



## L'évolution géomorphologique actuelle des tronçons de la partie médiane de l'oued Lakhdar (Haut Atlas Central- Maroc) : cartographie et analyse

ELOUIAZZANI Abdellah <sup>1</sup>, LAGNI Abdellatif <sup>2</sup>, AGUERD Jalal<sup>3</sup> et ELGHACHI Mohamed<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>: Laboratoire dynamique des paysages risques et patrimoine, Université sultan Moulay Slimane – FLSH Béni Mellal- Maroc

*This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) license.*



**Résumé :** L'objectif principal de cet article est d'examiner la géomorphologie actuelle de l'oued Lakhder, tout en analysant les facteurs climatiques et hydrologiques qui jouent un rôle dans l'activité dynamique du cours d'eau. Pour ce faire, une étude approfondie, accompagnée de cartes élaborées à partir des données récoltées sur le terrain, et en utilisant le logiciel ArcGIS comme outil d'appui. Le bassin versant de l'Oued Lakhdar est situé au Nord-oriental, dans les montagnes du Haut-Atlas, principalement étendu sur la province d'Azilal, avec un faible empiètement sur la province de Kelaa Sraghna. Il couvre une superficie de 3120.9 km<sup>2</sup> et s'étend sur une longueur de 100.69 km. Ce bassin fait partie du système hydraulique de l'Oued Oum Errabia.

Le bassin versant de l'oued Lakhdar est l'un des bassins montagnards, se caractérise par l'intensité des précipitations, ce qui favorise le déclenchement des crues torrentielles, ce phénomène naturel affecte la forme et la morphologie du lit fluvial par l'érosion verticale et latérale, notamment au niveau des berges. Ce travail actuel aborde la question de l'influence de la dynamique fluviale actuelle sur la forme du cours d'eau, tant au niveau de ses rives que de son lit.

**Mots clés :** Oued Lakhdar, La dynamique fluviale, l'évolution géomorphologique, cartographie.

**Abstract:** The aim of this article is to stigmatize the current geomorphology of Oued Lakhdar while analyzing the climatic and hydrological factors that play a role in the dynamic activity of the watercourse. To achieve this, an in-depth study will be conducted, accompanied by maps generated from field-collected data, and utilizing ArcGIS software as a supporting tool. The Oued Lakhdar watershed is in the northeastern region, within the High Atlas Mountains, primarily extending over the Azilal province, with a minor overlap into the Kelaa Sraghna province. It covers an area of 3120.9 km<sup>2</sup> and stretches for a length of 100.69 km. This basin is part of the hydrological system of the Oued Oum Errabia.

The Oued Lakhdar watershed is one of the mountainous basins, characterized by heavy precipitation, which promotes the occurrence of torrential floods. This natural phenomenon impacts the shape and morphology of the watercourse through both vertical and lateral erosion, particularly along the riverbanks. The present study focuses on investigating the current fluvial dynamics' impact on the morphology of the watercourse, especially concerning the riverbanks and the channel bed.

**Keywords:** Oued Lakhdar, river dynamics, geomorphological evolution, cartography.

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.8298833>

## 1 Introduction

Les travaux sur le thème de la dynamique fluviale sont d'autant plus nombreux que les enjeux qui se rapportent aux lits fluviaux sont importants (Jacob-Rousseau, N et al. 2009). Ces travaux proposent une vaste gamme de méthodes qui servent de source d'inspiration pour élaborer des protocoles de mesure et d'analyse du terrain ainsi que de ses représentations. Ces protocoles sont conçus de manière à s'adapter aux problèmes spécifiques, qu'ils soient fondamentaux ou appliqués, que les chercheurs doivent résoudre. La dynamique fluviale travaille à réduire continuellement les surfaces continentales et les rivières se propagent à tous les niveaux d'altitude De la surface de la mer et dans presque toutes les zones climatiques, l'action de l'eau courante ne se limite pas à l'abrasion et à l'érosion uniquement, mais aussi à la fonction de formation également, et cela est évident dans les plaines inondables, le delta ...

Le sous bassin versant de l'oued Lakhdar est situé dans le Haut Atlas Central, est considéré comme un espace où la dynamique fluviale est influencée par les variations du débit et l'impact du barrage Al Hassan Ier. Le débit de ce cours d'eau est principalement dépendant des précipitations, qui sont souvent intenses et concentrées dans le temps et l'espace. De plus, le débit des affluents augmente lors des phénomènes climatiques soudains, ce qui accroît l'activité de la dynamique fluviale, surtout au niveau des rives et du lit du cours d'eau. Par ailleurs, le transfert des eaux du barrage Al Hassan Ier vers le barrage Sidi Idriss a également un effet sur Oued Lakhdar. Tous ces facteurs contribuent à rendre la morphologie du cours d'eau en perpétuelle évolution et changement constant.

Dans cette étude, nous présenterons une analyse des données de précipitations et de débit de trois stations situées au niveau des principaux affluents d'Oued Lakhdar, dans le but de mettre en évidence leur contribution à l'activité de la dynamique fluviale et d'identifier les formes qui en résultent. Cela sera réalisé en s'appuyant sur des travaux bibliographiques, des travaux de terrain et des travaux cartographiques.

## 2 Zone d'étude:

Le bassin versant de l'oued Lakhdar, qui fait partie du système hydraulique de l'oued Oum Errabia, couvre une superficie de 3120,9 km<sup>2</sup> et s'étend sur une longueur de 100,69 km. Ce bassin est situé dans la province d'Azilal, et partiellement dans la province de Kelaa Sraghna, région de Marrakech-Safi. Il est entouré par les montagnes du Haut Atlas au sud et au sud-est, tandis que son côté ouest est bordé par le bassin de Tassaout. Le bassin de l'oued Lakhdar est principalement drainé par l'oued du même nom, ainsi que par plusieurs affluents importants tels que l'oued Mhasser, l'Assif Ghzaf, l'oued Tiainit et l'oued Bernât, qui est son principal affluent.

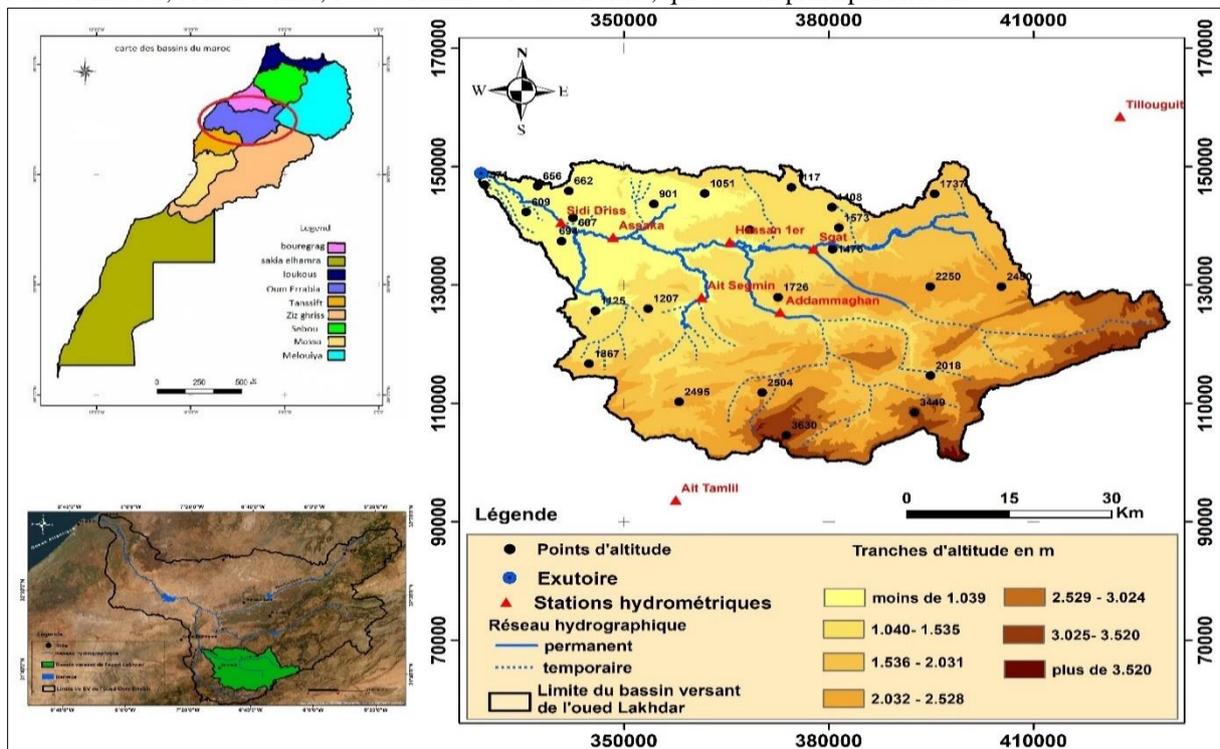


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de l'oued Lakhdar

### 3 Méthodologie:

L'étude de la dynamique fluviale fait appel à deux approches importantes pour comprendre le fonctionnement hydrodynamique du cours d'eau : approche historique et démarche actuelle. (EIGHACHI, M. 2008).

La méthodologie suivie dans ce travail est basée sur :

**\*La méthode hydrogéomorphologique :** Cette méthode se concentre principalement sur la géomorphologie et est principalement appliquée aux vallées et aux plaines formées par l'accumulation de sédiments par des cours d'eau. Elle appartient au domaine de la géomorphologie fluviale moderne et s'inscrit dans la tradition de l'analyse des écosystèmes fluviaux qui a été amorcée par W.M. DAVIS en 1899, puis poursuivie par L.B. LEOPOLD et d'autres en 1964. Cependant, elle se distingue de ces approches antérieures par sa préoccupation centrale concernant les risques liés aux inondations.

Le principal objectif de cette méthode n'est pas seulement d'acquérir une compréhension théorique du fonctionnement des cours d'eau, mais plutôt d'identifier et de cartographier les zones susceptibles d'inondations causées par ces cours d'eau. Cela vise à faciliter la prédiction et la prévention des catastrophes liées aux inondations. Des travaux ultérieurs, notamment ceux de S.A. SCHUMM en 1977, ont élaboré une description détaillée de la configuration spatiale des cours d'eau. Cependant, ces études se concentrent principalement sur l'évolution des profils longitudinaux des cours d'eau et sur leurs effets sur le débit de l'eau et l'érosion.

Le schéma développé par S.A. SCHUMM propose une distinction entre trois zones le long du cours d'eau : la zone amont, où les sédiments sont fournis et transportés, la zone de transfert, où les sédiments sont en partie déposés, et la zone aval, où les sédiments s'accumulent. La méthode hydrogéomorphologique évolue à partir de ce schéma en examinant en détail les différentes caractéristiques de la plaine alluviale le long de ce profil, en se concentrant sur la configuration transversale de la plaine et son évolution en amont et en aval. En plus de l'analyse de la forme et de la composition des caractéristiques géomorphologiques, cette méthode intègre également des indices et des critères supplémentaires pour évaluer le potentiel d'inondation, tels que l'étude de la végétation naturelle et diverses caractéristiques d'origine humaine.

**\*La création d'une légende explicative de la dynamique fluviale** vise à présenter de manière détaillée les éléments qui ont été cartographiés. L'objectif est de permettre au lecteur de déchiffrer et d'analyser les caractéristiques principales de la carte. Pour ce faire, la mise en place d'une légende nécessite une approche méthodique et spécifique :

\* Organisation de l'information : Toutes les données collectées sur le terrain sont organisées et catégorisées en fonction des phénomènes cartographiés.

\*Assignation de symboles à chaque élément cartographié : Afin de démarquer ces données, il est essentiel de trouver des représentations graphiques qui les symbolisent et qui fournissent des indications sur la dynamique du cours d'eau.

\*Sélection et application de couleurs pour différencier les symboles et les hiérarchiser en fonction de leur importance.

\*Création d'une vue d'ensemble de la légende en fonction des types d'informations et des principales catégories de données.

### 4 Résultats et interprétations:

#### 4.1 Analyse statistique des données climatiques et hydrologiques :

Le climat joue un rôle essentiel en tant que force motrice prédominante qui influence l'activité dynamique des cours d'eau, en particulier en mettant en évidence les éléments clés de chaleur et de précipitations. La chaleur contribue à préparer la surface en décomposant les éléments du sol, les rendant ainsi plus susceptibles d'être transportés lors des précipitations ultérieures. Ce phénomène entraîne une activité dynamique au sein des cours d'eau. L'étude des bassins versants nécessite également la détermination de leurs caractéristiques hydrologiques pour mieux comprendre leur comportement en matière d'écoulement des précipitations à l'échelle du bassin.

##### 4.1.1 Le climat à l'échelle mensuelle dans le bassin de l'Oued Lakhdar :

La Figure 4 montre la présence de deux périodes bien distinctes dans la répartition moyenne des précipitations mensuelles : une période humide qui s'étend d'octobre à avril, et une période sèche qui s'étend de mai à septembre, correspondant à 13% de la pluviométrie annuelle.

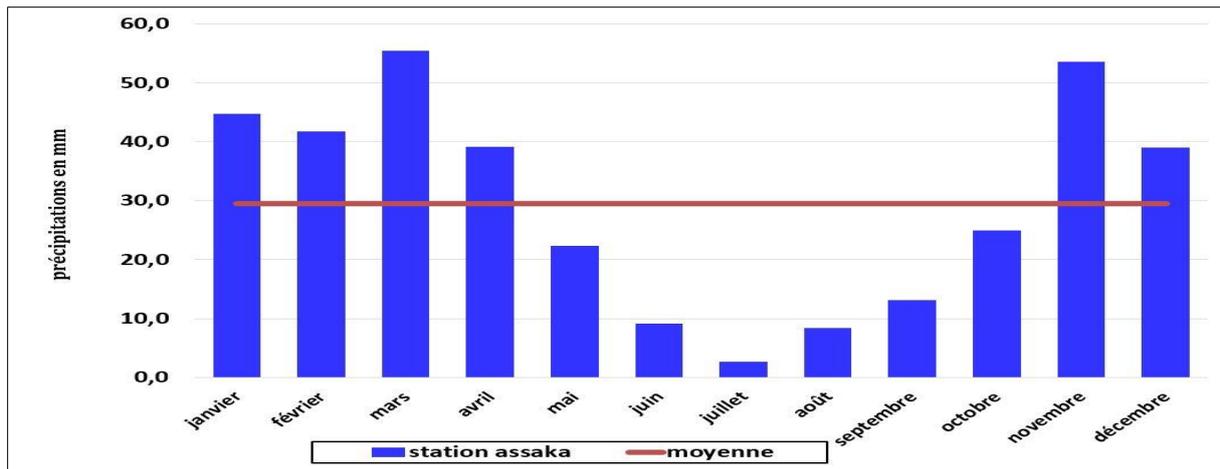


Figure 2. Distribution des pluies mensuelles dans la station d'Assaka (1990- 2017)

#### 4.1.2 Le débit mensuel dans la station d'Assaka :

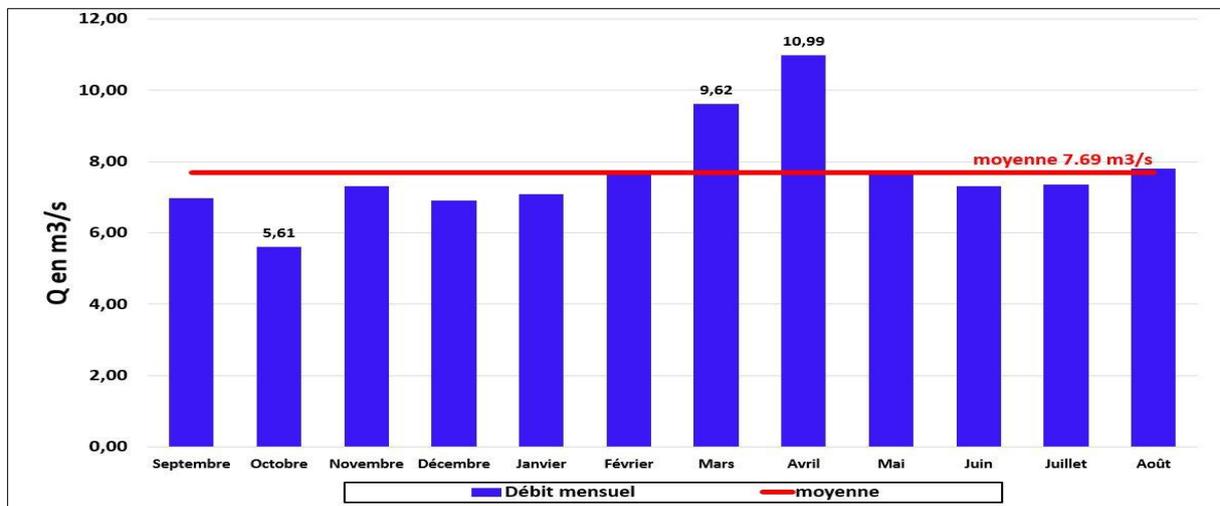


Figure 3. Les débits mensuels de la station d'Assaka (1986-2017).

D'après la figure 6 on remarque que presque tous les mois enregistrent des valeurs proches de la moyenne mensuelle, tandis que les mois de mars et avril enregistrent des valeurs au-dessus de la moyenne de 9.62 mètres cubes par seconde et 10.99 m<sup>3</sup>/s respectivement. C'est la saison caractérisée par des pluies abondantes et la fonte des accumulations neigeuses. En revanche, le mois d'octobre enregistre la valeur la plus basse d'environ 5.61 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.1.3 Relation pluie- débit:

D'après la figure 7 on note que la réponse hydrologique est plus rapide dans les années (1987-1996) sauf l'année de 1994 à cause de la disponibilité en eau pendant cette période et aussi la nature de climat dans cette période. A partir de l'année 1997 jusqu'à 2008, sauf les années de 2002, la réponse devient très lente En raison de la réduction des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation.

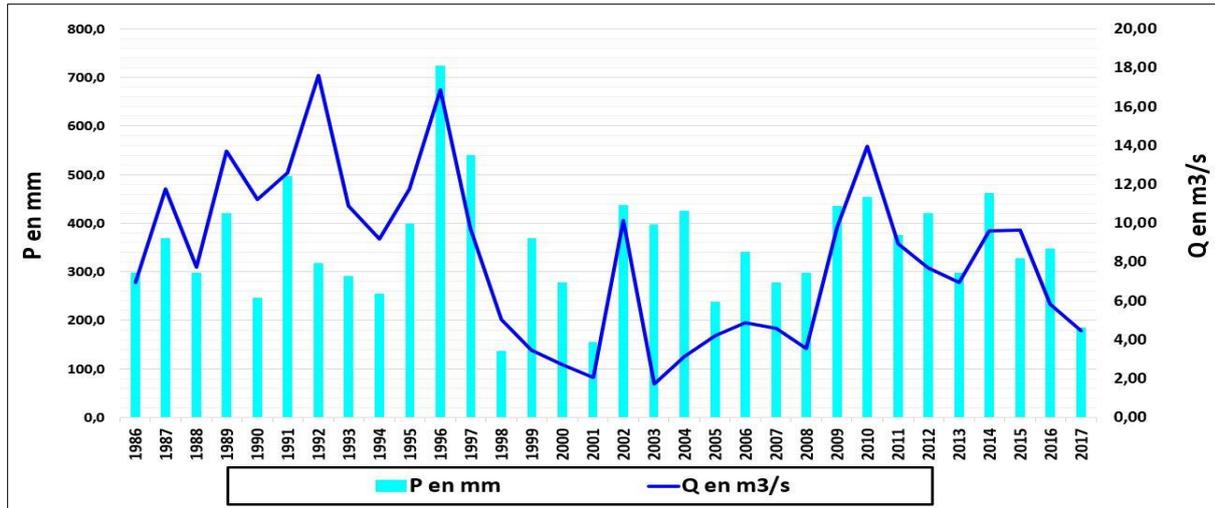


Figure 4. La relation pluie-débit de la station d'Assaka (1986- 2017)

#### 4.2 Identifications des types des berges cartographiées :

##### ✚ Berge végétalisée :

Les berges végétalisées de façon naturelle sont généralement stables. La végétation joue un rôle actif dans la modification des chenaux (Rollet, 2000). En raison de leur composition et de leur densité, elles exercent une influence significative sur les processus géodynamiques et la forme qui en découle. Grâce à leurs systèmes racinaires, les végétaux sont en mesure de fournir une protection mécanique pratiquement jusqu'à la base de la rive.



Photo 1. Exemple d'une berge végétalisée (Elouiazani2020)

La végétation joue un rôle de grande importance dans la stabilisation des rives : Celles qui sont très végétalisées sont très protégées, alors que celles qui sont non végétalisées avaient rendu les berges plus sensibles aux processus érosifs. Le tableau suivant présente les résultats de la cartographie de ce type de berges tout au long du cours d'eau avec trois types de berges : végétalisée, peu végétalisée ou non végétalisée.

Tableau 1. Les longueurs des berges en m de la partie médiane dans chaque tronçon dans les deux rives

Type de berge	Végétalisée		Peu Végétalisée		Non Végétalisée	
	Rive droite	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche	Rive droite	Rive gauche
Tronçon 1	1250	1067	518	464	232	469
Tronçon 2	600	1151.3	976	848.7	424	-
Tronçon 3	1187.7	1221.7	596.4	-	216	778.3
Tronçon 4	966.3	444.1	663.4	755.9	370.3	700
Tronçon 5	1300.4	626	160	1094	539.6	280
Tronçon 6	1053	801	421.3	641	523.7	568
Tronçon 7	1080	1029	487	-	433	971
Tronçon 8	1113	1765	745	235	142	-

Source : traitement personnel en se basant sur le travail du terrain

**Berges rocheuses :**

Les berges sont généralement naturellement protégées par des roches résistantes. La présence d'un substrat rocheux, plus résistant que le cours d'eau lui-même, peut freiner ou stopper la progression latérale de la berge en réduisant les forces érosives pour un débit donné (Grosprêtre, 2008).



Photo 2. Exemple d'une berge rocheuse (Elouiazani 2020)

**Berges sapées :**

Il s'agit de berges à la verticalité marquée, ayant subi une érosion significative, entraînant leur régression. Souvent, la courbure sinueuse du tracé favorise l'érosion pendant les mois d'hiver, lorsque le débit du cours d'eau est élevé.

**Berges sapées à la base :** C'est un état de transition entre les berges stables et les berges sapées. Ce type de berges facilite leur érosion. La dynamique qui peut être dominante dans un tel type est la dynamique latérale.



Photo 3. Exemple d'une berge sapée (Elouiazani 2020)

La comparaison en termes de sapement entre les tronçons montre une différence de longueur. Les plus sapés sont les 7 avec une longueur qui dépasse 434 m, tandis que les autres tronçons (1, 4 et 6) ont des longueurs variantes entre 104 et 224 m.

La figure ci-après présente les sapements dans les deux rives et les différents tronçons du cours d'eau :

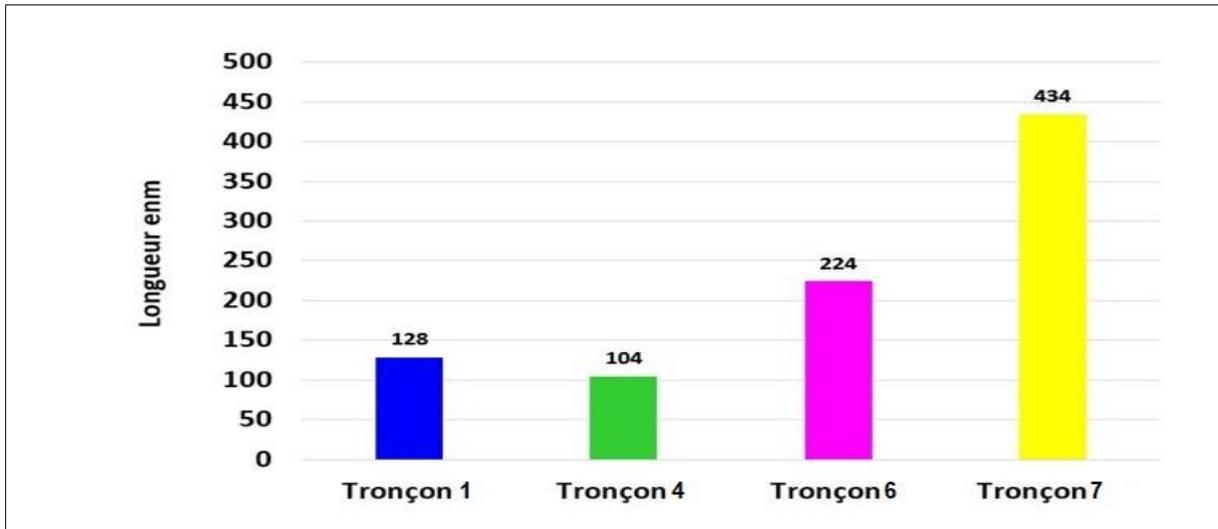


Figure 5 . Le sapement des berges de la partie médiane dans chaque tronçon

**Berges glissées :**

Les mouvements de glissement des berges peuvent être attribués à des éboulements, ce qui signifie des désintégrations de la structure du sol. L'eau peut contribuer à cette désintégration de diverses manières : en saturant le sol en eau et en exerçant potentiellement une pression stabilisante sur la berge, bien que ce ne soit pas toujours le cas. Ce phénomène peut se manifester lors d'une érosion régressive ou même par l'érosion à la base de la berge.



**Photo 4.** Exemple d'une berge glissée (Elouiazani 2020)

**Berges bétonnées :**

Ce sont des berges globalement protégées par des bétons, elles ont subi une dégradation avant cette intervention humaine.



**Photo 5.** Exemple d'une berge bétonnée (Elouiazani 2020)

**Berges dégradées :**

La dégradation des berges est un phénomène qui survient lorsque les rives des cours d'eau subissent une détérioration ou une altération de leur structure naturelle. Ce processus peut être causé par différentes raisons, notamment : l'érosion, les activités humaines, les Changements climatiques...



**Photo 6 .** Exemple d'une berge dégradée (Elouiazani 2020)

### 4.3 La sinuosité du cours d'eau :

Ce paramètre influençant la dynamique fluviale d'un cours d'eau. Pour le calculer, il existe plusieurs méthodes dont on peut citer celle qui consiste à diviser la pente du cours d'eau par la pente du cours d'eau, autre consiste à diviser la longueur réelle du cours d'eau sur sa longueur verticale.

#### ✚ Classes de sinuosité :

Quatre classes de sinuosité (SI) sont généralement prises en compte (Bavard, 2010).

\*  $SI < 1,05$  : le cours d'eau est quasiment rectiligne (c'est souvent le cas du lit moyen des rivières en tresses, voir chapitre correspondant. C'est le cas aussi de nombreuses rivières chenaillées ...)

\*  $1,05 < SI < 1,25$  : le cours d'eau est sinueux.

\*  $1,25 < SI < 1,5$  : le cours d'eau est très sinueux.

\*  $SI > 1,5$  : le cours d'eau est méandrique.

**Tableau 2.** Les caractéristiques générales des tronçons de la partie médiane

Tronçons	Altitude maximal	Altitude minimal	Longueur du Tronçon(m)	Longueur vertical(m)	La sinuosité
Tronçon1	720	710	2000	1408	1.42 Très sinueux
Tronçon2	710	705	2000	1064	1.87 Méandrique
Tronçon3	705	700	2000	1580	1.26 Très sinueux
Tronçon4	700	690	2000	1259	1.59 Méandrique
Tronçon5	690	680	2000	1815	1.10 Sinueux
Tronçon6	680	670	2000	1748	1.14 Sinueux
Tronçon7	670	660	2000	1568	1.28 Très sinueux
Tronçon8	660	640	2000	954	2.09 Méandrique

Selon le tableau 2, le cours d'eau principal a présenté une sinuosité très marquée dans tous les tronçons étudiés. On peut également observer que les tronçons 2, 4 et 8 sont en forme de méandres, tandis que les autres tronçons sont sinueux voire très sinueux. Cette sinuosité du cours d'eau joue un rôle crucial dans son évolution géomorphologique, en particulier en ce qui concerne l'évolution de ses berges. En effet, les méandres de l'oued Lakhdar comportent des parties concaves et convexes, donnant lieu à des zones d'érosion d'un côté et des zones de dépôt de l'autre. Cela engendre une mosaïque caractéristique comprenant des plages de sable, des galets ainsi que des espèces de la faune et de la flore spécifiques à ces environnements.

### 4.4 Résultats à l'échelle des tronçons :

Pour des informations plus détaillées relatives à l'analyse des résultats de la cartographie de la morphologie des rives, on va présenter ici les caractéristiques de chaque tronçon (1-2-3 et 4).

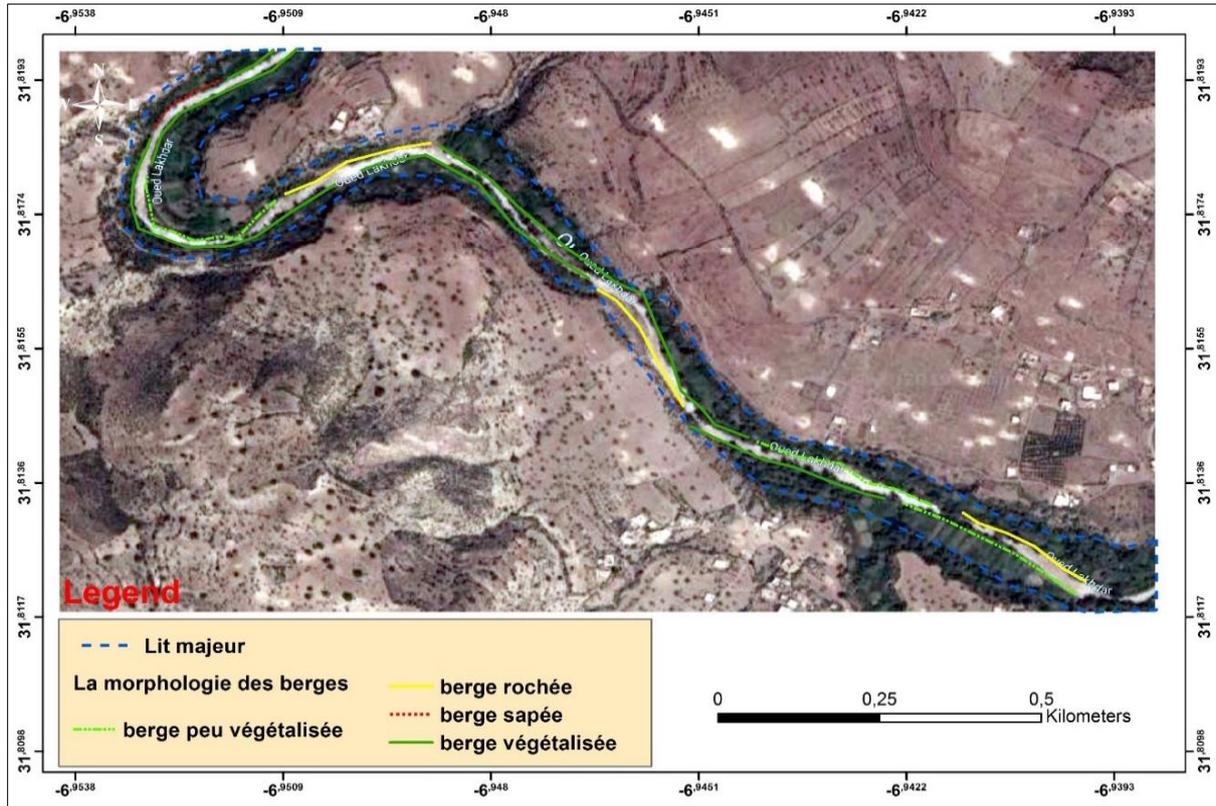


Figure 6. Les caractéristiques des berges du tronçon 1

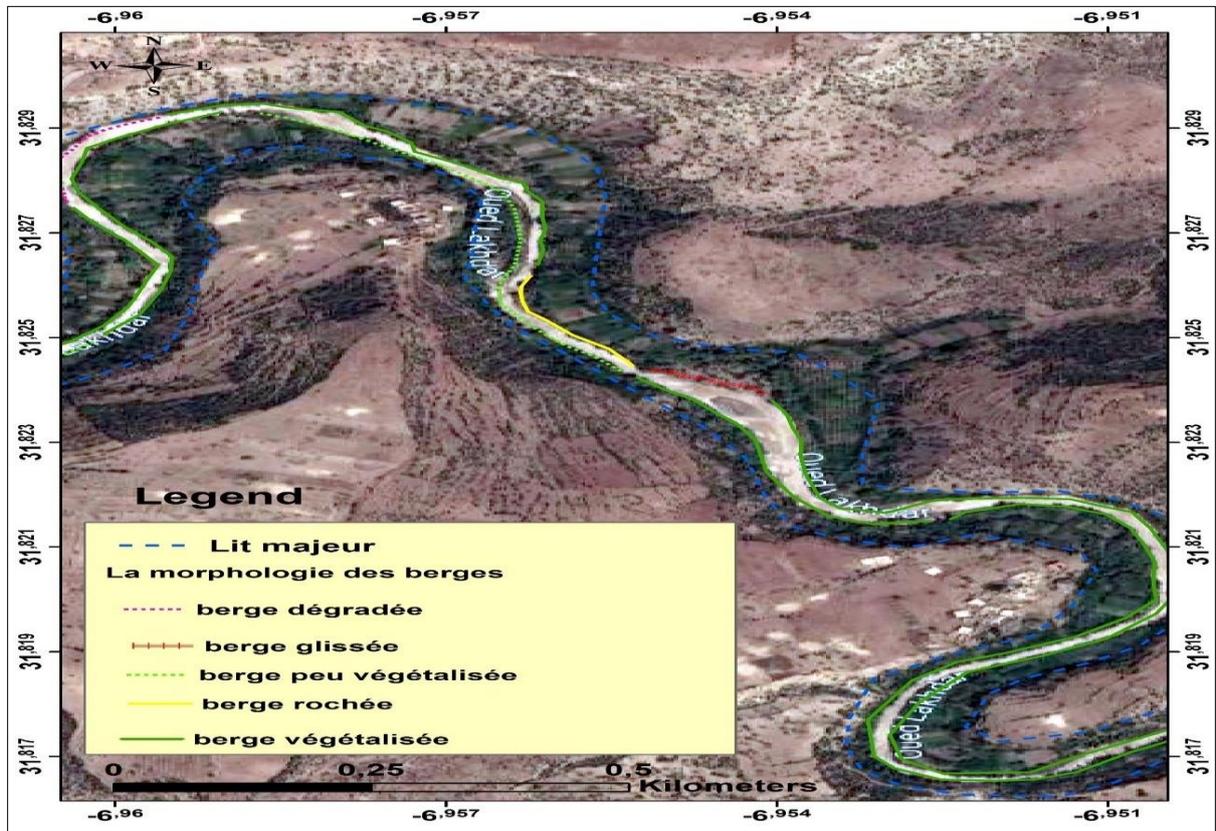


Figure 7. Les caractéristiques des berges du tronçon 2

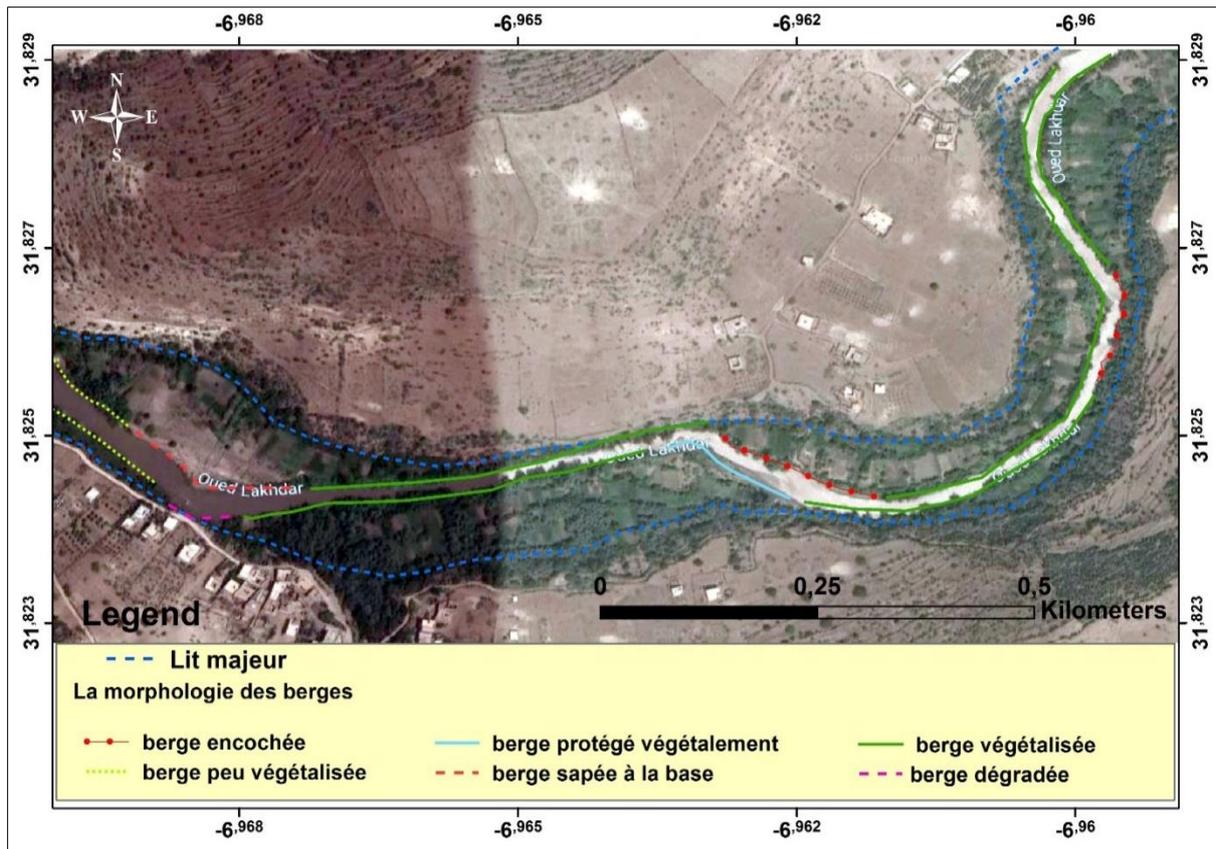


Figure 8. Les caractéristiques des berges du tronçon 3

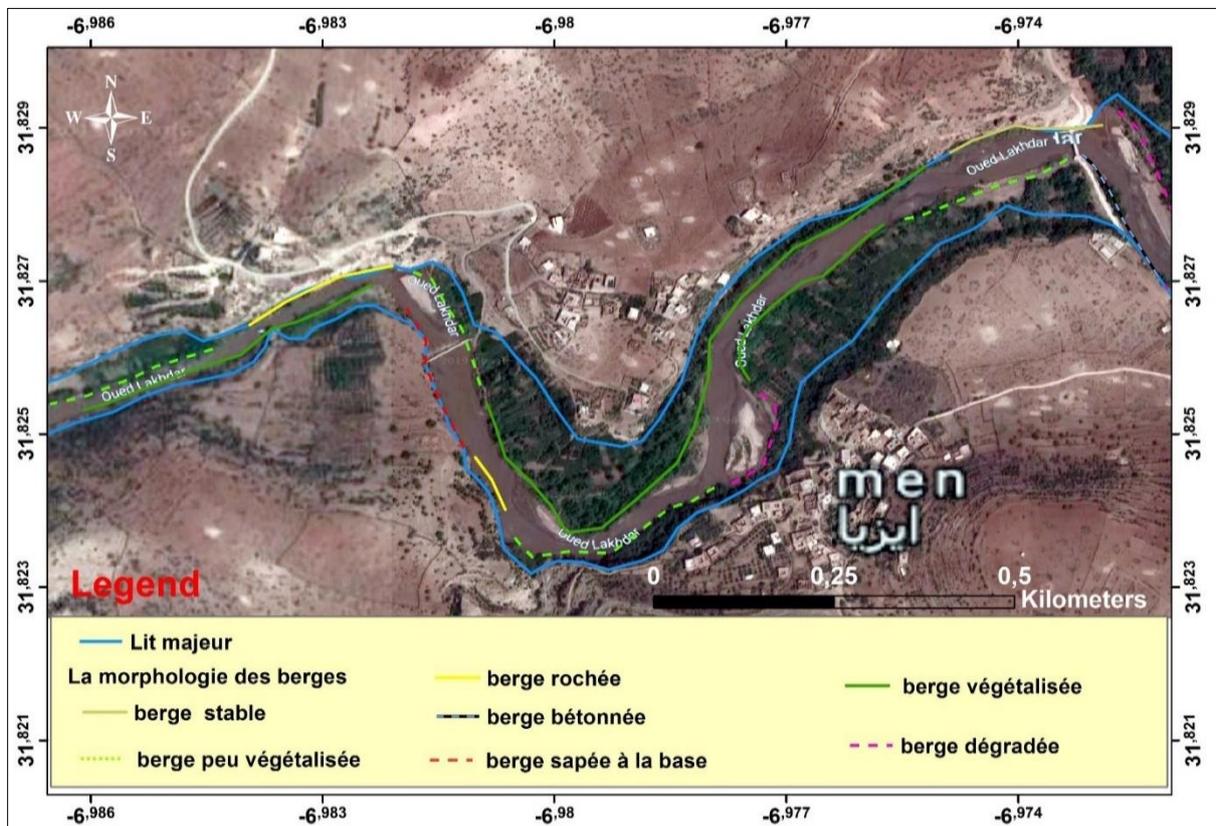


Figure 9. Les caractéristiques des berges du tronçon 4

#### 4.5 Résultats généraux sur les rives :

Pour comparer les résultats de la cartographie des types de berges dans les deux rives droite et gauche, nous présentons figure ci-après :

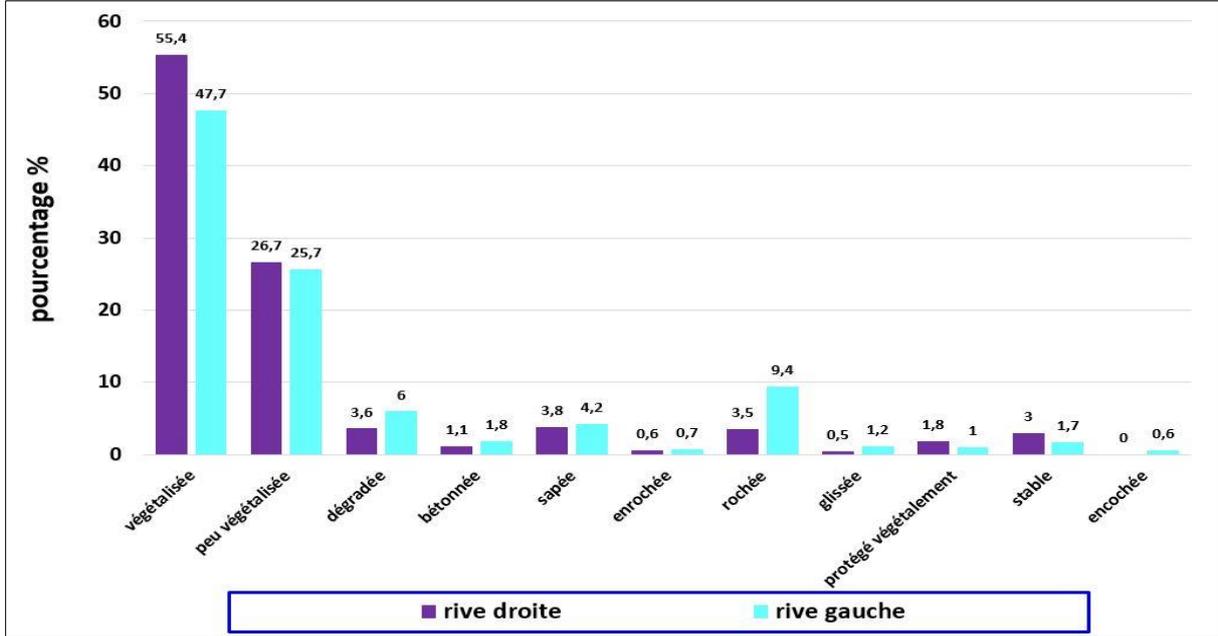


Figure 10. Les types de berges de l'oued Lakhdar et leur pourcentage dans chaque rive

Les proportions des différentes catégories de rives le long de l'oued Lakhdar sur chaque rive attestent de la prévalence des types mentionnés précédemment des deux côtés. Toutefois, la comparaison des taux entre les deux rives pour une même catégorie montre généralement des résultats très similaires.

#### 4.6 Cartographie des espaces de mobilité :

L'identification de l'espace de mobilité à court terme s'effectue par l'analyse de l'évolution temporelle du tracé fluvial (Piégay et al., 2005). La superposition de photographies aériennes historiques dans un système d'information géographique selon la méthode présentée par (Downward et al. 1994) facilite l'extraction des surfaces érodées entre diverses périodes, le calcul du taux d'érosion, la détermination de la direction du mouvement et la mesure de la largeur du chenal actif.

##### ✚ Le tracé du chenal :

Dans cette perspective, nous allons analyser la transformation du cours du chenal entre 1985 et 2019 afin de déceler les modifications géomorphologiques survenues et leur impact sur les écosystèmes aquatiques et terrestres. Cette étude reposera sur l'utilisation de photographies aériennes ainsi que de cartes topographiques.

En examinant la carte ci-dessus, il est évident que la configuration du cours d'eau a subi une transformation significative de 1985 à 2019. Ces modifications ont particulièrement affecté les paysages fluviaux, en particulier dans les méandres de l'oued Lakhdar, où le cours d'eau cherche constamment un équilibre, créant des bras morts qui s'éloignent de la rivière.

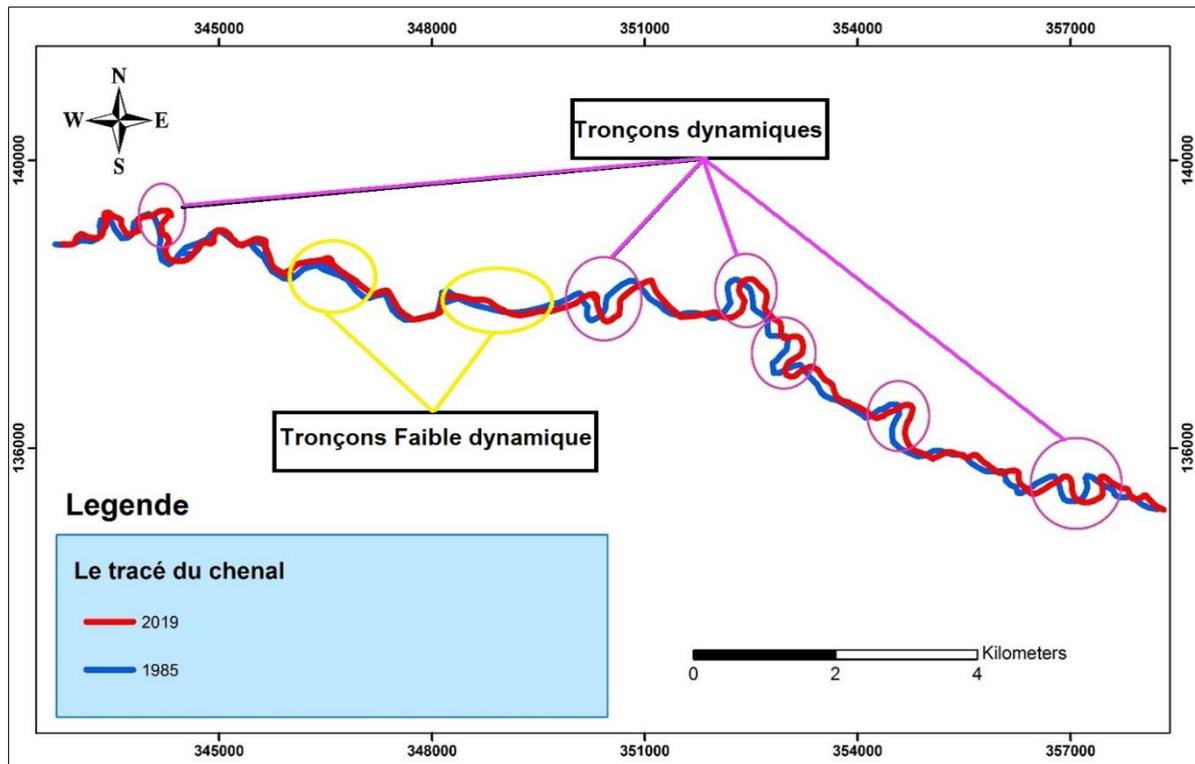


Figure 11. Le tracé du chenal de la partie médiane entre 1985 et 2019

## 5 Conclusion

Le cours d'eau principal de l'oued Lakhdar subit d'importants changements en raison de divers facteurs, dont sa quête constante d'équilibre entre ses rives, engendrant ainsi de multiples configurations sur les bords et le fond du chenal. Cette dynamique du fleuve agit également comme le moteur de la biodiversité, en particulier pour les espèces végétales présentes des deux côtés de la rivière, ainsi que dans le lit mineur lui-même. De plus, l'interaction de cette dynamique avec les activités agricoles et l'utilisation des terres dans le lit majeur exerce un impact.

Les interventions anthropiques ont engendré diverses modifications sur les berges et les éléments cartographiés, telles que des réalignements, des enrochements, des protections des rives, la construction de ponts, des opérations de curage, l'extraction de granulats et bien d'autres. Ces actions peuvent directement altérer la morphologie du lit mineur, voire du lit majeur. Cependant, les répercussions de ces activités humaines sur la stabilité des cours d'eau sont principalement liées aux changements induits dans les flux hydriques et sédimentaires du cours d'eau.

## REFERENCES

- [1] Arnaud, Piégay, H. Schmitt, L. et Rollet, A.-J. (2011). Restauration de la dynamique sédimentaire du Vieux Rhin en aval du barrage de Kembs : Analyse géomorphologique temporelle et spatiale. Séminaire de doctorants en géomorphologie fluviale, Lyon, France.
- [2] BALLAIS, J.-L. (2011). La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables. France.
- [3] Bavard, J.-P. (1986). La basse vallée de l'Ain : dynamique fluviale appliquée à l'écologie. In Roux, A. L., éditeur : Documents de Cartographie Écologique, recherches interdisciplinaires sur les écosystèmes de la basse-plaine de l'Ain (France) : potentialités évolutives et gestion, volume 29, pages 17–43. CNRS éditions.
- [4] Bavard, J.-P. et Petit, F. (1997). Les cours d'eau, dynamique du système fluvial. Armand Colin. B
- [5] CHAPUIS, M. Mobilité des sédiments fluviaux grossiers dans les systèmes fortement anthropisés : éléments pour la gestion de la basse vallée de la Durance.

- [6] Chapuis, M. (2008). Contribution à l'étude du transport solide par charriage en conditions naturelles (torrent du Bouinenc, Alpes-de-Haute-Provence) : mise en place de la technique de traçage de particules par radio-identification. Mémoire de Master, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, France.
- [7] Corbonnois J, Jacquemot T, Giovannacci L, Beck. T et El Ghachi. M (2003). Les indicateurs de l'évolution actuelle des lits fluviaux. Étude de cours d'eau du Nord-Est de la France.
- [8] DEMAA. (2007). Manuel de restauration hydrogéomorphologique des cours d'eau.
- [9] ELGHACHI, M. (2007, novembre). La Seille : Un système fluvial anthropisé (Lorraine, France). Thèse de Doctorat de l'Université Paul Verlaine de Metz, discipline : Géographie, II. Metz, France.
- [10] GIRET A. (2007) : hydrologie fluviale, ellipses, 2007 (université géographie).
- [11] KHALLOU A. (2016) : la dynamique fluviale actuelle dans le bassin versant de l'oued M'hasser.
- [12] LABORDE, J. 2000. Elément d'hydrologie de surface. Nice France.
- [13] MEUNIER, P. (2004). Dynamique des rivières en tresses. PARIS, France.
- [14] TAOUS, A. (2005) : géomorphodynamique fluviale. Publication de la faculté des lettres et sciences humaines saïs-Fès série : « thèse et monographies » n° 11.