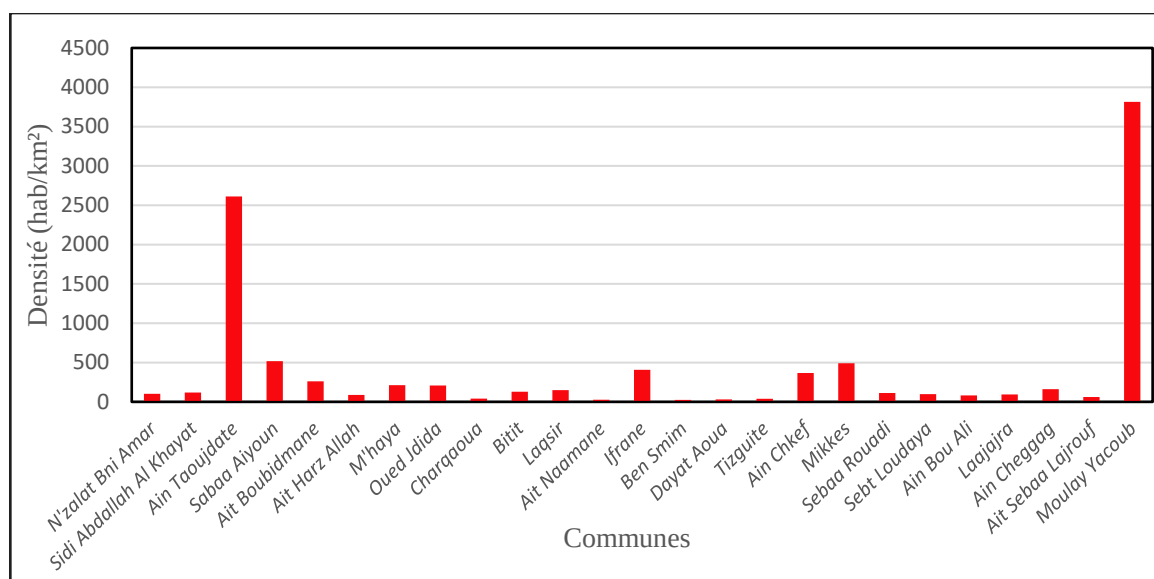


Figure 6.6 : la densité de la population des communes du bassin de Mikkès

Les communes présentant une pression démographique la plus faible se situent au Sud-Ouest du bassin, comme les communes Ben Smim (25hab./km²) Tizguite (190 hab. /km²) Dayet Aoua (30hab. /km²) et Ait Naâmane (28 hab. /km²) ; ce sont les communes les moins densément peuplées ; en revanche la ville d'Ifrane enregistre une densité relativement forte (409 hab. /km²).

Le Moyen Mikkès, qui est relativement plus peuplé que le Haut Mikkès présente une densité dans la plupart des communes rurales largement supérieures à 50 hab. /km² et peut même dépasser 100hab. /km² (exemples : Mhaya, Oued Jdida, ayant enregistré respectivement 211, 207 hab. /km²). Quant aux communes urbaines Sbaa Aioun et Ain Taoujdate ; elles ont enregistré respectivement 516hab/km² et 2611hab. /km².

Dans le Bas Mikkès, on note également une évolution remarquable de la densité de la population, où les plus fortes densités sont observées dans les communes de Moulay Yacoub (3815 hab. /km²), Mikkès (490,87 hab. /km²) ; alors que la plus faible densité enregistrée dans cette partie du bassin est au niveau de la commune de Charqaoua (41 hab/km²).

Généralement, on peut retenir que la densité de la population reste inégale et contrastée dans le bassin versant du Mikkès de l'amont vers l'aval. Ce qui est dû aux différences des conditions physiques, comme le relief, le climat et les modalités de l'utilisation du sol, mais aussi en raison de causes historiques.

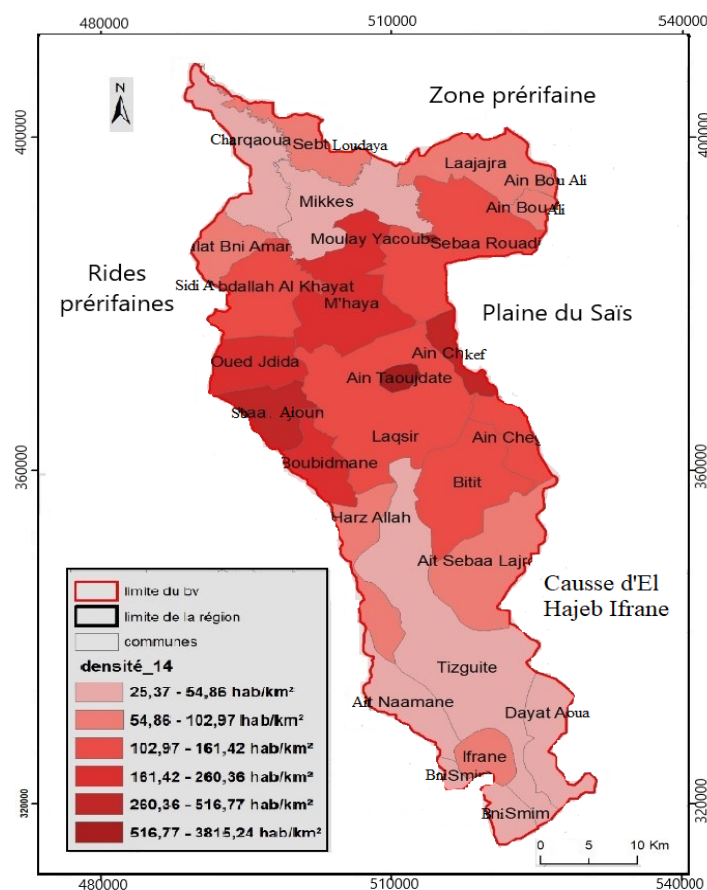


Figure 6.7 : la densité de la population dans le bassin de Mikkès en 2014

3.- L'occupation humaine et exploitation des ressources du bassin versant de Mikkès

L'occupation récente du bassin versant depuis le protectorat français, s'est manifestée par différents modes à savoir : l'urbanisation dans plusieurs centres ruraux et urbains, le surpâturage et la dégradation de la forêt, l'extension de l'agriculture aux dépens de la végétation naturelle.

3.1. Surpâturage et dégradation de la forêt

On rappelle que le couvert végétal d'un bassin versant contribue, d'une part à la régulation de l'écoulement et d'autre part à la protection des versants contre l'érosion. Il influence ainsi la vitesse de l'écoulement sur les versants et dans le réseau hydrographique, ainsi que le taux de production des sédiments. L'absence ou la destruction de la forêt engendre en conséquence des influences notables dans le fonctionnement du système fluvial. Dans le cas du bassin du Mikkès, parallèlement à l'agriculture, la majorité des paysans pratiquent l'élevage intensif des ovins, des bovins, des caprins. En effet, l'élevage est de type extensif et constitue l'assise économique des revenus d'une proportion importante de la population. Rappelons que le système pastoral traditionnel de la région était basé sur un pâturage collectif libre et continu, les déplacements

se faisaient selon les saisons entre l'Azaghar et le Jbel de façon à exploiter des espaces pastoraux bien définis. Au cours des dernières décennies les pratiques de la transhumance ont été modifiées et l'exploitation des parcours s'est renforcée notamment en raison de l'augmentation des effectifs du cheptel. Il en résulte un surpâturage et une pression croissante sur les espaces forestiers et pré-forestiers du bassin Mikkès ; cette pression s'est amplifiée de façon excessive les dernières décennies surtout au Moyen Atlas, où le coefficient de surpâturage a passé de 50% en 2005 à 60% en 2016 (A.Taous et *al.* 2020). Dans le haut bassin moyen atlasique, les pâturages en forêts sont exploités selon des parcs de parcours ; ces derniers sont désignés par le plan d'aménagement forestier et sont attribués aux tribus. Le recours aux parcours forestiers s'étale sur une bonne partie de l'année. En saison hivernale (novembre à mars), ainsi qu'en période de disette, celui-ci est pratiqué simultanément avec la mobilisation des parcours de chaumes et la complémentation (paille, orge, etc.). Etant donné les charges que la complémentation impose à la trésorerie des éleveurs, l'ébranchage du cèdre et du chêne vert est souvent pratiqué afin de réduire le déficit fourrager (ONDH, 2013).

Par conséquent, la pression du surpâturage sur les espaces forestiers et pré-forestiers du bassin amont du Mikkès (Tizguit) s'est amplifiée de façon excessive les dernières décennies, notamment dans la commune de Tizguit où le coefficient de surpâturage a passé de 50% en 2005 à 60% en 2016 (H. Achiban, 2021). De même, dans le bassin du Mikkès dans le Saïs et le Prérif, le couvert végétal a subi une régression notable, sous pression du pâturage et surtout de l'extension des surfaces agricoles qui sent particulièrement augmenter dans le Saïs, depuis la période du protectorat à nos jours. À titre indicatif, nous donnons ci-dessous les effectifs du cheptel des provinces concernées partiellement par le bassin versant du Mikkès (tab.6.2 et fig 6.8). Ces résultats montrent que les provinces d'Ifrane, El Hajeb et Moulay Yakoub détiennent les pourcentages les plus dominants, notamment pour les ovins qui dépassent les 70 % de l'effectif total.

Espèces	Bovins	Ovins	Caprins	Total
Sidi Kacem	133750	325600	18900	478346
Sefrou	24200	395000	142000	561275
El-Hajeb	32000	330000	20000	382095
Ifrane	22000	900000	100000	1022090
Moulay Yakoub	55000	160000	2800	217899
Meknès	2482	836	8000	3426
<i>Total</i>				2665130

Tableau 6.2 : effectifs du cheptel des provinces concernées par le bassin du Mikkès (monographie de la région Fès-Meknès, 2015).

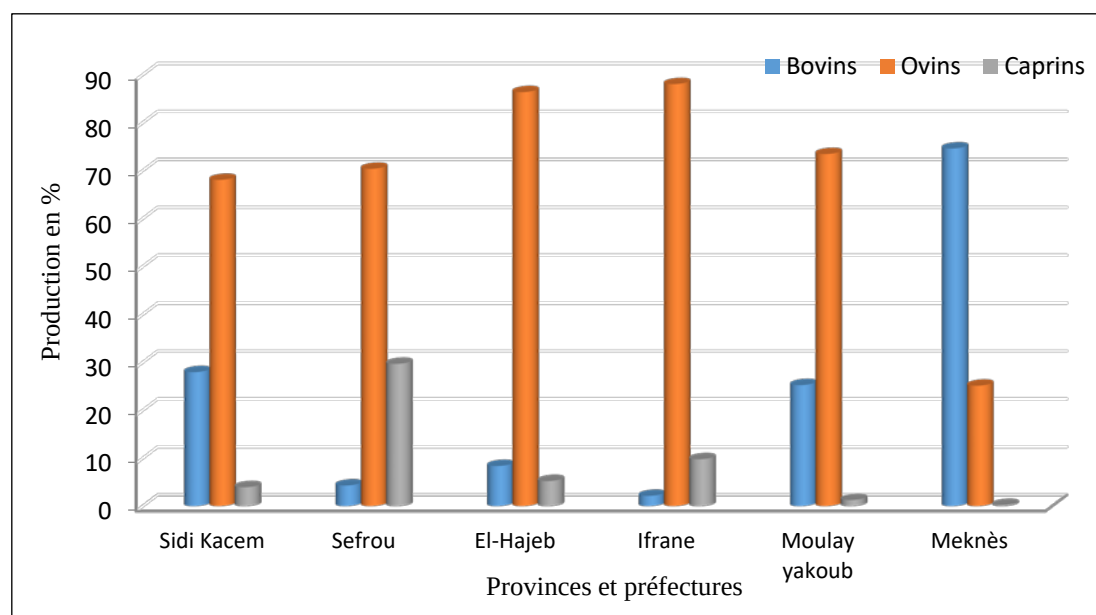


Figure 6.8 : proportions relatives des effectifs du cheptel des provinces concernées par le bassin (monographie de la région Fès-Meknès, 2015).

3.2.- L'agriculture et l'exploitation des eaux de l'Oued Mikkès

L'agriculture reste, en général, l'activité économique la plus dominante dans le bassin versant. Celle-ci est conditionnée par la nature des sols, les conditions climatiques et le potentiel hydrologique existant. Les céréales et les cultures fourragères, suivies des légumineuses et arboricultures, dominent largement les productions agricoles. Avec le développement socioéconomique qu'il a connu cette zone, notamment après l'acquisition des terrains par les citadins des villes environnantes, l'agriculture a pris en effet les dernières décennies une expansion considérable dans le bassin versant du Mikkès, particulièrement en matière d'arboriculture. Cependant, l'exploitation agricole des terres est concentrée surtout dans le Moyen Mikkès sur les sols fertiles du Saïs, par comparaison au Moyen Atlas et Prérif, comme le montre la carte d'occupation des sols de la (fig.6.9).

a.- Dans le Haut Mikkès, au Moyen Atlas, les cultures annuelles représentent environ de 61,1 % (MADRPM, 2000) de la Superficie Agricole Utile moyenne cultivée annuellement et ce malgré le relief accidenté de la zone. Elles sont dominées par les céréales, suivies des cultures fourragères, dans lesquelles la vesce-avoine, introduite à l'époque coloniale, occupe une part relativement importante par rapport aux autres régions moyen atlasiques. Les légumineuses occupent une très faible place. L'arboriculture fruitière couvre environ de 4,6% de la superficie agricole utile totale ; elle se trouve concentrée dans les zones irriguées. Cette nouvelle situation a exercé une pression considérable sur les ressources naturelles du bassin, en général et sur ses

ressources hydriques, en particulier, notamment à travers l'agriculture qui est basée sur l'irrigation.

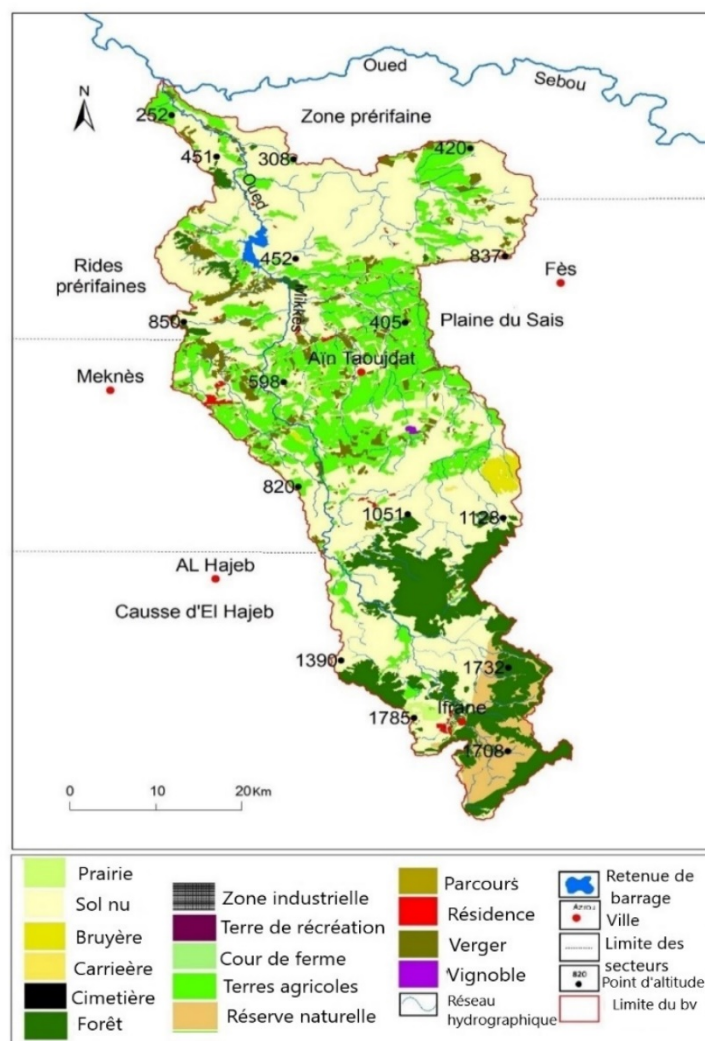


Figure 6.9 : occupation des sols dans le bassin versant de Mikkès. (D'après la monographie de la région de Fès Meknès 2015)

b.-Dans le Moyen Mikkès, la plaine de Saïs montre des systèmes de production fondés principalement sur la production maraîchère, surtout les oignons et les pommes de terre. L'abondance des ressources hydriques et les sols fertiles dans le Saïs, explique les mutations spatio-temporelles des exploitations agricoles. Ces systèmes de production, nécessitent des efforts d'irrigation même en-dehors des saisons de déficit hydrique, en raison de la forte variabilité interannuelle de la pluviométrie. Ainsi, les agriculteurs se basent sur la déviation des eaux de l'Oued Mikkès et ses affluents, pour l'irrigation des terrasses exploitées le long des vallées (pl.ph.6.1.b). Les seguias sont fréquentes et prélèvent presque la totalité des écoulements du Mikkès notamment pendant les saisons sèches. Les pompages d'eau sont également fréquents. Plus que les Saguia s'ajoute le technique goutte-à-goutte est une technique

agricole permettant l'irrigation localisée des cultures. Elle suppose une mise en pression de l'eau et est donc forcément couplée à l'irrigation à partir de l'oued, impliquant un moteur et une pompe. Elle est préconisée afin de limiter la consommation en eau par unité de surface cultivée. En s'affranchissant des aménagements de canalisation de l'eau au sein de la parcelle, consommateurs d'une quantité non négligeable d'espace, le goutte-à-goutte permet alors d'augmenter la densité de semis à l'hectare et donc d'accroître la production par unité de surface. Bien que les consommations intermédiaires soient également plus importantes par unité de surface, une moindre utilisation de main-d'œuvre pour l'irrigation et une augmentation de la production à l'hectare permettent ainsi aux agriculteurs d'augmenter la productivité du travail. Cette technique d'irrigation se développe actuellement fortement dans le Moyen Mikkès.

Commune	Gravitaire	Localisé	Aspersion	Pivot	Total	Nombre des exploitations	Superficie (Ha)
Ain Taoujdate	20	-	-	-	20	10	90
Sbâa Aioun	700	100	0	0	800	330	0
Ait Boubidman	120	1500	700	0	2320	1080	310
Ait Harz allah	940	1180	600	0	2720	1220	980
Bittit	400	40	50	60	550	350	2200
Laqsir	850	3350	180	10	4390	2400	200
Total						5390	3780

Tableau 6.3 : superficies irriguées dans les communes de Moyen Mikkès selon les différents systèmes d'irrigation (par hectare), (d'après : ABHS, 2013).

Notons que les prélèvements pour irrigation dans le Saïs, concernent aussi les eaux des grandes sources de débordement et/ou des résurgences situées en bordure Sud du plateau de Saïs (pl.ph.6.e), qui alimentent les affluents du Mikkès (K. Belhassan, 2010 ; Z. Qadem, 2020) ; c'est le cas par exemple des sources de Ribaa, Atrous, Ain Bettit et des sources Akkous qui jaillissent en plein Saïs et qui alimentent l'Oued Mikkès.

c.-Dans le Bas Mikkès prériefain, deux types de pratiques agricoles dominent le paysage : i) les cultures annuelles sont dominées par les céréales, suivies par les cultures fourragères. Les cultures irriguées couvrent une superficie très réduite. Elles se répartissent sur un grand nombre de petites parcelles étendues le long de la plaine alluviale irriguées à partir des eaux d'Oued Mikkès. La proximité de la rivière offre aux agriculteurs une ressource permanente et relativement peu coûteuse pour l'irrigation.



Planche photos 6.1 : quelques exemples de modes de prélèvement et utilisation des eaux dans le bassin du Mikkès.

Photos a et b : irrigation de parcelles agricoles par les eaux du Mikkès (pompage, dérivation) dans le secteur de Bouderbala, Saïs (05/11/21). Photos c et d : Pompage direct de l'eau de l'Oued Mikkès et stockage provisoire dans les bassins de rétention, dans le secteur du centre Mikkès (Prérif) (20/04/18). Photos e et f : Seguias modernes captant les eaux des sources vers les exploitations irriguées e)- de la source Aïn Béttit, f) de la source Rhara (14/05/2018).

D'autre part, en concordance avec la mise en service du barrage Sidi Echahed, la plaine alluviale en aval de la retenue a été aménagée pour la mise en place des cultures irriguées

principalement les agrumes et la culture maraichère, aujourd'hui, les parcelles agricoles s'y organisent en petite et moyenne hydraulique. Le mode d'irrigation dominante repose sur l'irrigation moderne en goutte à goutte ou par des Seguia bétonnées.

En somme, l'écoulement de l'Oued Mikkès et ses principaux affluents sont très impactés sous l'effet de prélèvements des eaux pour irrigation, notamment pendant les périodes d'étiages. Ces prélèvements d'eau ont des conséquences directes sur le lit du Mikkès. Ils influencent fortement son écoulement naturel et aggravent ses étiages ; ils diminuent l'action hydrodynamique du courant et sa capacité de transport et d'érosion ; ce qui perturbe son fonctionnement hydro-sédimentaire et morphogénique (influences sur les capacités de transport et d'érosion).

4.- Interventions d'aménagement sur le lit de l'oued et leurs impacts hydro-morphodynamiques

Le lit de l'Oued Mikkès, qui est naturellement l'emprise des crues et des étiages représente l'unité hydrogéomorphologique fonctionnelle du fond de la vallée. Ces dernières décennies, il a connu plusieurs interventions et équipements d'aménagement pour le but de dérivation de l'eau, de franchissement ou de protection de berges. Dans cet axe, on va faire le diagnostic de ces interventions et étudier leurs impacts sur le fonctionnement morphodynamique de l'Oued Mikkès. Ces aménagements, sont classés en deux types : transversaux et longitudinaux.

4.1.- Les ouvrages transversaux

Les ouvrages transversaux, qui sont installés transversalement par rapport à la direction de l'écoulement de l'oued, ont des impacts les plus perceptibles sur le fonctionnement hydrosédimentaire du Mikkès. Trois types d'ouvrage sont rencontrés le long de la vallée : dans le Haut Mikkès sont aménagés les étangs piscicoles, les aménagements récréatifs, les barrages collinaires. En aval, le barrage de Sidi Echahed construit dans le Prérif en 1996, représente l'ouvrage le plus pesant et le plus impactant dans le système fluvial du Mikkès.

4.1.1.- Dignes et barrages collinaires du Haut Mikkès

Dans le Haut Mikkès (Tizguit), au Moyen Atlas, l'aménagement a commencé par des processus d'endiguement qui a démarré par un petit bassin récréatif dans la zone de la ville d'Ifrane (années 50). Puis l'intervention est suivie par la création de trois petites retenues (Tizguit 1, Tizguit 2 et Bousraf : (fig. 6.10), mises en place en 1986, 1991 et 2016, avec des capacités de rétention de 120000 m³, 440000 m³ et 335000 m³. Elles contrôlent en totalité 16% de sa surface totale du bassin de Tizguit.

Ces digues ont pour principaux buts l'atténuation des crues pour lutter contre les inondations, l'alimentation de la nappe et/ou à l'attrait récréatif ; mais les lacs en amont d'Ifrane servent aussi à l'abreuvement du cheptel.

D'autre part, des plans d'eau de pisciculture en étaient mis en place sur certains affluents de Tizguit dans le secteur de la ville d'Ifrane. Ce sont les premières retenues construites par le centre National d'hydrobiologie et de pisciculture pour la reproduction de la truite. Il s'agit notamment de Zerouka1, Zerouka2, Mouaali et Ain Merssa, construits respectivement en 1950, 1952, 1952 et 1968, avec des capacités de rétention respectivement d'environ 90000 m³, 105000 m³, 48700 m³, et 21700 m³ (ABHS, 2013). Ils contrôlent 11,3% de la surface totale du bassin moyen atlasique de Tizguit. L'ensemble de ces interventions et ouvrages contrôlent la presque totalité de l'amont du bassin, soit 27% de la surface totale du bassin moyen atlasique du Mikkès (Tizguit) ; ce qui réduit fortement l'écoulement et le transit sédimentaire exporté vers l'aval (H. Achiban, 2021).

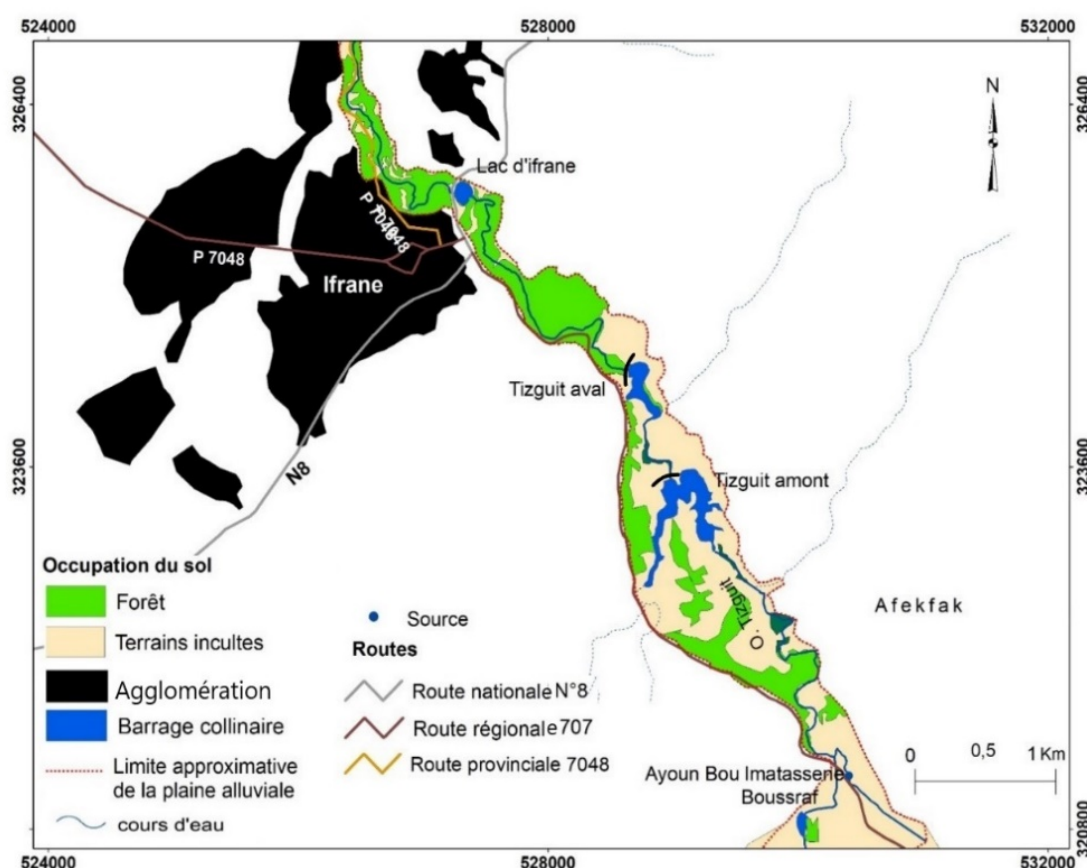


Figure 6.10 : ouvrages et barrages collinaires construits sur le lit mineur de l'Oued Tizguit, dans le secteur de la ville d'Ifrane

Vers la sortie de la ville d'Ifrane, des aménagements récréatifs ont été réalisés sur le tronçon du lit de l'Oued Tizguit, reliant la ville d'Ifrane et la Source Vittel. Il s'agit de petits bassins,

mis en place dans le cadre d'aménagement des espaces récréatifs du périmètre urbains de la ville d'Ifrane. Le plus important de ces ouvrages, appelé lac d'Ifrane, est situé au croisement de la RN 8, et la route provinciale P7048. Après les dégâts causés par les crues de 2001, 2002, 2003, et 2009, ce bassin a été réaménagé et équipé par un système hydromécanique d'évacuation des crues (H. Achiban, 2021).

4.1.2.- Barrage de Sidi Echahed

Ce barrage a été mis en service en 1997 dès l'entrée du Mikkès dans le Prérif. Il a une capacité de retenue de 170Mm³ garantissant un volume d'eau de l'ordre de 80 Mm³/an et une hauteur de 60 m au-dessus des fondations. Le barrage avait pour but le renforcement à moyen et à long terme de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Meknès et l'irrigation de 1200 ha. Les principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de cette retenue sont présentées dans le tableau 6.4.

Caractérisation hydrologique de la retenue	- Superficie du bassin versant au site du barrage : 1010 km². -Apport moyen annuel : 114 Mm³
Caractéristiques techniques	- Longueur de la crête : 413m ; - Cote de la crête : 8m ; cote de la retenue normale 210 NGM ; - Volume normal stocké : 170 Mm³ ; - Surface de la retenue : 1083ha ; - Hauteur maximale sur fondation 60m ; - Terrain de fondation : Marnes sur les rives, alluvions en vallée.
But principal de l'ouvrage	-48 Mm³ pour les besoins en eau potable de la ville de Meknès et sa région. -12 Mm³ pour l'irrigation d'un millier d'hectares dans la vallée de l'Oued Mikkès. -12 Mm³ pour assurer un débit sanitaire continu de 300 l/s (200 l/s actuellement) et soutenir les étiages en vue d'améliorer la qualité des eaux de l'Oued Mikkès en l'aval.

Tableau 6.4 : caractéristiques et objectif du Barrage Sidi Echahed (source : ABSH 2010).

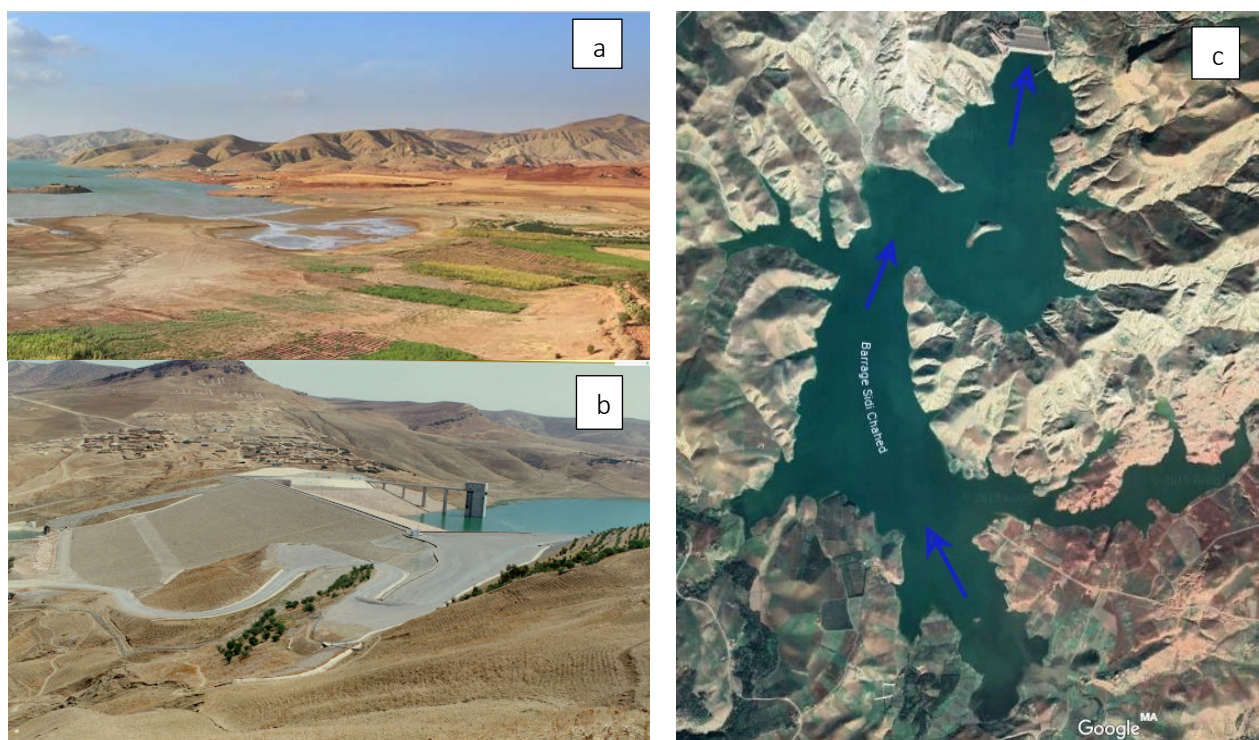


Planche photos 6.2 : le barrage Sidi Echahed

a)- Le barrage Sidi Echahed et extension de sa retenue dans la vallée du Mikkès (extrait de Google Earth, 2022) b)- vue panoramique sur la retenue (vue vers le Nord) (source, Sas Planet 2022) c).- Digue du barrage (source : ABSH., 2010)

On rappelle que l'impact des barrages sur le fonctionnement hydrologique et la morphodynamique des cours d'eau est largement mis en évidence par différents auteurs (J. Bravard et F. Petit, 1997 ; A. Taous, 2005, 2013 ; A. Dadoun, 2006 ; G. Dégoutte, 2006 ; J. R. Malavoi et *al.* 2010 ; L. Ballais et *al.* 2011 ; H. Alcayga, 2013). Dans le cas du Mikkès, comme d'ailleurs dans d'autres cas du Maroc, le barrage de Sidi Echahed a des impacts immédiats sur le paysage hydro-morphologique du fond de la vallée, en amont de la digue et à son aval. L'impact hydrologique réside dans la modification du régime du cours d'eau en aval et l'extension du lac de la retenue à l'amont ; ce qui a considérablement impacté le fonctionnement morphosédimentaire du cours d'eau, à travers le changement de son régime hydro-sédimentaire naturel. Le barrage a supprimé le rôle morphogénique des crues en aval de la digue ; tout en réduisant le transit des matériaux sédimentaires vers le tronçon aval. Les transformations radicales du régime hydrologique naturel de l'Oued Mikkès sous l'effet de la mise en place du barrage Sidi Echahed se sont répercutées sur la morphologie fluviale de l'oued en aval ; puisque le cours d'eau évoluait auparavant, avant 1996, dans des conditions hydrologiques naturelles, lorsque les crues n'étaient pas écrêtées. L'étude comparative des photographies aériennes de la mission 1962 avec et des images satellitaires Sas planet 2022, nous a permis d'évaluer le

changement de la morphologie du lit de l'Oued Mikkès à l'aval du barrage, avant et après la mise en place de ce dernier en 1997.

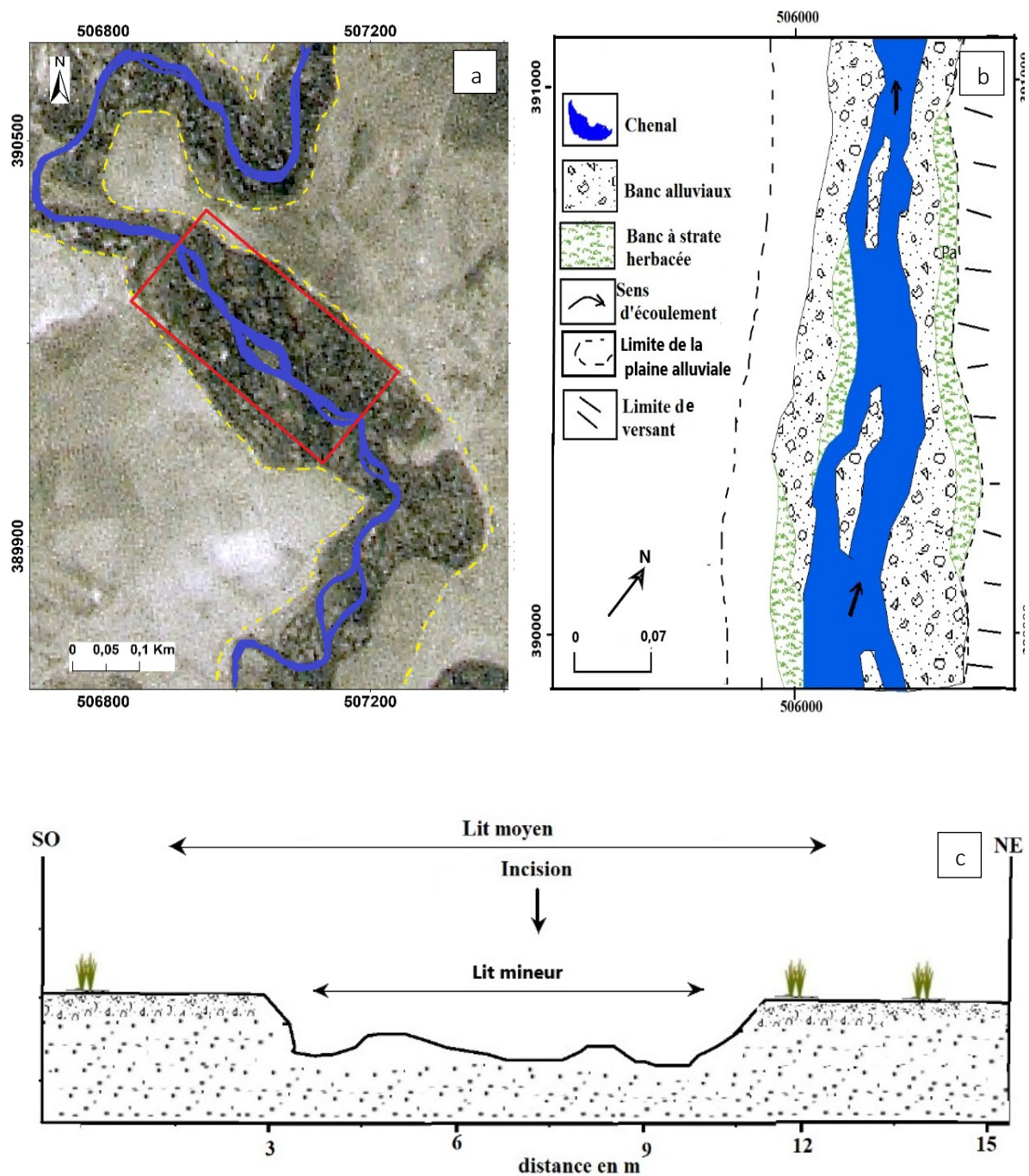


Figure 6.11 : morphologie du lit de l'Oued Mikkès en aval dans le secteur du Centre Mikkès, avant la mise en place du barrage Sidi Echahed (d'après la photographie aérienne 1962).

- a)- photo aérienne 1962 ;
- b)- croquis simplifié illustrant la morphologie du lit du Mikkès en 1962
- c)- coupe transversale schématique

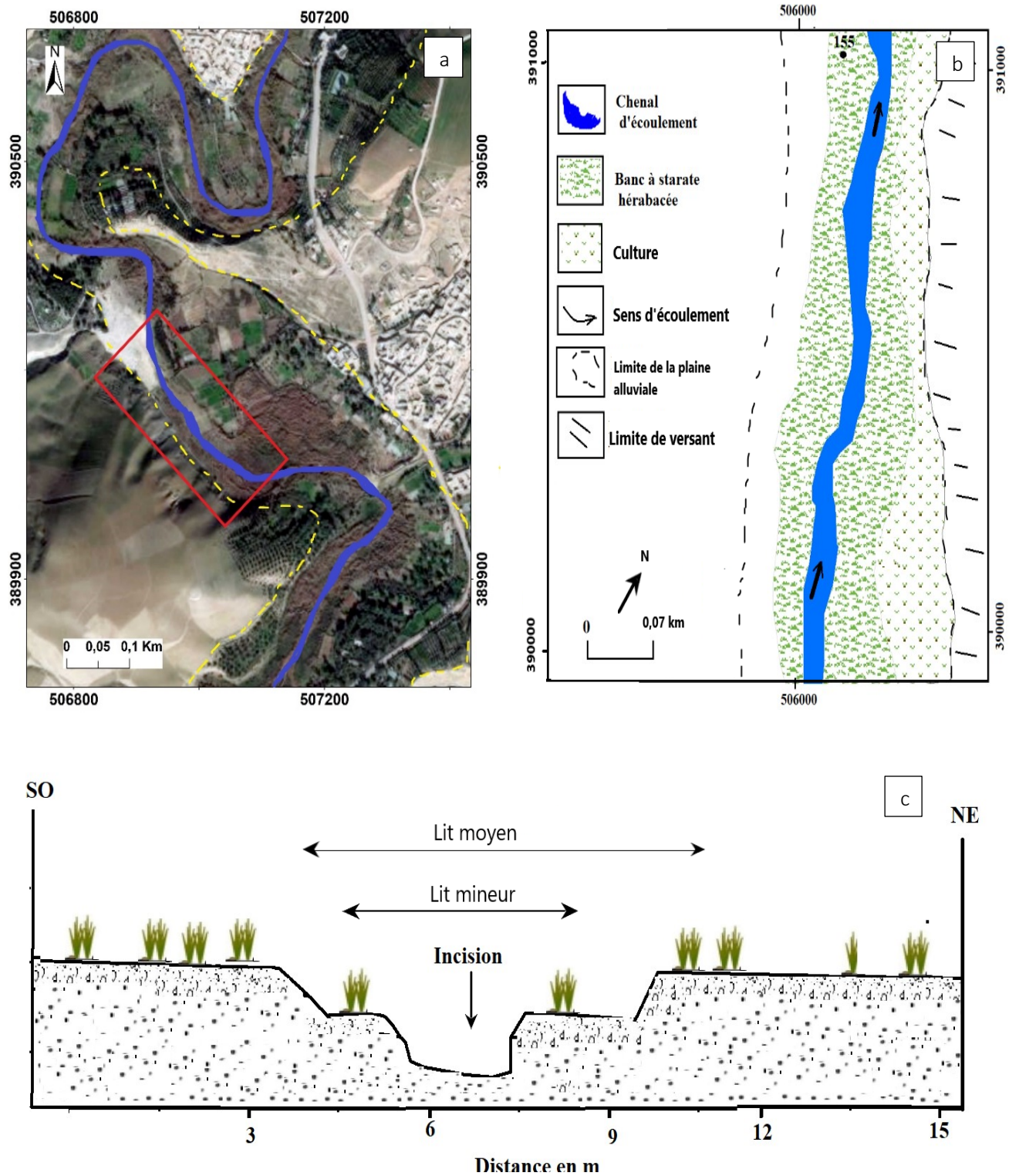


Figure 6.12 : morphologie du lit de l'oued Mikkès en aval dans le secteur du Centre Mikkès, après de la mise en place du barrage Sidi Echahed.

a)- image Sas Planet 2022 ;

b)- croquis simplifié illustrant la morphologie du lit du Mikkès en 2022

c)- coupe transversale schématique

4.2.- Les ouvrages de protection longitudinaux

Les ouvrages longitudinaux sont des structures hydrauliques dont la longueur est parallèle au lit de la rivière. Dans le cas du Mikkès, ils sont utilisés essentiellement pour la lutte contre de l'érosion des berges et la protection contre les inondations.

4.2.1.- Canalisation du cours d'eau

Dans le tronçon amont de Tizguit, pour protéger la ville d'Ifrane et les centres ruraux d'aval contre les inondations, le lit du cours d'eau a été canalisé sur un long trajet (2016/2017). Ces aménagements ont atteint les objectifs visés, notamment la lutte contre les inondations de Tizguit qui menaçaient des espaces urbains de la ville d'Ifrane et des douars situés plus à l'aval(pl.ph.6.3).



Planche photos 6.3 : canalisation et bétonnisation du lit de l'Oued Tizguit. a) au niveau du périmètre urbain de la ville d'Ifrane ; b) en aval du lac d'Ifrane (05/04/22).

4.2.2.- Mur de protection et enrochements de berges

Ce sont des techniques traditionnelles, assez répandues le long de l'Oued Mikkès, elles visent à protéger les constructions et les terres agricoles contre les crues et par la même occasion les protéger contre les phénomènes d'érosion liés à l'ajustement dynamique de l'oued. L'enrochement concerne surtout les berges des coudes des méandres ayant un grand axe de courbure sur les rives concaves (pl.ph.6.4). L'impact de ces interventions sur la morphologie fluviale est d'une part l'amortissement de la dynamique érosive et les divagations latérales de l'oued, favorisant une tendance au creusement vertical du lit.

Ces interventions jouent un rôle important dans l'amortissement des crues et des effets des inondations, mais parfois, elles peuvent les aggraver en aval ou en cas de leur colmatage. En effet, les faibles coefficients de rugosité des canaux (bétonnés) augmentent la vitesse des crues,

par conséquent, leur concentration sera plus violente vers l'aval. En outre, les déchets jetés dans le lit de l'oued amplifient le risque du colmatage des canaux, surtout ceux qui sont couverts. Cette situation augmente le risque des débordements ponctuels, au niveau des ponts.

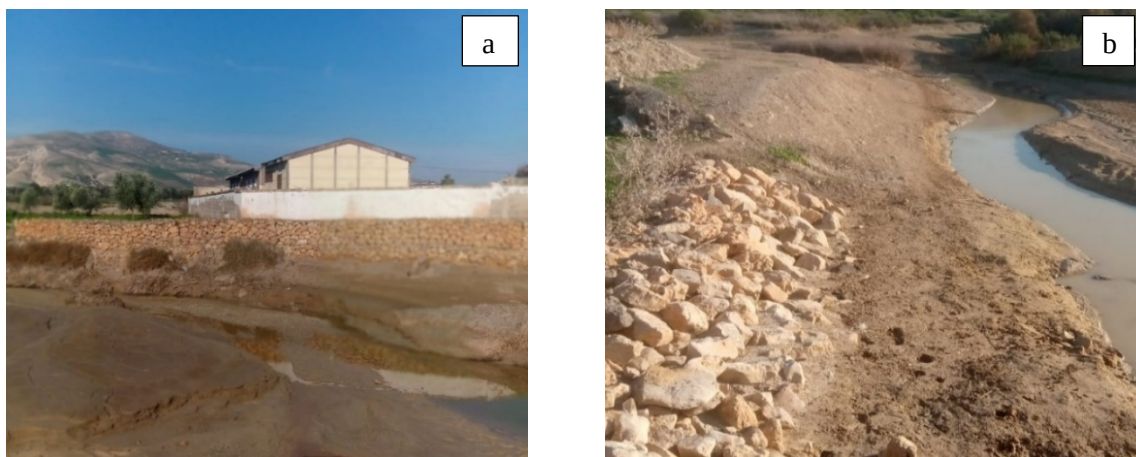


Planche photos 6.4 : mur de protection et enrochement des berges de l'Oued Mikkès.

a)-Mur en pierres sèches protégeant les constructions sur la rive droite de l'oued au Centre Mikkès. (04/05/2021). b) Enrochement de la rive droite de l'oued secteur de Oulad Jrar (04/05/2021).

4.2.3.- Les seuils dissipateurs d'énergie

Ce sont des chutes bétonnées ou enrochées installées dans le lit de l'oued, ce qui permet de rabattre la vitesse d'écoulement de l'eau et la réduction des forces hydrodynamiques exercées sur les berges et sur le fond. Ces seuils permettent de stopper l'érosion par régression de fond, notamment l'approfondissement du cours d'eau dû à une pente trop abrupte du lit du cours d'eau. Ce type d'aménagement est fréquent dans le Saïs et le Prérif (pl.ph.6.5).

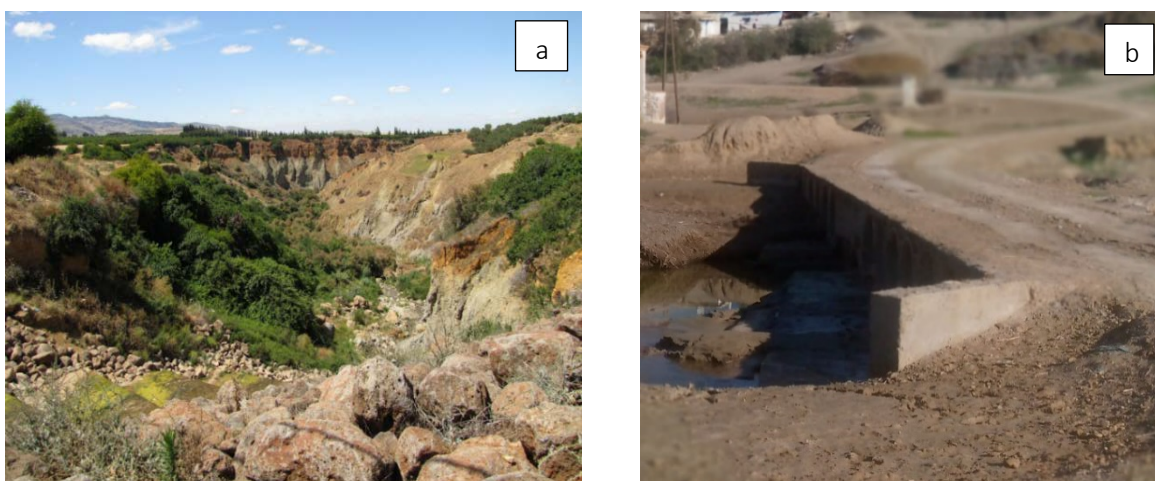


Planche photos 6.5 : exemples de seuils enrochés et bétonnés. a) seuil enroché sur le lit mineur du Mikkès à Douar El Madhouma (Mars, 2020). b) seuil bétonné au niveau du centre Mikkès (novembre 2020).

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons essayé d'étudier les modes d'occupation et d'exploitation de l'espace du bassin versant du Mikkès et leurs impacts sur le fonctionnement hydro-morphodynamique de l'oued. L'occupation de cet espace par l'homme est ancienne ; elle est influencée par des événements historiques des périodes avant le protectorat, durant le protectorat (1912-1956) et après l'indépendance. Le mode d'occupation traditionnel qui reposait sur le pâturage et la transhumance a subi de fortes mutations durant la période de Protectorat.

L'anthropisation du bassin versant s'est accélérée marquant le territoire du bassin versant (surtout dans le Moyen Atlas) et le Saïs, par la sédentarisation des populations dans des douars et centres urbains et le développement d'une agriculture moderne mise en place par les colons agriculteurs, notamment dans le Saïs. Des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles modernes se sont mis en place progressivement, avec l'installation de plusieurs fermes près de l'Oued Mikkès et ses affluents, en profitant de leur ressource en eau et des sources. Dans ces conditions les plaines alluviales du Mikkès et de ses affluents ont connu des pressions anthropiques croissantes engendrées par les activités agricoles de nombreuses fermes coloniales installées aux abords des oueds en profitant de leurs sols alluviaux fertiles et leurs ressources en eau.

Durant les périodes post-protectorales et récentes, le développement socioéconomique et l'accroissement démographique de la population ont favorisé une anthropisation croissante du bassin. Ceci implique à la fois la multiplication de douars, centres ruraux, accroissement de centres urbains et l'extension de terres agricoles et mise en place de périmètres irrigués, aux dépens de la couverture végétale et de la forêt, qui a été affectée progressivement par le surpâturage, notamment au Moyen Atlas. Ces mutations socio-spatiales ont certainement eu des conséquences sur le milieu naturel et le fonctionnement de l'hydrosystème du Mikkès (artificialisation des systèmes de drainage naturels, érosion des terres, modification des transferts liquides et solides vers les réseaux hydrographiques du Mikkès...). À l'échelle du lit du Mikkès, les interventions d'aménagement, pour des fins de l'exploitation, de franchissement ou de protection contre les risques d'érosion et d'inondations (barrages, digues, seuils...), ont modifié les conditions d'écoulement et de transfert de sédiments d'amont en aval dans le lit du Mikkès. À ce propos, la mise en place du barrage Sidi Echahed depuis 1996 dans le tronçon pré-rifain a eu un impact évident sur l'hydrodynamique et la morphologie fluviale du tronçon aval. Cet impact s'est traduit principalement par une artificialisation du régime hydrologique de l'oued et par un arrêt du transit sédimentaire par charriage, en provenance de l'amont. En conséquence le lit de l'oued a subi une rétraction et une incision significative dans la zone située en aval immédiat du barrage.

Conclusion générale

Comme nous avons avancé dans l'introduction générale, les objectifs principaux visés dans la thèse étaient d'une part, de caractériser la géomorphologie fluviale de la vallée du Mikkès à différentes échelles spatiales (échelle de vallée, échelle du tronçon et des sites), tout en ciblant le fond de vallée actuel avec sa plaine alluviale et son lit fluvial. D'autre part, il s'agissait d'étudier les modes d'anthropisation de la vallée dans différents tronçons et de déterminer les impacts de cette anthropisation sur les fonctionnements hydrodynamiques et morpho-sédimentaires de l'oued actuel de Mikkès. La méthodologie préconisée s'est basée principalement sur les investigations géomorphologiques de terrain, les données statistiques des administrations publiques, les documents cartographiques, les images satellitaires et les analyses de sédiments au laboratoire.

Sur le plan géomorphologique, nous avons dévoilé dans le premier chapitre, que le bassin versant du Mikkès s'étend sur trois domaines morpho-structuraux et orographiques majeurs, qui sont d'amont en aval dans le sens du drainage : le causse moyen-atlasique au Sud, où dominant les terrains carbonatés (liasiques) karstifiés se situe à des altitudes allant 2076m à 800m; le plateau de Saïs dans la partie centrale du bassin où dominant les marnes du miocène et calcaires lacustres et sables fauves du pliocène, se situe à des altitudes variantes de 800 à 300m ; au Nord, se trouve la zone du Prérif, où affleurent largement les marnes du miocène qui forment des collines d'altitudes variables, entre environ 900 et 50m au site de confluence du Mikkès avec le Sebou. Dans ce contexte morphostructural, le bassin versant a une forme allongée, avec un réseau hydrographique plus ou moins dense selon les unités géomorphologiques citées ci-dessus.

L'analyse des conditions climatiques et hydrologiques, du bassin versant montre qu'il s'agit d'un climat de type méditerranéen, caractérisé par deux saisons, une saison hivernale humide et fraîche (hiver) et une autre, estivale sèche et chaude (été). L'analyse de la répartition spatiale des précipitations montre que la zone du causse reçoit le maximum des précipitations, en comparaison avec le Saïs et le Prérif. Les quantités importantes des précipitations hivernales (avec des chutes des neiges dans le causse) et printanières favorisent les écoulements et les crues morphogènes de l'oued ; elles assurent aussi l'alimentation des nappes hydrogéologiques karstiques et basaltiques et par conséquent, la pérennité des sources qui alimentent Oued Mikkès. Les données hydrologiques relatives aux débits de l'Oued Mikkès, montrent des alternances saisonnières et interannuelles importantes ; ce qui reflète l'irrégularité des

précipitations au niveau de la zone d'étude. Les débits moyens mensuels les plus importants sont enregistrés entre février et avril, après la saison hivernale (fonte de la neige au Moyen Atlas) ; tandis que les fortes crues mobilisatrices correspondent au mois décembre (fin de l'automne). Ce régime hydrologique, principalement fluvial influencé par la fonte de neige, contrôle les processus morpho-dynamiques le long de l'Oued Mikkès.

En ce qui concerne l'étude morphologique à l'échelle du fond de la vallée, de la plaine alluviale et du lit fluvial, nous avons opéré une sectorisation basée sur des tronçons, choisis dans les différentes unités morpho-structurales précédemment citées : le causse moyenne atlasique, le Saïs et le Prérif.

Le tronçon amont du Haut Mikkès, correspond à la vallée de Tizguit, développée dans le causse moyen atlasique. Sur le plan géomorphologique, ce tronçon est marqué par le développement de la karstification ; la morphologie du cours d'eau y présente des cascades avec des concrétions travertineuses. Dans ce tronçon, l'étude des caractéristiques morphométriques de la plaine alluviale a montré une morphologie variable d'amont à l'aval, avec la succession des segments élargis et d'autres rétrécis. Les valeurs de sa largeur fluctuent autour d'une médiane de 55m. Cette plaine alluviale, est constituée d'un remplissage sédimentaire formé de passées de galets, graviers et sables, à forte proportion de limons et argiles et des travertins.

L'analyse des faciès de cette plaine alluviale à l'échelle de la coupe montre une succession d'accumulations contrastées. Chacune d'entre-elles, sont liées à des conditions hydrodynamiques différentes reflétant la variation de l'écoulement irrégulier de l'oued. Ce dernier passe d'un milieu de forte énergie lors des crues responsables de l'accumulation des niveaux grossiers, vers un milieu plus calme de faible énergie, favorisant la sédimentation fine sablo-limoneuse et la formation des travertins.

À l'échelle du lit fluvial actuel, l'étude morphologique met en évidence localement la présence de deux lits fonctionnels lit moyen et lit mineur. Le lit moyen est submergé temporairement en période de crues périodiques à l'échelle de l'année ou de quelques années, selon les séquences des précipitations. Le lit mineur désigne le chenal de l'écoulement ordinaire et d'étiage de l'Oued Tizguit. Ce dernier est caractérisé par un matériel alluvial grossier hétérométrique qui indique un fonctionnement hydrodynamique fort et contrasté lors de crues.

Dans sa partie médiane, qui occupe le plateau de Saïs, l'Oued Mikkès traverse deux zones morphologiques différenciées par l'intermédiaire de la flexure de Taoujdate. En amont de celle-

ci, sur le plateau de Meknès, la vallée est encaissée et sa plaine alluviale révèle une forme rétrécie avec un remplissage sédimentaire qui ne dépasse pas 2m d'épaisseur. Il se compose essentiellement des dépôts fins. Plus à l'aval, vers le Saïs de Fès, la plaine alluviale du Mikkès est plus large. Le remplissage sédimentaire dépasse 2 m d'épaisseur visible ; les alluvions se caractérisent principalement par l'alternance de niveaux fins sablo-limoneux. Les faciès grossiers y sont très rares.

À l'échelle du lit fluvial, l'étude morphologique met en évidence un lit mineur bien distinct et un lit moyen discontinu. La géométrie du lit mineur est influencée par les conditions structurales du substratum encaissant et guidant la dynamique fluviale en favorisant la dilatation ou la contraction de sa largeur. Le chenal d'écoulement dessine des tracés sub-rectilignes alternés avec des secteurs sinueux.

L'analyse de la fraction grossière des sédiments du lit mineur dans le tronçon du Saïs, montre la dominance des galets carbonatés émoussés issus préférentiellement du Causse moyen atlasique. L'analyse granulométrique de la fraction fine du lit mineur reflète des sédiments fluviaux, avec décroissance de la taille des sédiments sableux d'amont en aval.

L'étude des caractéristiques morphologiques et sédimentaires des berges de l'Oued Mikkès dans le Saïs montre quatre types distincts : berges sapées actuellement, berges sapées périodiquement, berges dégradées et berges stables. La distribution spatiale de la ripisylve n'est pas uniformément répartie entre l'amont et l'aval du tronçon étudié. Elle est moins développée vers l'amont, dans le plateau de Meknès en comparaison avec l'extrémité aval du tronçon du Saïs.

Dans la partie prériaire, la vallée du Bas Mikkès s'évase et développe un fond de vallée relativement plus large en aval du barrage Sidi Echahed. La plaine alluviale y montre une largeur qui varie sensiblement d'un segment à l'autre autour d'une moyenne d'environ 336 m. Le remplissage sédimentaire de la plaine y dépasse 3m d'épaisseur visible. Il est constitué majoritairement de l'alternance de niveaux essentiellement fins sablo-limoneux. Alors que les faciès grossiers y sont très rares voire absents. Ce qui indique la dominance des conditions hydrodynamiques de faible énergie dans la mise en place de ces sédiments.

Comme dans les tronçons amont et médian. L'oued présente un style morphologique à méandres de forte sinuosité ; l'étude morphologique, fait ressortir la présence de deux lits fonctionnels, moyen et mineur, qui sont tapissés des sédiments fins sablo-limoneux et où les passages graveleux ou à petits galets sont rares.

Dans ce tronçon du Bas Mikkès prérfain, l'influence des phénomènes latéraux sur la morphodynamique du cours est évidente. Les affluents de tous ordres et les cônes de déjections ont des impacts sur les sédiments et la morphologie fluviale du lit principal du Mikkès (apports détritiques latéraux, influence sur la forme et la largeur des lits...). Comme en amont, les berges du lit du Bas Mikkès montrent des types variés où les berges sapées, ou glissées dominent ; ce qui est révélateur d'une grande mobilité des méandres dans ce domaine marneux fragile.

L'étude diachronique de l'évolution spatio-temporelle du tracé du cours d'eau, entre 1942 et 2020, a montré que les modifications de la morphologie fluviale du cours d'eau sont variables selon les unités morpho-structurales et lithologiques traversées par l'oued. Dans le tronçon amont du causse moyen atlasique, l'oued a subi peu de modifications et le chenal semble être peu actif. Une mobilité importante du chenal traduite par une série de méandres instables a été notée dans le Saïs de Fès. L'évolution des méandres est marquée par des mutations plus remarquables dans le cas du Bas Mikkès prérfain, où l'espace fluvial montre d'abondants bras morts.

Notons enfin que l'anthropisation croissante du bassin versant du Mikkès depuis la période du protectorat français, a favorisé une pression humaine croissante sur le milieu naturel, tout en modifiant les dynamiques sur les versants et le long de la vallée. Des mutations socio-spatiales se sont traduites par l'accroissement démographique de la population du bassin versant, sa sédentarisation et l'extension des terres agricoles et surpâturages aux dépens de la couverture végétale naturelle. Les aménagements hydrauliques réalisés directement sur le lit de l'oued, notamment dans le Haut Mikkès et le Bas Mikkès, ont fortement impacté le fonctionnement hydrologique et morpho-sédimentaire du Mikkès, favorisant une mutation profonde du paysage de l'espace fluvial le long de la vallée. Le barrage de Sidi Echahed, mis en service depuis 1996, a eu un impact capital sur le paysage du fond de vallée et la morphologie du lit de l'oued dans sa portion aval prérfain.

Références bibliographiques

- Achiban, H., 2021.** Hydrogéomorphodynamique fluviale et transport solide dans les bassins versants de la bordure nord occidentale du moyen atlas central : cas de Oueds Tigrigra et Tizguite. Thèse Doct, Sidi Mohamed Ben Abdellah, FLSH Saïs-Fès 356p.
- Ahmamou M., 1987.** Etude sédimentologique des calcaires lacustres Saissiens (Plio-Quaternaire) du bassin de Fès-Meknès (Maroc). Thèses 3ème cycle, Aix Marseille III, 187p.
- Aït Brahim L., 1983.** Etude de la déformation, du Néogène à l'actuel, sur la bordure sud-rifaine, dans le contexte du rapprochement des plaques Europe-Afrique. Thèse 3 cycle, Univ. Mohamed V, Rabat, 178 p.
- Aït Brahim L., 1983.** Etude de la déformation, du Néogène à l'actuel, sur la bordure sud-rifaine, dans le contexte du rapprochement des plaques Europe-Afrique. Thèse 3 cycle, Univ. Mohamed V, Rabat, 178 p.
- Ait Brahim L., 1991.** Tectonique cassante et états de contraintes récents au Nord du Maroc contribution à l'étude de risque sismotectonique, Thèse de doctorat, Rabat, 360p.
- Alcayaga H., 2013.** Impacts morphologiques des aménagements hydroélectriques à l'échelle du bassin versant. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 134 p.
- Amraoui F., 2005.** Contribution à la connaissance des aquifères karstiques : Cas du Lias de la plaine du Saïs et du Causse moyen atlasique tabulaire. Thèse de doctorat. Univ.Science et technique Languedoc –USTL- Montpellier_France, 249p.
- AMIL M., 1992.** Bassin versant du Nekour, recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage M.B.A El Khettabi (Maroc) ", Thèse doctorat, université Cheikh Anta Diop, faculté des sciences et techniques, 209p.
- Avenard J.M., 1995.** Dynamique érosive actuelle et actions humaines dans le Prérif (Maroc) in Bull No.15 du réseau érosion ORSTOM Montpellier France.407p.
- Bahir M. et Mennani A., 2002.** Problématique de la gestion des eaux souterraines au Maroc. Estudios Geol, 58p.
- Ballais JL., Chave S., Dupont N, Masson E., Penven M J., 2011.** La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables. Collection "Ouvrages", ff10.4000/physio-geo.3307ff.Physio-Géo, 173 p.
- Belhassan K., 2011.** Comportement Hydrologique, Hydrogéologique et Hydrodynamique du bassin versant de L'Oued Mikkes en Amont de barrage Sidi Echahed. These pour l'obtention du Diplome de Doctorat National, Fès 194 p.

-
- Bigot S., Telesphore B., Oszwald Y. et Diedhiou A., 2003.** Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, *Sécheresse*, 16 (1). Pp. 14–21.
- Bravard, J. P., 1994.** L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles, *Revue de Géographie de Lyon*, 69 (1), 5-10p.
- Bravard J.P et Petit F., 1997.** Les cours d'eau, dynamique du système fluvial. Armand Colin éd., Paris, 221 p.
- Bravard J.P. et Piégay H., 2000.** L'interface Nature-Société dans les hydrosystèmes fluviaux. Armand Colin éd. Paris, 221 p.
- Bruderer W., Gouskov N., Gubler J., Jaquemont P., Levy RG., Tilloy R., 1955.** Carte géologique régulière du Maroc aux 1/100000 feuilles de Fès Ouest. Edition service géologique. 109p.
- Bryssin G., 1965.** Les propriétés physiques des tirs du Rharb". Les cahiers de la recherche agronomique. 279p
- Cadel, G., Ozenda P., et Tonnel, A., 1963.** Feuille de Saint-Bonnet (XXXIII-37). Doc. pour la Carte de la Vég. des Alpes, I, 47p.
- Chamayou J., Combe M., Genetuer B., Lecrecl C., 1975.** Le bassin de Meknès-Fès, ressources en eau du Maroc atlantique 1975. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, N°231. Rabat, pp 41-71.
- Charrière A., 1990.** Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intra-continentale : Le moyen atlas au SE de Fès (Maroc). Thèse doctorat Univ Paul Sabatier, Toulouse III, 589p.
- Cherai B., 2009.** Géologie et géomorphologie du Saïs et de ses bordures du Néogène au Quaternaire", Thèse de doctorat en géologie, Faculté des sciences, Dhar Mehraz, Fes. 211p.
- Cherrad B., 1997.** Le bassin versant de l'oued Grou (Plateau Central Marocain) étude hydro-climatologique. Thèse de doctorat de l'Université de Metz. 272p.
- Cirac P., 1987.** Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Évolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. Thèse de Doctorat d'État, Université Bordeaux 1, n° 837 et Mémoire de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, 21, 271p.
- Dadoun A., 2006.** Hydromorphodynamique fluvial de l'Oued Sebou moyen entre les années 1960 et 2006 : impact du barrage Allal El Fassi et les contraintes d'aménagement de l'espace fluviale. Thèse Doct, Sidi Mohamed Ben Abdellah, FLSH Saïs-Fès (thèse en arabe), 432p.
-

-
- Descloux M., 2011.** Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : méthode d'estimation et effets sur la composition et la structure des communautés d'invertébrés benthiques et hyporhéiques. Thèse de doctorat. Université de Lyon. 312p.
- Dégoutte G., 2006.** Diagnostic, aménagement et gestion des rivières Hydraulique et morphologie fluviales appliquées (2^e Éd). Lavoisier, 394p.
- Dekayir A., El-Maâtaoui M., 2001.** Minéralogie et bilan de matière de l'altération supergène d'un basalte alcalin du Moyen Atlas marocain. Journal of African Earth Sciences, Vol. 32, No 4, pp. 619-633.
- Dépret H., Hooke J., 2013.** Revue archéologique du centre de la France. 43-44. 157p.
- El Ghachi M., Morchid F.Z., 2015.** Analyse des tendances pluviométriques dans la ville de Khénifra dans un contexte de variabilité climatique. Environment and process. 13p.
- Eric R., Sabir M., Laouina A., Benchakroun F., Al Karkouri J., Lauri P., Qarro M., 2010.** Gestion durable des eaux et des sols au Maroc : valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. Marseille : IRD, p. 21-31. ISBN 978-2-7099-1683-7.
- Essahlaoui A., 2000.** Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le bassin de Meknès-Fès (Maroc) prospection géoélectriques, étude hydrogéologique et inventaire des Ressources en eau. Thèse de doctorat science appliquée. Ecole Mohammedia d'ingénieurs, Rabat, 258p.
- Fassi D., 1999.** Les formations superficielles du Saïs de Fès et de Meknès. Du temps géologique à l'utilisation actuelle des sols. Notes et Mémoires du Service Géologique, Maroc, 389, 527 p.
- Fedan B., Thomas G., 1986.** Découverte de dépôts néogènes déformés par l'accident Nord-Moyen atlasique (Maroc). Implications sur son activité mio-plio-quaternaire au Nord de Boulemane. Géologie Méditerranéenne. Tome 12-13, numéro 3-4, 1985. 151-154p.
- Frysou, O., 2008.** Caractérisation des régimes d'étiage en Nouvelle-Calédonie. Rapport de synthèse. DAVAR. 29 p.
- Gamerof T., Pommier P., 2013.** Diagnostic agricole d'une petite région des plateaux du Saïs, Maroc. Mémoire pour l'obtention du : diplôme d'ingénieur d'agroparistech cursus ingénieur agronome et du diplôme d'agronomie approfondie. Agronomie/dumas/-00876335.208p.
- Hack J. T., 1973.** Stream-profile analysis and stream-gradient index. Journal Research U.S. Geological Survey 1, Pp 421-429.
- Harmand C., Cantagrel J M., 1984.** Le volcanisme alcalin tertiaire et quaternaire du moyen atlas (Maroc) : chronologie K/Ar et cadre géodynamique. Volume, 1984, 51-55p.
-

-
- Harmouzi O., 2010.** Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss (Maroc) : interprétation de sondages électriques verticaux par combinaison des méthodes statistique, géostatistique et d'inversion. Thèse doctorat.323p.
- Hamza B., 2018.** Quantification et modélisation des transports solides, cartographie des zones à risques d'érosion hydrique par utilisation d'un SIG : application aux bassins de Bouhamdane et Ressoul (Nord-Est Algérien). Thèse doctorat.164p.
- Hirsch F., 1967.** Signification de la densité de drainage : Les facteurs qui la conditionnent. Doctoral Thesis 3rd Cycle, Strasbourg.
- Horton R E., 1945.** Le développement érosif des cours d'eau et de leur bassin de drainage : approche hydrophysique de la morphologie quantitative. Bulletin de la société géologique d'Amérique.370 p.
- Jain P., Sharma J.D., Sohu D., Sharma P., 2005.** Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur Distric.Science technique.379p.
- Karrat L., 1989.** Altérations superficielles associées au volcanisme quaternaire du Moyen-Atlas (Maroc). Modalités et conséquences sur la morphologie et la sédimentation dans quelques Oueds de la région. Thèse Doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès.151p.
- Knighton D., 1984.** Fluvial forms and processes. London: Edward Arnold. 218p.
- Laabidi A., 2016.** Géomorphologie fluviale, lithostratigraphie et sédimentologie des dépôts actuels du bassin hydrographique du Moyen Beht (Sillon sud rifain occidental, Maroc). . Thèse Doct, Sidi Mohamed Ben Abdellah, FSDM Fès. 252p.
- Laraichi S., Hammani A., Kuper M., Bouignane A., 2017.** Intégration des données spatio-temporelles dans la gestion de la nappe de Saïss. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 5 (1).12p.
- Léopold L. B. et Langbein W. B., 1962.** The concept of entropy in landscape evolution. U.S. Geological Survey Professional Paper 500-A, pp. 20, Washington, DC.Cross Ref Google Scholar.
- Lepoutre B. et Sauvageot, A., 1970.** Pédogenèse sur marnes gypseuses miocènes. AL AWAMIA (MA) ISSN : 0572-2721, no 36, 180p.
- Malavoi J R, Souchon Y., 1996.** Dynamique fluviale et dynamique écologique. CEMAGREF BEA Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative. Lyon.11p.
- Malavoi J.R. et Bravard J.P., 2010.** Éléments d'hydromorphologie fluviale. Édité par l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques), 224 p.
-

-
- Mailhot A., Bolduc S. et Guillou M., 2016.** Hydrologie à l'échelle de petits bassins-versants agricoles. Institut National de la Recherche Scientifique, Centre Eau, Terre et Environnement. 165p.
- Martin J., Lepoutre B., 1967.** Le causse moyen atlasique. Cahier de la Recherche Agronomique n : 24, 207-226p.
- Martin J., 1977.** Le Moyen Atlas central, étude géomorphologique ; Thèse Paris Vil, 3 volumes.
- Martin J., 1981.** Le Moyen Atlas central, étude géomorphologique. Edition Service géologique du Maroc, Rabat. 445p.
- Melton M.A., 1957.** Elément de géologie marocaine. Notes et mémoires du service géologique du Maroc. 408p.
- Mercier J.L., 2013.** Indices granulométriques et lois de distributions, Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 19 - n° 4, 379-392p.
- Meylan P., Favre A., Musy A. et Bernard B., 2008.** Hydrologie fréquentielle : Une science prédictive. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 168 p.
- Michard A., Chalouan A., El Kadiri Kh., Negro F., Frizon de Lamotte D., Soto J.I. et Saddiqi O., 2008.** The Rif belt. Continental evolution: the geology of morocco: structure, stratigraphy and tectonics of the africa-atlantic-mediterranean triple junction.- lect. notes earth sci., 116, 203-302p.
- Mireille T., 1969.** Méthodes et techniques modernes en géomorphologie. *In* : L'information géographique, volume 24, n°4, 1960, Pp.156-165.
- Musset R., 1935.** Les calculs relatifs aux régimes pluviométriques. Fraction pluviométrique, écart pluviométrique relatif, coefficient pluviométrique relatif. Géocarrefour, 12p.
- Musy A., 1998.** Hydrologie appliqué .Edition H*G*A, Bucarest, ISBN : 973-98530-8-0. 368p.
- Musy A., Higy C. et Reynard E., 2014.** Hydrologie 1, Une science de la nature, une gestion sociétale. Presses polytechniques et universitaires romandes, édition revue et argumentée, 489p.
- Nabit F., 2014.** Etude du réajustement du lit actif en Loire moyenne, bilan géomorphologique et diagnostic du fonctionnement des chenaux secondaires en vue d'une gestion raisonnée. Thèse Doct, Université Paris Pantheon Sorbonne. 409p.
- OBDA Kh., 2004.** Les indigences hydrologiques des oueds méditerranéens : Cas du Haut Sebou (Moyen Atlas) et du Nekor (Rif), Maroc. Thèse de Doctorat d'Etat en géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs, Fès, 422 p.
-

-
- Ozenda P., 1985.** La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Publications de la Société Linnéenne de Lyon. 54-8 pp. 66-67.
- Qadem Z., 2020.** Hydrologie des oueds Fès et Mikkès drainant le plateau de Saïss et ses bordures moyennes atlasiques. Thèse Doct, USMBA, FLSH Fès- Saïs, 270p.
- Robinson M., Ward R.C., 2017.** Hydrolgy: Principles and processes. IWA Publishing. 402p
- Roche M., 1963.** Hydrologie de surface. Gauthier-Villars ORSTOM, Paris, 429 p.
- Rollet A. J., 2008.** Étude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon 3.305 p.
- Saidi E., 1988.** Traité de sédimentologie, pétrographie, environnements sédimentaires. Edition Afrique Orient, Maroc, 393p.
- Schumm S.A., 1977.** The fluvial system. J Wiley and Sons. New York, 338p.
- Snelder D.J., Brayan, R.B., 1995.** The use of rainfall simulations to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo district (Kenya). 25p.
- ST-Hilaire A., 2007.** Analyse fréquentielle des précipitations de la station Assomption. Rapport de recherche R937 de l'INRS-ETE. v + 12 p.
- Strahler A. N., 1952.** Hypsometric (area-altitude) analysis of orsional topography. Geological Society of America Bletin 63, 1117-1142.
- Taltasse P., 1953.** Recherche géologique et hydrologique dans le bassin de Fès-Meknès Notes et mémoires du service géologique du Maroc.300p.
- Taous A., 2005.** Géomorphodynamique fluviale : processus morphosédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléoenvironnements et mutations récentes des espaces fluviaux. Série thèse et monographies n° 11, 426p.
- Taous A., 2013.** Cours d'eau et paysages fluviaux au Maroc : un patrimoine naturel fragile à protéger. Ouvrage collectif : ressources patrimoniales et développement local au Maroc et en Andalousie (Espagne), 276 p, Publication de la FLSH Sais-Fès, n°26, Pp. n125-151.
- Taous A, Achiban H, Elghalmi I et Achiban H., 2020.** Fonctionnement hydro-géomorphologique et impacts anthropiques dans la vallée de l'Oued Tizguit (Moyen Atlas central - Maroc).Ouvrage collectif, Agadir.15p.
- Thornthwaite C. W., 1948.** An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review. Vol. 38, pp. 55-94.48 p.
- Tilloy R., 1955.** Notice explicative de la feuille de Souk El Arba du Rharb. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 104bis. 23p.
-

Tricart J et Cailleux A., 1963. Initialisation à l'étude des sables et des galets. C.D.U.Ed., Paris, 376p.

Wernli R., 1988. Micropaléontologie du Néogène post-nappes du Maroc septentrional et description systématique des foraminifères planctoniques. – Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 331p.

Wisler C. O., Brater E. F., 1959. Hydrology. John Wiley, Chichester, West Sussex, UK.

Xiaomin Che. et Sequeira J., 2004. Extraction du réseau hydrographique à partir du modèle numérique de terrain. Rapport du laboratoire L S I S.84p.

Liste des illustrations

Liste des figures

Chapitre 1 : Contexte physique du bassin versant de L'Oued Mikkès

Figure 1.1	Situation géographique du bassin versant de l'Oued Mikkès.....	11
Figure 1.2	Carte des grands domaines structuraux et localisation du bassin Mikkès	12
Figure 1.3	carte lithologique du bassin versant Oued Mikkès	15
Figure.1.4	Répartition lithologique dans le bassin versant du Mikkès.....	16
Figure 1.5	Les principales nappes hydrogéologiques dans le bassin de Mikkès.....	19
Figure 1.6	La carte de la distribution générale des types de sols du bassin versant de Mikkès (extrait de la carte pédologique du Maroc 1/500000)	22
Figure 1.7	Répartition des types de sols du bassin versant Oued Mikkès.....	23
Figure 1.8	Carte biogéographique du bassin versant de Mikkès	24
Figure.1.9	La carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mikkès	27
Figure 1.10	Histogramme de fréquence des tranches d'altitude et courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mikkès.....	29
Figure 1.11	Histogramme de fréquence des classes d'altitudes en fonction de la surface occupée dans le bassin	30
Figure 1.12	Rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Mikkès.....	31
Figure 1.13	La carte des pentes du bassin de l'Oued Mikkès	33
Figure 1.14	Carte d'exposition des versants dans le bassin versant de l'Oued Mikkès	35
Figure 1.15	Répartition d'exposition des versants en (%).	35
Figure 1.16	La carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Mikkès.....	38
Figure 1.17	Carte d'hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin de Mikkès, selon la méthode de strahler	41

Chapitre 2 : Conditions climatiques et hydrologiques du bassin versant du Mikkès

Figure 2.1	Répartition annuelle des précipitations au niveau de la station d'Ifrane (1980 2010).	47
Figure 2.2	Répartition annuelle des précipitations au niveau de la station Ain Taoujdate (1980..-2014).....	47
Figure 2.3	Répartition annuelle des précipitations au niveau de la station Sidi Echahed	47
Figure 2.4	Variation annuelle du coefficient pluviométrique à la station Ifrane.....	48

Figure 2.5	Variation annuelle du coefficient pluviométrique à la station Ain Taoujdate.....	48
Figure 2.6	Variations annuelles du coefficient pluviométrique à la station Sidi Echahed..	49
Figure 2.7	Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station d'Ifrane à la loi Normal.....	50
Figure 2.8	Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station Ain Taoujdate à la loi Normal.....	51
Figure 2.9	Ajustement statistique des précipitations annuelles de la station Sidi Echahed à la loi Normal.....	51
Figure 2.10	Carte des isohyètes du bassin de l'Oued Mikkès.....	54
Figure 2.11	Précipitations moyennes mensuelles aux stations d'Ifrane, Sidi Echahed, Ain Taoujdate.	55
Figure 2.12	Variation des valeurs pluviométriques mensuelles maximales aux stations d'Ifrane, Ain Taoujdate et Sidi Echahed. (1983-2014).	56
Figure 2.13	Variations saisonnières des précipitations aux stations d'Ifrane Ain Taoujdate et Sidi Echahed. (1983-2014)	56
Figure 2.14	Carte des isohyètes des précipitations saisonnières dans le bassin de Mikkès	57
Figure 2.15	Variation des températures moyennes mensuelles des stations d'Ifrane et Fès. (1968-2013).	58
Figure 2.16	Diagramme ombrothermique de la station d'Ifrane.....	59
Figure 2.17	Diagramme ombro-thermique de la station Fès (Source des données	60
Figure 2.18	Évolution de l'ETP mensuelle des stations Ifrane et Fès (1968-2009).....	61
Figure 2.19	Variation du débit moyen annuel de l'Oued Mikkès à la station Sidi Echahed (1983-2014).....	64
Figure 2.20	Variation du coefficient d'hydraulicité moyenne annuelle à la station Sidi Echahed (1983-2014)	64
Figure 2.21	Relation entre le coefficient pluviométrique (CP) et le coefficient d'hydraulicité (CH). (1983-2014)	65
Figure 2.22	Évolution des débits moyens mensuels du Mikkès à la station Sidi Echahed (1983-2014).....	66
Figure 2.23	Variation du coefficient mensuel de débit du Mikkès (1983-2014)	66
Figure 2.24	Variation du coefficient d'écoulement à l'échelle mensuelle.....	67
Figure 2.25	Ajustement graphique des débits maximus mensuels de l'Oued Mikkès à la station de Sidi Echahed pour la période (1983 – 2014)	69

Figure 2.26	Débits d'étiages mensuels de l'Oued Mikkès pour la période 1983-2014.....	72
Figure 2.27	Coupe schématique montrant le contexte hydrogéologique des principales sources du bassin de Mikkès	74
Figure 2.28	La carte de la répartition des principales sources dans le bassin versant Mikkès.....	75

Chapitre 3 : Morpho-dynamique fluviale du Haut Mikkès (Oued Tizguit) dans le causse moyen atlasique

Figure 3. 1	Croquis géologique et géomorphologique simplifié du bassin versant de Tizguit.....	80
Figure 3. 2	Situation des profils en travers réalisés dans le secteur amont de la vallée l'Oued Tizguit.....	81
Figure 3.3	Profils topographiques en travers de la vallée de Tizguit	82
Figure 3.4	La plaine alluviale de l'Oued Tizguit dans le secteur de Zaouia de S. Abdeslam	84
Figure 3.5	Variation de la largeur de la plaine alluviale de Tizguit entre Afekfak Et les gorges de Larjem.....	85
Figure 3.6	Coupe transversale schématique, montrant l'aspect générale du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale de l'Oued Tizguit dans le secteur de Zaouïa S. Abdeslam.....	86
Figure 3.7	Coupe litho- stratigraphique dans les formations de la plaine alluviale à Zaouïa Sidi Abdesslam.....	86
Figure 3.8	Histogrammes granulométriques des galets des niveaux E1 et E2 de la coupe Zaouïa Sidi Abdeslam	88
Figure 3.9	Spectres montrant la pétrographie des galets des niveaux E1 et E2 de la coupe Zaouïa Sidi Abdesslam.....	89
Figure 3.10	Dimensions caractéristiques des galets, selon la méthode de Cailleux.....	90
Figure 3.11	Indices d'émoussé et d'aplatissement des alluvions de la plaine alluviale de Tizguit.....	91
Figure 3.12	Courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe Zaouïa Sidi Abdeslam.....	93
Figure 3.13	Les courbes cumulatives des sables de la coupe Zaouia Sidi Abdeslam.....	93
Figure 3.14	Profil en long de l'Oued Tizguit.....	96

Figure 3.15	Aspect des différents styles fluviaux observés au niveau de la vallée de Tizguit	97
Figure 3.16	Répartition des valeurs de la largeur du lit de l'Oued du tronçon amont du Mikkès.....	98
Figure 3.17	: Images satellitaires (2018), montrant les aspects morphologique et style de l'Oued de Tizguit en amont, la zone médiane et en aval du tronçon.....	99
Figure 3.18	Éléments morphométriques de base d'un cours d'eau à méandres.....	100
Figure 3.19	Représentation schématique illustrant l'agencement des unités morphologiques fondamentales dans un cours d'eau à méandres	101
Figure 3.20	Exemple de mouille et seuil dans le lit de Tizguit observé à l'amont des gorges Larjem	102
Figure 3.21	Granulométrie des galets des barres latérales de l'Oued Tizgui.....	104
Figure 3.22	Diagramme montrant la pétrographie des galets des barres alluviales étudiées	105
Figure 3.23	Histogrammes des indices morphométriques	106
Figure 3.24	Courbes des fréquences des classes granulométriques des sables de lit de l'Oued Tizguit.....	107
Figure 3.25	Courbes cumulatives des sables du lit de l'Oued Tizguit.....	107
Figure 3.26	Schémas des types de berges de l'Oued Tizguit	110
Figure 3.27	Documents cartographiques, photo aériennes et images satellitaires utilisés pour l'analyse diachronique.....	112
Figure 3.28	Différentes situations diachroniques entre 1942, 1962, 2003 et 2020 de l'Oued Tizguit.....	113
Figure 3.29	Figure 3.29 : superposition des tracés de l'Oued Tizguit des années 1942, 1962, 2003, et 2020	114

Chapitre 4 : Morpho-dynamique fluviale du Moyen Mikkès dans le Saïs

Figure 4.1	Croquis géologique et géomorphologique simplifié de la plaine de Saïs.....	119
Figure 4.2	Coupe schématique illustrant la position de la vallée du Mikkès.....	120
Figure 4.3	Situation des profils en travers réalisés le long de la vallée du Moyen Mikkès.....	121
Figure 4.4	Profils topographiques en travers de la vallée du Moyen Mikkès dans le tronçon médian	122

Figure 4.5	variation amont -aval de la largeur du fond de vallée de l'Oued Mikkès dans le plateau du Saïs	125
Figure 4.6	La plaine alluviale du Mikkès dans le domaine du plateau de Meknès.....	125
Figure 4.7	La plaine alluviale du Mikkès dans la plaine Saïs de Fès	126
Figure 4.8	Localisation de la coupe transversale de Bouderbala.....	127
Figure 4.9	Coupe transversale schématique de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès, dans le secteur de Bouderbala, près de Bled Tiniza.....	127
Figure 4.10	Coupe litho- stratigraphique dans les formations de la plaine alluviale du Mikkès à Bouderbala	128
Figure 4.11	Courbe de fréquence des classes granulométriques de la coupe Bouderbala....	128
Figure 4.12	Courbe cumulative des classes granulométriques de la coupe Bouderbala.....	129
Figure 4.13	Localisation de la coupe transversale de la plaine alluviale dans le secteur de Mghila	130
Figure. 4.14	Coupe transversale schématique de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès dans le secteur de Mghila.....	130
Figure 4.15	Coupe litho- stratigraphique dans les formations de la plaine alluviale de Mikkès à Douar Mghila.....	131
Figure 4.16	Courbe de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe Mghila.....	132
Figure 4.17	Courbes cumulatives des échantillons de la coupe Mghila.....	132
Figure 4.18	Profil en long du tronçon médian de Mikkès (plaine de Saïs).....	134
Figure 4.19	La largeur du lit mineur dans le tronçon Moyen Mikkès, dans le plateau de Meknès et dans la plaine du Saïs.....	138
Figure 4.20	Exemples de recoupement des méandres de l'Oued Mikkès dans le domaine du Saïs de Fès, secteur de Mahdouma	139
Figure 4.21	Granulométrie des galets des bancs alluviaux de lit mineur de l'Oued Mikkès, dans le plateau de Meknès (1) et la plaine de Saïs (2 et 3).....	141
Figure 4.22	Spectres pétrographiques des galets du lit mineur du Moyen Mikkès dans le Saïs.....	142
Figure 4.23	Indices d'émoussé et d'aplatissement des galets du lit mineur du Moyen Mikkès.....	143
Figure 4.24	Courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de banc latéral et chenal d'étiage du lit mineur de l'Oued Mikkès.....	144

Figure 4.25	Courbes cumulatives des classes granulométriques des sables du chenal d'étiage et banc latéral du tronçon médian de l'Oued Mikkès.....	144
Figure 4.26	Répartition des types des berges selon leurs proportions des longueurs respectives, le long du Moyen Mikkès.....	147
Figure 4.27	Evolution du tracé de l'Oued Mikkès dans le Saïs de Fès durant les années 1974, 2006 et 2020	150

Chapitre 5 : Morphodynamique fluviale du Bas Mikkès dans le Prérif

Figure 5.1	Croquis géologique simplifié du bassin versant de Mikkès dans le Prérif.....	156
Figure 5.2	Localisation des profils en travers réalisés le long du tronçon de Mikkès aval...	158
Figure 5.3	Profils en travers de de la basse vallée de Mikkès	159
Figure 5.4	La plaine alluviale, à l'amont de la retenue du barrage Sidi Chahed.....	161
Figure 5.5	La plaine alluviale, à l'aval du barrage, dans le secteur de Centre Mikkès.....	161
Figure 5.6	La plaine alluviale, dans le secteur du Douar Oulad Dlim	162
Figure 5.7	La plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar.....	162
Figure 5.8	Variation amont-aval des valeurs de la largeur de la plaine alluviale du Bas de Mikkès.....	163
Figure 5.9	Localisation de la coupe transversale de la plaine alluviale dans le secteur du Centre Mikkès.	164
Figure 5.10	Coupe transversale schématique, montrant l'aspect générale du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès dans le secteur de centre Mikkès (aval du barrage).....	165
Figure 5.11	Coupe litho-stratigraphique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du Mikkès dans le secteur de Centre Mikkès.....	165
Figure 5.12	Spectres pétrographiques des galets des niveaux SM1 et SM2 de la coupe de Centre Mikkès.....	167
Figure 5.13	Histogrammes granulométriques des galets des niveaux SM1 et SM3 de la coupe du Centre Mikkès.....	168
Figure 5.14	Indices d'émoussé et d'aplatissement des galets de la plaine alluviale au secteur de Centre Mikkès.....	169
Figure 5.15	Courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe de Centre Mikkès.....	170

Figure 5.16	Courbes cumulatives des échantillons de la coupe du secteur de Centre Mikkès.....	170
Figure 5.17	Localisation de la coupe transversale dans la plaine alluviale dans le secteur de Oulad Dlim.....	172
Figure 5.18	Coupe transversale synthétique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du Bas Mikkès dans le secteur du Douar Oulad Dlim.....	173
Figure 5.19	Coupe litho-stratigraphique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale dans le secteur de Oulad Dlim.....	173
Figure 5.20	Spectre pétrographique des galets de la coupe Oulad Dlim.....	175
Figure 5.21	Histogrammes granulométriques des galets du niveau 1 de la coupe d'Oulad Dlim.....	175
Figure 5.22	Indices d'émoussé et d'aplatissement des galets dans les alluvions de la plaine alluviale à Oulad Dlim.....	176
Figure 5.23	Courbes de fréquences des classes granulométriques des sables de la coupe Oulad Dlim.....	177
Figure 5.24	Courbes cumulatives des échantillons de sables de la coupe Oulad Dlim.....	178
Figure 5.25	Localisation de la coupe transversale de la plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar.....	180
Figure 5.26	Coupe transversale synthétique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale du Bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar.....	180
Figure 5.27	Coupe litho-stratigraphique du remplissage sédimentaire de la plaine alluviale dans le secteur d'Oulad Jrar.....	181
Figure 5.28	Spectre pétrographique des galets de niveau 2 (OJ2) de la coupe d'Oulad Jrar.....	182
Figure 5.29	Histogrammes granulométriques des galets de niveau 2 (OJ2) d'Oulad Jrar.....	183
Figure 5.30	Indices d'émoussé et d'aplatissement des alluvions de la plaine alluviale à Oulad Jrar.....	183
Figure 5.31	Courbes de fréquences des classes granulométriques des sables à graviers de la coupe d'Oulad Jrar.....	184
Figure 5.32	Courbes cumulatives des échantillons sableux de la coupe Oulad Jrar.....	185

Figure 5.33	Profil en long du lit du bas Mikkès dans le Prérif , en aval du barrage Sidi Chahed.....	186
Figure 5.34	Exemples des aspects morphologiques des méandres du Bas Mikkès.....	188
Figure 5.35	Variation des valeurs de la largeur de lit mineur du Bas Mikkès	189
Figure 5.36	Aspects morphologiques des seuils et mouilles du tronçon aval du Mikkès, dans le secteur de Oulad Dlim	190
Figure 5.37	Recoupement d'un méandre du Bas Mikkès, dans le secteur de Douar Ghoumra	191
Figure 5.38	Histogrammes de fréquence de la dimension des galets des barres alluviales du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).....	193
Figure 5.39	Spectres pétrographiques des galets de lit mineur dans du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).....	194
Figure 5.40	Indices d'émoussé et d'aplatissement des barres de lit mineur dans les secteurs du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).....	195
Figure 5.41	Courbes des fréquences des classes granulométriques des sables des barres alluviales dans le Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).....	196
Figure 5.42	Courbes des fréquences cumulées des classes granulométriques des sables des barres du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).	196
Figure 5.43	Impact de la confluence de l'Oued Ben Halima sur la morphologie des méandres de l'Oued Mikkès	198
Figure 5.44	Impact de la confluence de l'Oued Mellah sur les méandres de l'Oued Mikkès.....	198
Figure 5. 45	Répartition des types des berges selon leurs proportions des longueurs respectives, le long du Bas Mikkès.....	200
Figure 5.46	Évolution diachronique du tracé du Bas Mikkès entre 1942 et 2021 dans le secteur de Centre Mikkès, à l'aval du barrage.....	205
Figure 5.47	Superposition des tracés du Bas Mikkès en 1942, 1962, 2001 et 2021 Secteur du Centre de Mikkès.....	206

Chapitre 6 : Anthropisation, mutation socio-spatiale et impacts sur l'Oued Mikkès

Figure 6.1	Localisation des fermes coloniales en 1943 dans le Saïs -secteur de Bouderbala- Sebâa Aioun – Ain Taoujtate.	211
Figure 6.2	Localisation administrative du bassin versant de l'oued Mikkès.....	212
Figure 6.3	Situation des différentes communes dans le bassin versant du Mikkès.....	213
Figure 6. 4	Evolution de la population des communes du bassin versant du Mikkès.....	214
Figure 6.5	Évolution du taux d'accroissement dans le bassin versant d'Oued Mikkès.....	216
Figure 6.6	La densité de la population des communes du bassin de Mikkès.....	217
Figure 6.7	La densité de la population dans le bassin de Mikkès en 2014.....	218
Figure 6.8	Proportions relatives des effectifs du cheptel des provinces concernées par le bassin.....	220
Figure 6.9	Occupation des sols dans le bassin versant de Mikkès	221
Figure 6.10	ouvrages et barrages collinaires construits sur le lit mineur de l'Oued Tizguit, dans le secteur de la ville d'Ifrane.....	225
Figure 6.11	Morphologie du lit de l'oued Mikkès en en aval dans le secteur du Centre Mikkès, avant de la mise en place du barrage Sidi Echahed	228
Figure 6.12	Morphologie du lit de l'oued Mikkès en en aval dans le secteur du Centre Mikkès, après de la mise en place du barrage Sidi Echahed.....	229

Liste des tableaux

Tableau 1. 1	Répartition des superficies des tranches d'altitude dans le bassin versant du Mikkès	21
Tableau 1. 2	L'altitude moyenne du bassin versant de l'Oued Mikkès	29
Tableau 1. 3	Répartition les classes des pentes dans le bassin versant du Mikkès.....	34
Tableau 1. 4	Densité de drainage dans les différents secteurs du bassin de Mikkès.....	39
Tableau 1. 5	Ordination du réseau hydrographique du bassin versant Oued Mikkès.....	40
Tableau 2. 1	Calcul des paramètres statistiques des précipitations dans les trois stations...	50
Tableau 2. 2	Fréquences des précipitations annuelles et leurs temps de retour pour les stations d'Ifrane, Aïn Taoujdate et Sidi Echahed.....	52
Tableau 2. 3	Données des précipitations annuelles des stations utilisées pour réaliser la carte des isohyètes du bassin de Mikkès. (Source des données : ABHS)...	53
Tableau 2. 4	Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite à la station Fès. (Source des données : ABHS, 2014)	61
Tableau 2. 5	Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite de la station Ifrane. (Source des données : ABHS, 2014)	61
Tableau 2. 6	Résultat du calcul de l'ETR par la méthode de Coutagne.....	62
Tableau 2. 7	Résultats du calcul de l'ETR par la méthode de Turc.....	63
Tableau 2. 8	Les débits maximums mensuels de 1983 à 2014 à la station Sidi Echahed. (Sources des données : ABHS, 2014)	69
Tableau. 2.9	Débits maximums mensuels de l'Oued Mikkès calculés pour les différents temps de La retour.....	70
Tableau 3.1	Paramètres granulométriques des galets des unités E1 et E2 de la coupe type à Zaouïa Sidi Abdeslam.....	88
Tableau.3.2	Valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons sableux.....	94
Tableau 3.3	Caractéristiques morphométriques du lit mineur de l'Oued Tizguit.....	101
Tableau 3.4	Paramètres granulométriques des galets des trois barres alluviales étudiées.....	104
Tableau 3.5	Paramétrés et indices granulométriques des sables dans les barres alluviales de l'Oued Tizguit.....	108
Tableau 4.1	Valeurs des quartiles et indices granulométriques de l'échantillon analysé.....	129

Tableau 4.2	Paramètres et indices granulométriques de la coupe Mghila.....	133
Tableau 4.3	Les caractéristiques morpho-métrique du Moyen Mikkès.....	137
Tableau 4.4	Paramètres granulométriques des galets des bancs alluviaux du lit mineur dans le plateau de Meknès et plaine de Saïs.....	141
Tableau 4.5	Paramètres et indices granulométriques des fractions fines sables.....	144
Tableau 4.6	Longueurs des types de berges du tronçon médian de Mikkès.....	146
Tableau 5.1	Paramètres granulométriques des galets des niveaux SM1 et SM3 de la coupe du Centre Mikkès.....	168
Tableau 5.2	Valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons analysés dans la coupe du Centre Mikkès.....	171
Tableau 5.3	Valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons de sable analysés dans la coupe de Oulad Dlim	178
Tableau 5.4	Paramètres granulométriques des galets de la coupe d'Oulad Jrar.....	182
Tableau 5.5	Valeurs des quartiles et indices granulométriques des échantillons sableux de coupe d'Oulad Jrar	185
Tableau 5.6	Morphométrie des méandres du Bas Mikkès (Mesures effectuées sur 230m, dans secteur de Oulad Jrar.....	192
Tableau 5.7	Paramètres granulométriques des galets des barres alluviales du Bas Mikkès dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).....	193
Tableau 5.8	Valeurs des quartiles et indices granulométriques des sables des barres alluviales dans les secteurs du Centre Mikkès (SCM), de Ould Dlim (SOD) et de Oulad Jrar (SOJ).	197
Tableau 5.9	Répartition des types de berges selon leurs longueurs respectives, le long du Bas Mikkès	200
Tableau 6.1	Evolution de la population des communes du bassin versant du Mikkès, entre 1982 et 2014.....	215
Tableau 6.2	Effectifs du cheptel des provinces concernées par le bassin du Mikkès.....	219
Tableau 6.3	Superficies irriguées dans les communes de Moyen Mikkès selon les différents systèmes d'irrigation.....	222
Tableau 6.4	Caractéristiques et objectif du Barrage Sidi Echahed.....	226

Liste des planches photos

Planche photos 01.1	Aspects du paysage géomorphologique du bassin versant de l'Oued Mikkès dans les différents domaines morphostructuraux.....	14
Planche photos 1.2	aspect et typologie du couvert végétal dans le bassin versant de Mikkès ...	25
Planche photos 2.1	Montrant les crues de l'Oued Mikkès amont et endommagement les aménagements de protection au niveau du Zaouia Sidi Abdeslam à 2009..	71
Planche photos 2.2	Aspects de l'Oued Mikkès en étiage.	72
Planche photos 2.3	Montrant les sources de débordement au niveau de contact de la plaine de Saïs avec le causse moyen atlasique	73
Planche photos 3.1	Aspect du fond de vallée et des versants du tronçon de Tizguit	83
Planche photos 3.2	Aspect du lit majeur de Tizguit au niveau du Zaouïa Sidi Abdeslam.....	85
Planche photos 3.3	Aspect du lit fluvial du tronçon de Tizguit.S Abdeslam.	95
Planche photos 3.4	Exemples de berges de l'Oued Tizguit.....	109
Planche photos 3.5	Exemples de ripisylves de Tizguit (cas du Val d'Ifrane).....	111
Planche photos 4.1	Morphologie du fond de vallée du Moyen Mikkès	123
Planche photos 4.2	Morphologie de lit majeur de Moyen Mikkès au niveau du plateau de Meknès	124
Planche photos 4.3	Exemples des types des berges du tronçon médian de Mikkès.....	147
Planche photos. 4.4	Exemples de la ripisylve des berges du Moyen Mikkès	149
Planche photos 5.1	Typologies des berges de l'Oued Mikkès au Prérif.....	202
Planche photos 5.2	Aspects de la ripisylve du Bas Mikkès dans le Prérif.....	203
Planche photos 6.1	Quelques exemples de modes de prélèvement et utilisation des eaux dans le bassin du Mikkès.	224
Planche photos 6.2	Le barrage Sidi Echahed.....	227
Planche photos 6.3	Canalisation et bétonnisation du lit de l'Oued Tizguit	230
Planche photos 6.4	Mur de protection et enrochement des berges de l'Oued Mikkès	231
Planche photos 6.5	Exemples de seuils enrochés et bétonnés. a) seuil enroché sur le lit mineur c Mikkès à Douar El Madhouma	231

Liste des photos

Photo 3.1	Dalle de travertin dans le lit de Tizguit en amont de Z.S. Abdeslam.....	98
Photo 4.1	Morphologie du lit mineur dans le plateau du Meknès près de Bouderbla	135
Photo 4.2	Aspect morphologique des méandres du style du lit mineur dans le domaine du Saïs de Fès, secteur de Mghila	136

photo 5.1	Morphologie du fond de vallée de l'Oued Mikkès dans le secteur de Centre Mikkès.....	164
photo 5.2	Morphologie du fond de vallée et de la plaine alluviale de l'Oued Mikkès dar le secteur d'Oulad Dlim.....	172
Photo 5.3	Morphologie du fond de vallée, et aspect de la plaine alluviale (à droite) du Bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar.....	179
Photo 5.4	Paysage fluvial du Bas Mikkès montrant l'extension du lit moyen, dans le secteur de Centre Mikkès.....	188
Photo 5.5	Exemple de cône de déjection latéral sur la rive gauche de l'Oued Mikkès dans le secteur de Douar Oulad Haj Ali, à l'ouest de Centre de Mikkès	199

Liste des abréviations

ABHS : Agence du bassin hydraulique du Sebou

CMD : Coefficient Mensuel du Débit

DPA : Directions provinciales de l'agriculture

HCP : Le Haut-Commissariat au Plan

Is : Indice de sinuosité

MADRPM : Ministère de l'agriculture du développement rural et des pêches maritimes

Mé : Médiane

ONDH : Observatoire National du Développement Humain

Q1 : Premier quartile (la valeur du diamètre à 25 % de la courbe)

Q2:Deuxième quartile (la valeur du diamètre à 50 % de la courbe)

Q3 : Troisième quartile (la valeur du diamètre à 75 % de la courbe)

RN : Route nationale

RR : Route régionale

SIBE : Site à intérêt biologique et écologique

SIG : Système d'information géographique

SK : Indice d'asymétrie

So : Indice de classement de Trask

SM : Secteur Mikkès

SOJ : Secteur Oulad Jrar

SOD : Secteur Oulad Dlim

Tables des matières

Résumé	1
ملخص	2
Summary	3
Introduction générale.....	5
1. Cadre conceptuel et problématique	5
2. Objectifs	5
3. Approche et méthodologie	6
4.- Structure de la Thèse.....	7
Chapitre 1 : Contexte physique du bassin versant de L'Oued Mikkès	9
Introduction	10
1. - Localisation géographique et administrative	10
2.- Cadre géologique et géomorphologique général	11
2.1- Domaine du causse moyen-atlasique	11
2.2.- Le plateau du Saïs	13
2.3.- Le Prérif et les rides prérfaines	13
3.- Lithologie des terrains dans le bassin du Mikkès	14
3.1.- Trias	16
3.2.- Le Jurassique.....	16
3.3.- Le Crétacé Supérieur.....	17
3.4.- L'Oligocène	17
3.5.- Le Miocène	17
3.6.- Le Pliocène.....	17
3.7.- Le Quaternaire	18
4.- Contexte hydrogéologique	18
4.1.- La nappe du causse d'El Hajeb-Ifrane	18
4.2.- La nappe de Fès- Meknès	19
4.2.1.- La nappe profonde du Lias	19
4.2.2.- La nappe phréatique libre plio-quaternaire	20
4.3.- La nappe des rides prérfaines.....	20
5.- Les sols et le couvert végétal	20
5.1. Les sols.....	21

5.1.1.- Les sols du causse	21
5.1.2.- Les sols de la plaine de Saïs.....	21
5.1.3.- Les sols du Prérif et rides prérimfaines.....	22
5.2.- Le couvert végétal.....	23
5.2.1.- La zone du causse moyen-atlasique	24
5.2.2.- La plaine du Saïs.....	24
5.2.3.- Le Prérif et les rides prérimfaines	25
6.- Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Mikkès	25
6.1.- L'indice de forme.....	26
6.2.- Répartition des altitudes et hypsométrie du bassin versant	26
6.2.1.- Les altitudes caractéristiques	28
a.- L'Altitude moyenne	29
b.- L'altitude la plus fréquente	30
c.- L'altitude médiane	30
d.- La dénivelée utile (D)	30
6.2.2.- Le rectangle équivalent.....	30
6.2.3.- La réparation des pentes.....	31
a.- Indice de pente globale Ig	32
b.- Carte des pentes	32
6.2.4.- L'orientation des versants	34
6.2.5.- Le réseau hydrographique.....	36
a.- La densité de drainage.....	38
b.- L'organisation et la hiérarchisation du réseau hydrographique	40
c.- Le temps de concentration	41
d.- La vitesse d'écoulement de l'eau	42
Conclusion.....	42
Chapitre 2 : Conditions climatiques et hydrologiques du bassin versant du Mikkès.....	44
Introduction	45
1.- Les conditions climatiques du bassin versant du Mikkès	45
1.1.- Contexte climatique	45
1.2. – Les précipitations	46
1.2.1.- Répartition des précipitations à l'échelle annuelle	46
1.2.2.- Analyse fréquentielle des précipitations annuelles	49

a.-Ajustement par la loi de Gumbel des précipitations maximums annuelles	49
b.- Fréquence et période de retour de récurrence théorique	51
1.2.3. - Estimation de la lame d'eau tombée par la méthode des isohyètes	52
1.2.4.- Les précipitations mensuelles	55
1.2.5.- Les précipitations saisonnières	56
1.3.- Température, évaporation et bilan hydrique	58
1.3.1.- Les températures mensuelles	58
1.3.2.- Relation entre la température et les précipitations	59
1.3.3.- L'évapotranspiration	60
a.- L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	60
b.- L'évapotranspiration réelle (ETR).....	62
c.- Calcul de l'ETR par la formule de Turc.....	62
2.- Le fonctionnement hydrologique de l'Oued Mikkès	63
2.1- Variation du débit moyen annuel.....	63
2.2.- Variation du coefficient d'hydraulicité	64
2.3.- Variation des débits moyens mensuels	65
2.3.1.- Le coefficient mensuel des débits	66
2.3.2.- Le coefficient d'écoulement	67
2.4.- Les débits extrêmes.....	67
2.4.1.- Les crues	68
a)- L'analyse fréquentielle des crues.....	68
b.- Les caractères généraux de la genèse des crues.....	70
2.4.2.- Les étiages.....	71
a.- Etiages mensuels et leur sévérité.....	72
b.- Influences des pertes karstiques et des sources sur l'écoulement d'étiage du Mikkès	72
Conclusion.....	75

Chapitre 3 : Morpho-dynamique fluviale du Haut Mikkès (Oued Tizguit) dans le causse moyen atlasique

Introduction	78
1.- Contextes géologique et géomorphologique et morphologie de la vallée	78
1.1.- Contextes géologique et géomorphologique.....	78
1.2.- Morphologie de la vallée de Tizguit	80
2.- La plaine alluviale de l'Oued Tizguit	83

2.1.- Extension et morphologie	83
2.2.2.- Description de la coupe -type et analyse des sédiments	86
a. - Description de la coupe -type.....	86
b.- Analyse des sédiments	87
i). Analyse de la fraction grossière.....	87
. Granulométrie des galets.....	87
. Pétrographie des galets.....	89
. Morphométrie des galets	89
-. Rappel sur la méthode adoptée :	89
.- Résultats	90
ii). Analyse granulométrique de la fraction fine	92
.- Méthode préconisée	92
.- Résultats obtenus	93
3.- Caractérisation morphosédimentaire du lit fluvial de l'Oued Tizguit	95
3.1.- Caractéristiques générales et profil longitudinal.....	95
3.2.- Le style morphologique de l'Oued	96
3.3.- Caractéristiques des méandres	100
3.3.1. -Morphométrie des méandres.....	100
3.4.- Les seuils et les mouilles.....	101
3.4.1- Analyse des sédiments	103
3.4.2- Analyse de la fraction grossière	103
a.- Granulométrie des galets.....	103
b. - Pétrographie des galets	105
c. - Morphométrie des galets	105
3.4.2.- Analyse granulométrique des fractions fines.....	106
4.- Typologie des berges et caractéristiques de la ripisylve.....	108
4.1- Typologie des berges	108
a.- Berges taillées dans l'encaissant	109
b.- Berges taillées dans les formations de la plaine alluviale.....	109
5- Étude diachronique de l'évolution du tracé de Tizguit.....	112
Conclusion.....	115
Chapitre 4 : Morphodynamique fluviale du Moyen Mikkès dans le Saïs.....	117
Introduction	118

1.- Les contextes géologique et géomorphologique et morphologie de la vallée	118
1.1.- Contexte géologique et géomorphologique	118
1.1.1.- Le plateau de Meknès à l'Ouest.....	120
1.1.2.- Le Saïs de Fès	120
1.2.- La Morphologie de la vallée Moyen du Mikkès.....	121
2.- La plaine alluviale du Moyen Mikkès	123
2.1.- Morphologie et extension générale de la plaine alluviale.....	123
2.2.- Caractérisation sédimentologique de la plaine alluviale.....	126
2.2.1.- Organisation générale et faciès de la coupe de Bouderbala.....	126
a.- Localisation et description de la coupe	126
b.- Analyse granulométrique du matériel.....	128
2.2.2. - Organisation générale et faciès de la coupe de Mghila.....	130
a.- Localisation et description de la coupe	130
b.- Analyse granulométrique des sédiments.....	132
3.- Morphologie et caractéristiques morpho-sédimentaires du lit mineur	134
3.1. - Profil longitudinal du cours d'eau.....	134
3.2.- Morphologie de lit mineur dans le domaine du plateau de Meknès et dans la plaine de Saïs de Fès.....	134
3.2.- Morphométrie des méandres.....	136
3.2.1.- Morphométrie des méandres dans le plateau de Meknès.....	137
3.2.2- La morphométrie des méandres dans la plaine de Saïs.....	138
3.3- Analyse du matériel alluvial du lit mineur.....	140
3.3.1.- Analyse de la fraction grossière	140
a.- Granulométrie des galets.....	140
b.- Pétrographie des galets	141
c.- Morphométries des galets	142
3.3.3.- Analyse de la fraction fine	143
a.- Granulométrie des sables	143
4.- Typologie des berges et caractéristiques des ripisylves du Moyen Mikkès	145
4.1.- Typologie des berges	145
4.2.- La ripisylve	148
4.2.1.- La ripisylve dans le domaine du plateau de Meknès	148
4.2.2.- La ripisylve dans la plaine de Saïs de Fès.....	148

5.- Etude diachronique du tracé du lit d'Oued Mikkès dans la plaine du Saïs entre 1974 et 2020	150
Conclusion.....	151
Chapitre 5 : Morphodynamique fluviale du Bas Mikkès dans le Prérif	154
Introduction	155
1.- Contextes géologique et géomorphologique et morphologique de la vallée	155
1.1.- Contexte géologique et géomorphologique	155
1.2.- La Morphologie de la vallée du Bas Mikkès	157
2.- La plaine alluviale du Bas Mikkès dans le Prérif	160
2.1.- Morphologie et extension générale	160
2.2.- La plaine alluviale à l'aval du barrage, au secteur de Centre Mikkès	163
2.2.1.- Aspect général : extension et organisation des dépôts.....	163
2.2.2. - Description de la coupe-type et analyse des sédiments	165
a. - Description de la coupe	165
b.- Analyse des sédiments	167
b1.- Analyse de la fraction grossière.....	167
i.- Pétrographie des galets	167
ii.- Granulométrie des galets	167
iii.- Morphométrie des galets	168
b2.- Analyse granulométrique de la fraction fine.....	170
i.- Granulométrie des sables	170
2.3.- La plaine alluviale du bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Dlim.....	171
2.3.1.- Aspect général : extension et organisation des dépôts.....	171
2.3.2. - Description de la coupe-type et analyse des sédiments	173
a. - Description de la coupe	173
b.- Analyse des sédiments	174
b1.- Analyse de la fraction grossière	174
i.- Pétrographie des galets	174
ii.- Granulométrie des galets	175
iii. - Morphométrie des galets	175
b2.- Analyse granulométrique des fractions fines.....	176
2.4.- La plaine alluviale du Bas Mikkès dans le secteur d'Oulad Jrar	178
2.4.1.- Aspect général : extension et organisation des dépôts.....	178

2.4.2. - Description de la coupe-type et analyse des sédiments	180
a. - Description de la coupe	180
b.- Analyse des sédiments	181
b1.- Analyse de la fraction grossière	181
ii. Péetrographie des galets.....	181
i. Granulométrie des galets.....	182
iii. Morphométrie des galets.....	182
b2.- Analyse granulométrique des fractions fines	183
3.1.- Profil en long de l'Oued Mikkès dans le domaine prérfain	185
3.2.- Morphologie du lit fluvial	186
3.2.1.- Morphologie du lit moyen	188
3.2.2.- Morphologie du lit mineur	188
3.2.3.- Les recoupements de méandres	190
3.2.4.- Morphométrie des méandres.....	191
3.3.- Analyse des sédiments du lit mineur	192
3.3.1.- Analyse de la fraction grossière	192
a.- Granulométrie des galets.....	193
b.- Péetrographie des galets	193
c. Morphométrie des galets	194
3.3.2.- Analyse de la fraction fine	195
4.- L'influence des dynamiques latérales.....	197
4.1.- L'influence des confluences	197
4.2.- L'influence des cônes de déjection	198
5.- Typologie des berges et caractéristiques de la ripisylve	199
5.1.- Typologie des berges	199
5.1.1.- Les berges stables	200
5.1.2.- Les berges sapées périodiquement.....	201
5.1.3.- Les berges sapées actuellement	201
5.1.4.- Les berges glissées	201
5.1.5.- Les berges dégradées	201
5.2.- Les caractéristiques de la ripisylve	202
6.- Etude diachronique du tracé du Bas Mikkès entre 1942 et 2021.....	204
6.1.- Période avant mise en place du barrage	204

Conclusion.....	206
Chapitre 6 : Anthropisation, mutation socio-spatiale et impacts sur l'Oued Mikkès ...	209
Introduction	210
1.- Bref aperçu sur l'anthropisation durant la période de protectorat (1912-1956)	210
2.- Découpage administratif et population du bassin versant.....	211
2.1.- Découpage administratif	211
2.2.- Démographie et répartition de la population	213
2.3.-Densité de la population.....	216
3.- L'occupation humaine et exploitation des ressources du bassin versant de Mikkès	218
3.1. Surpâturage et dégradation de la forêt.....	218
3.2.- L'agriculture et l'exploitation des eaux de l'Oued Mikkès	220
4.- Interventions d'aménagement sur le lit de l'oued et leurs impacts hydro- morphodynamiques	224
4.1.- Les ouvrages transversaux	224
4.1.1.- Digués et barrages collinaires du Haut Mikkès	224
4.1.2.- Barrage de Sidi Echahed	226
4.2.- Les ouvrages de protection longitudinaux	230
4.2.1.- Canalisation du cours d'eau	230
4.2.2.- Mur de protection et enrochements de berges	230
4.2.3.- Les seuils dissipateurs d'énergie.....	231
Conclusion.....	232
Conclusion générale	233
Références bibliographiques	237
Liste des illustrations.....	244
Liste des figures	244
Liste des tableaux	253
Liste des planches photos.....	255
Liste des abréviations.....	257
Tables des matières	258
