

ÂGE ET ORIGINE DE LA TERRASSE LIMONEUSE DE LA BASSE MOULOUYA (MAROC NORD-ORIENTAL)

A. Pissart^{1*} et T. Boumeaza²

(1) Prof. Em. Dépt de Géographie, Université de Liège, 29, rue Lavaux, 4130 Esneux, Belgique

(2) Université Hassan II, Mohammedia-Casablanca (Maroc), Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Département de Géographie, Laboratoire GESIA, 20800 Mohammedia

*Auteur correspondant. E-mail: A.pissart@ulg.ac.be

Résumé

Au cours de la dernière glaciation, quand le niveau marin était beaucoup plus bas qu'aujourd'hui le lit de la Moulouya était à -57 m, 3.5 km en amont de son embouchure actuelle. La remontée du niveau de la mer, qui a atteint son niveau actuel vers 7 ka cal BP, a fait apparaître une ria de 19 km de longueur qui a ensuite été colmatée par les sédiments fluviaux, déterminant la formation d'une épaisse terrasse limoneuse. La surface de cette dernière, que l'on suit sur plus de 45 km, surmonte de 22 m le lit actuel de la rivière à 20 km de l'embouchure. Cette terrasse de remblaiement est constituée de limons en couches horizontales bien stratifiées. Des terrasses d'érosion y ont été dégagées lors de l'encaissement de la Moulouya depuis 2000 ans. La datation ¹⁴C des limons permet de comprendre comment cette terrasse s'est déposée. Après la remontée du niveau de la mer, le comblement de la ria et l'avancée concomitante de l'embouchure ont accumulé progressivement les limons. L'arrivée d'une charge limoneuse importante autour de 7 ka cal BP est probablement d'origine climatique. Après 3.5 ka cal BP, l'intense érosion des sols déclenchée par la déforestation, le pâturage et la mise en culture a été à l'origine d'un nouvel apport important de sédiments. Depuis 1.9 ka cal BP, l'encaissement final de la Moulouya dans la terrasse résulte probablement d'une diminution des apports limoneux après que la plus grande partie du stock des matériaux meubles ait été emportée et que les cailloux accumulés à la surface aient limité l'érosion. Cet encaissement a aussi été amplifié par le rétrécissement du lit dès qu'une gorge a été formée dans les sédiments limoneux.

Mots-clés

Maroc, Holocène, remblaiement limoneux, terrasse fluviale

Abstract

At the end of the last glaciation when the sea level was much lower than today, the bed of the Moulouya River was at -57 m below sea-level ~3.5 km upstream of its present outlet. The Holocene sea level rise, reaching its present elevation around 7 ka cal BP led to the formation of a 19-km-long ria. Subsequently, this water inlet became plugged with sediments, while horizontally bedded fluvial loams filled the lower part of the valley. Today, these sediments constitute an aggradational terrace extending more than 45 km from the present river mouth. At a distance of 20 km inland, the terrace lies 22 m above the present channel. Erosional terraces were formed by incision of the Moulouya River since 2 ka. ¹⁴C dating allowed us to reconstruct how the sedimentation of the aggradational terrace occurred. Abundant silt delivery around 7 ka cal BP was probably of climatic origin. Then, after 3.5 ka cal BP, another sediment pulse likely resulted from enhanced soil erosion due to human activity. After 1.9 ka cal BP, the Moulouya started to incise within the terrace, probably because the stock of silty sediment was exhausted. Moreover, after the silts were gone, a soil pavement prevented significant further erosion. Incision was also promoted by the formation of a gorge in the silts and the consequent narrowing of the channel.

Keywords

Morocco, Holocene, valley filling, fluvial terrace

1. INTRODUCTION

En 1995, en relation avec les étroits contacts qu'André Ozer entretenait avec des collègues marocains, nous avons parcouru ensemble le terrain de thèse de l'un d'entre nous (T. B.). A l'époque, nous avons été loin de comprendre la morphologie si spectaculaire de la basse Moulouya. Depuis lors, A. Ozer a multiplié les contacts

et les voyages dans tout le Maroc. C'est pour rappeler cette activité internationale si fructueuse que nous faisons le point ici sur une des nombreuses questions auxquelles il s'est intéressé au cours de sa carrière. Vita-Finzi (1969) a montré que, tout autour de la Méditerranée, les vallées présentent des terrasses de remblaiement limoneuses qui témoignent de phases d'aggradation et d'érosion. A côté de terrasses de rem-

blaient datant sans doute du précédent interglaciaire, il décrit des remplissages qui contiennent des restes de poteries et auraient été dégagés comme terrasses au Moyen Age. Il pensait que ces phases de sédimentation et d'érosion s'étaient produites simultanément tout autour de la Méditerranée et il croyait y voir, il y a quarante ans, l'influence des fluctuations climatiques du Petit Age Glaciaire (1550 - 1850 AD).

Cette conclusion fut contestée par Butzer (1974) qui avait observé de nombreux remplissages antérieurs à cette époque et parfois même, mis en place 5 siècles avant J.C. Il proposa que l'Homme, en détruisant le couvert végétal naturel, aurait accéléré l'érosion et provoqué ainsi une sédimentation dans les fonds des vallées. En considérant des cours d'eau se jetant dans la Méditerranée, Brückner (1986) distingua quatre périodes d'accumulation dont seule la première aurait été déterminée par le climat et la hausse du niveau marin,

les trois autres résultant de périodes d'érosion catastrophique sur les versants causée par l'action humaine.

L'explication anthropique de Butzer a été défendue par la suite par Van Andel *et al.* (1990), qui ont observé en Grèce une série complexe de phases d'érosion et de remblaiement qu'ils ont mis en relation avec les conditions économiques et politiques locales. En 1991, Chester et James (1991), après des recherches en Algarve (Portugal), ont défendu la même opinion.

A partir d'une étude de la basse Moulouya, le présent article cherche à éclaircir les causes du remblaiement holocène et de l'incision récente des rivières se déversant dans la Méditerranée. Ecrit sur la base d'observations rassemblées dans la thèse présentée à l'Université de Liège par l'un de nous (T. Boumeaza, 2002), il apporte des informations originales par des données altimétriques précises des dépôts de la basse Moulouya et aussi des datations ^{14}C nouvelles.

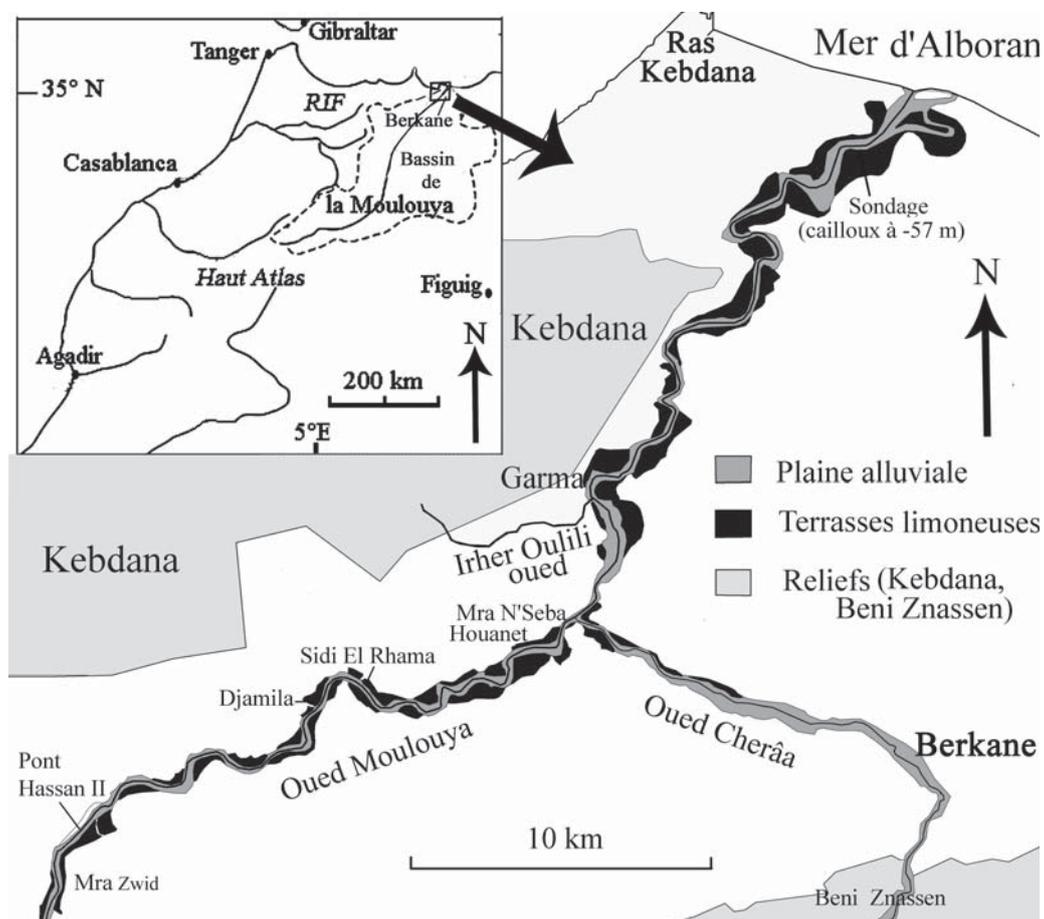


Figure 1. Localisation de la zone étudiée et du bassin de la Moulouya au Maroc.

2. LA MOULOUYA

La rivière Moulouya prend sa source au Maroc dans le Moyen Atlas à 1770 m d'altitude et a un bassin d'environ 53.000 km². Après un cours de 520 km, elle débouche dans la mer Méditerranée à 13 km de la frontière algérienne (fig. 1).

De 1982 à 1991, le débit annuel de la rivière a varié en-

tre 249 et 800 10⁶ m³ avec d'énormes différences selon les mois. Le débit maximum pour 24 heures a atteint 3731 m³/s tandis que le débit maximum instantané enregistré au barrage Mohamed V a été de 6429 m³/s le 16-11-1993. Des crues avec des débits de pointe extrêmement importants surviennent donc dans ce cours d'eau qui, d'autre part, a en été un très faible débit.

Un grand barrage, dénommé barrage Mohamed V et

situé à 75 km à vol d'oiseau de l'embouchure du cours d'eau dans la Méditerranée, avait une contenance de $988 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ lors de sa mise en service en 1961. Il retient les eaux d'un bassin de 50.000 km^2 . L'envasement rapide de ce barrage a permis d'estimer l'érosion du bassin à l'amont. Celle-ci a été calculée de deux manières différentes (Lahlou, 1994). Par la mesure des débits et de la charge en suspension, les apports annuels en suspension dans le barrage ont été estimés à $5.7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Les charges en suspension mesurées varient de rien pour les débits d'étiage jusqu'à 100 kg/m^3 pour les crues exceptionnelles comme celle de mai 1963. Une autre estimation de l'érosion a été obtenue par des profils mesurant le remblaiement du lac après 15 ans (de janvier 1961 à septembre 1975) et a indiqué un envasement moyen annuel de 9 millions de m^3 (Lahlou, 1994).

Nous considérerons dans le présent article les 48 km inférieurs de ce cours d'eau, pour lesquels nous avons disposé d'une carte topographique au 1/5.000 non publiée de l'O.R.M.V.A.M. (Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya) de Berkane. Cette carte couvre la vallée depuis le littoral jusqu'à Mechrâa Zouj à 1,4 km à l'amont du pont Hassan II, sur la RN. 27 (Nador-Berkane). Nous avons ainsi pu tracer avec précision le profil du lit mineur actuel ainsi que celui des terrasses. La figure 2 montre le profil que nous allons considérer dans le présent article.

Zarki *et al.* (2004) ont montré par des datations ^{14}C de charbon de bois dans les terrasses de la Moulouya que l'accumulation sédimentaire a commencé avant 5700 cal BP et s'est poursuivie un peu après 2300 cal BP. Cette étude a mis en évidence l'influence de la tectonique dans la basse Moulouya. A côté de séismes (structures de déformation sédimentaires attribuées à des tremblements de terre), un lit riche en NaCl a été mis en évidence. Ce niveau de 5 à 10 cm d'épaisseur a été observé dans les dépôts de la terrasse en quatre coupes en rive gauche de la Moulouya entre 5 et 20 km à l'amont de l'embouchure. Il se trouve à des niveaux de plus en plus élevés quand on se dirige vers l'amont et atteint 14.50m d'altitude absolue dans la coupe de Garma, à 19 km de l'embouchure. Pour expliquer la position de cette couche salée, les auteurs pensent qu'un soulèvement tectonique l'aurait élevée de près de 15 m depuis 5700 cal BP à Garma alors que le soulèvement aurait été très faible près de l'embouchure actuelle. Il s'agirait donc d'un basculement. Cette action tectonique aurait été fondamentale dans l'apparition de la grande terrasse limoneuse et de son incision ultérieure mais elle n'aurait pas été le seul phénomène en cause car auraient joué aussi le relèvement du niveau marin et les changements climatiques.

Plus récemment, Zielhofer *et al.* (2008), après avoir étudié entre autres un secteur de la Moulouya à 32 km de l'embouchure, montrent par des mesures ^{14}C que la sédimentation dans cette partie de la Méditerranée ne s'est pas produite à la fin de l'Holocène, mais bien avant. Ils ne parlent pas d'actions tectoniques (bien que

l'article de Zarki *et al.*, 2004, soit mentionné dans la bibliographie). Ils tentent surtout de mettre en relation les fluctuations climatiques observées dans l'Atlantique Nord avec les périodes d'activité fluviale et concluent que la dynamique fluviale a été plus importante pendant les périodes sèches. Ils se sont intéressés aussi aux dépôts de la rivière Kert, une autre vallée où existent des terrasses limoneuses et qui se jette dans la Méditerranée 25 km à l'ouest de Nador, soit à 76 km à l'ouest de l'embouchure de la Moulouya.

Une étude beaucoup plus détaillée des dépôts de la Kert a été publiée par El Amrani *et al.* (2008) en s'appuyant sur 16 datations ^{14}C de bois et de charbon de bois qui ont conduit à une chronologie des événements survenus dans les 30 km inférieurs de son cours. Il s'agit d'une rivière dont le bassin versant est beaucoup plus petit (2873 km^2) que celui de la Moulouya et dont la pente est beaucoup plus forte. A 30 km de son embouchure, le lit de la rivière Kert se trouve en effet à 150 m d'altitude alors que le lit de la Moulouya est, à la même distance de la mer, à seulement 15 m d'altitude. De ce fait, la Kert avec sa forte pente a subi des phases d'érosion et de sédimentation beaucoup plus brutales que celles survenues dans la vallée de la Moulouya. Etant donné toutefois la proximité de la Moulouya à laquelle nous consacrons cet article, les descriptions et datations de la vallée de la Kert (El Amrani *et al.* 2008) méritent d'être examinées avec attention.

Avant 8000 BP, la Kert s'est incisée sous un climat aride et chaud. De 8000 à 6600 B.P., une sédimentation importante s'est produite sous un climat plus humide et frais probablement à la suite d'une activité humaine précoce. De 6600 à 5300 B.P., la Kert s'est incisée sous un climat toujours humide mais plus chaud. De 5300 à 1400 BP à la suite des activités humaines et d'une aridification du climat, un dépôt limoneux massif et très épais s'est mis en place. Il a été incisé par la suite en laissant 3 niveaux de terrasse qui témoignent de périodes d'arrêt de l'érosion verticale. L'incision finale a été expliquée par un tarissement des apports solides, consécutif au décapage des sols par la forte érosion antérieure.

3. LA TERRASSE LIMONEUSE HOLOCÈNE DE LA BASSE MOULOUYA

3.1. Profil de la Moulouya

Avant de commenter le profil de la Moulouya (fig. 2 et 3), il est nécessaire de préciser comment il a été établi. Si on dessine un profil suivant l'axe du cours actuel du fleuve, on suit la pente du cours d'eau. Il est toutefois évident que des méandres libres sont présents, qui n'existaient pas ou au moins étaient différents au moment de la formation des terrasses et spécialement au moment du remblaiement qui a constitué la terrasse limoneuse. Le cours de la rivière surchargée devait avoir alors un tracé beaucoup plus rectiligne. En conséquence, il est préférable si on veut faire apparaître

la pente de la rivière au moment de la formation des terrasses de projeter les altitudes sur un profil qui suit l'axe de la vallée et ne tient pas compte des méandres libres. C'est ce profil (fig. 3) dont nous nous servirons dans le présent article. Le profil ainsi raccourci (de ~6 km) est modifié uniquement dans sa partie inférieure. Par rapport au profil de la figure 2, il montre une accentuation importante de la pente du lit actuel à 10 km de l'embouchure, accentuation non apparente dans le cours réel de la rivière. La modification résulte du fait que les méandres de la partie aval de la Moulouya n'ont plus été pris en compte. Si nous considérons la terrasse limoneuse supérieure, sa pente reste constante jusqu'à la mer et la pente plus faible de la terrasse dans les 15 km inférieurs du profil 2 disparaît. Le profil 3 est incontestablement plus proche de la réalité au moment où la terrasse limoneuse s'est constituée. C'est un profil quasi identique qui est utilisé dans l'article de Zarki et al. (2004). L'épaisseur de la terrasse limoneuse atteint 22.5 m près de Garma, 19 km en amont de l'embouchure de la rivière, là où la pente du cours d'eau actuel diminue. En amont, à Mechraâ Zwid, la terrasse limoneuse n'a plus que 5 m d'épaisseur car le lit de l'oued Moulouya est en partie incisé dans les conglomérats

pliocènes. Dans cette terrasse limoneuse ont été dégagées des terrasses d'érosion dont les altitudes sont dessinées en rive droite et en rive gauche (fig. 2 et 3). Trois niveaux peuvent être reconnus entre 15 et 18 km, mais seul le niveau supérieur permet des raccords de proche en proche entre 8 et 38 km à l'amont de l'embouchure. Les autres niveaux sont moins étendus. Deux terrasses locales correspondent au sommet du cailloutis pliocène qui apparaît dans le versant de la vallée en amont du km 22.

A 3.4 km de la mer, 9 sondages de reconnaissance ont été réalisés pour la construction d'un pont. Ils sont répartis régulièrement depuis la terrasse de rive gauche jusqu'à la terrasse de rive droite, soit sur une distance de 700 m. Ils ont montré des sables et graviers déposés par la Moulouya sur des marnes verdâtres à des profondeurs de 18 m à 47 m sous le niveau marin actuel. Le niveau de graviers le plus profond, qui n'a pas été traversé et dont on ne sait pas sur quelle formation il repose, a été trouvé à -57 m dans le sondage le plus oriental, en bordure de la terrasse de rive droite. Ces sables et graviers sont recouverts de limons et sables fins. La rivière passait en cet endroit à la fin de la dernière glaciation. Il y avait une accentuation de pente à partir

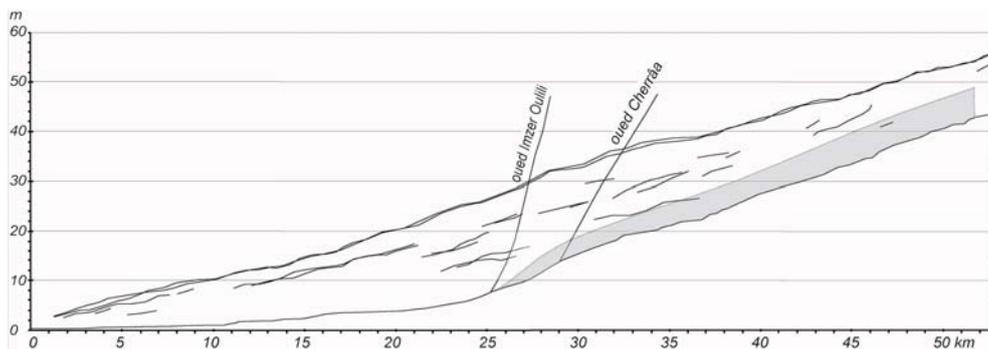


Figure 2. Profil de la Moulouya établi en suivant le cours de la rivière. Les profils sont souvent dédoublés car les terrasses des deux rives ont été figurées séparément. Le sommet de la grande terrasse limoneuse est représenté par le profil le plus élevé. La zone en gris figure la zone où des conglomérats pliocènes affleurent localement. Hauteurs exagérées 300 fois.

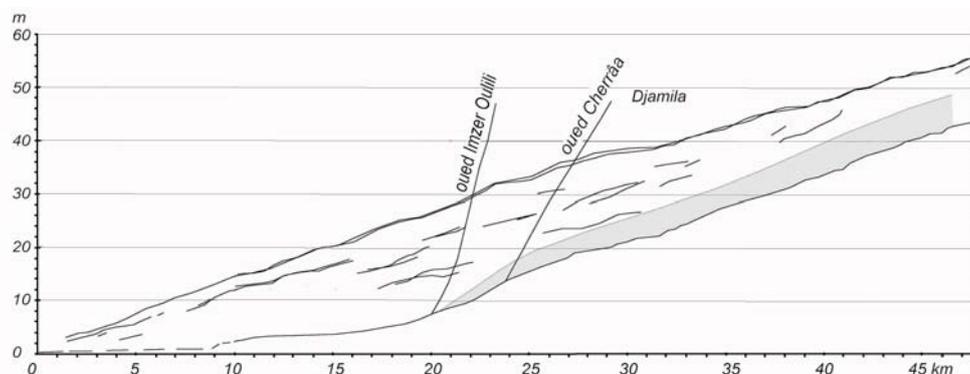


Figure 3. Profil des terrasses de la Moulouya en excluant l'allongement du cours actuel dû aux méandres libres (voir texte). Le profil de la rivière actuelle n'est donc plus correct pour les 10 km inférieurs, où il est dessiné en pointillés. Le profil est plus court d'environ 6 km par rapport à la figure 1 et la pente du sommet de la terrasse limoneuse est ainsi constante jusqu'à proximité de la mer. La zone en gris figure la zone où des conglomérats pliocènes affleurent localement. Hauteurs exagérées 300 fois.

de la confluence de l'Oued Cherrâa, sans doute en relation avec la charge plus grossière apportée par ce cours d'eau venant des Beni Znassen et les affluents de rive gauche descendant des Kibdâna.

La terrasse est essentiellement sablo-limoneuse. Toutefois sur quelques centaines de mètres à l'aval de la confluence avec l'Oued Cherrâa, quelques lentilles de cailloux sont présentes dans le remplissage limoneux. De même, au-dessus du lit actuel de la rivière, de part et d'autre de la confluence de l'Oued Irhzer Oulili, on observe des couches contenant également des cailloux (fig. 4).

3.2. Composition de la terrasse limoneuse

Par l'étude granulométrique des sédiments, Zarki *et al.* (2004) ont montré que, dans le secteur qu'ils ont étudié (de l'embouchure à 20 km), les dépôts sont plus sableux en rive droite qu'en rive gauche et présentent aussi de ce côté une stratification entrecroisée. Ils y voient la localisation du chenal principal de la Moulouya. Cette localisation nous paraît due aux apports plus importants apportés sur la rive gauche par les petits cours d'eau descendant des Kibdâna.

Dans le secteur de Djamila, 12 km en amont (à 33 km de l'embouchure), où l'épaisseur du dépôt limoneux est de 15 m, Zielhofer *et al.* (2008) distinguent trois séries de sédiments:



Figure 4. A la base de la terrasse, à 28,5 km de l'embouchure, vue des sédiments de la série 1 de Ibouhouten *et al.* (2008) et Zielhofer *et al.* (2008) avec des cailloux (flèche) et à la partie inférieure, des coquilles datées de plus de 14 ka BP.

1) à la base, de 250 à 560 cm, des couches sablo-limoneuses riches en humus qui représentent des dépôts de crue mis en place sur la plaine alluviale. Des restes néolithiques ont été trouvés dans cette séquence.

2) de 560 à 730 cm, le sédiment est plus fin et ne contient plus que 1 à 2% de sable. Des niveaux fins riches en charbon de bois et des débris de céramique y ont été observés.

3) de 730 à 1540 cm, une succession de strates extrêmement fines de dépôts silteux et argileux contient aussi des débris de céramique mais surtout des restes de charbon de bois qui ont permis des datations ^{14}C .

A environ 1.5 km à l'aval du site de Djamila, Ibouhouten *et al.* (2008) ne reconnaissent pas la formation intermédiaire décrite par Zielhofer *et al.* (2008). Ils distinguent deux unités sédimentaires à Sidi El Rhama (à 31.1 km de l'embouchure), soit des couches supérieures de limons puis, sur 5 m d'épaisseur, une alternance de couches caillouteuses et sablo-limono-argileuses (fig. 4).

Ibouhouten *et al.* (2008) soulignent l'affinement des particules sédimentées et des couches de la base vers le sommet de la terrasse limoneuse, avec toutefois des séquences épaisses à sédiments plus grossiers dans les niveaux moyens et supérieurs qui, d'après eux, montrent l'existence de crues plus importantes.

3.3. Les datations ^{14}C

La figure 5 montre la localisation des datations ^{14}C du tableau 1. Beaucoup de ces datations ont été publiées par Zielhofer *et al.* (2008) à partir de mesures sur des débris de charbon de bois. Des mesures ont également été effectuées sur les acides humiques de certains échantillons d'où proviennent les charbons de bois et les différences d'âge observées ont toujours été inférieures à deux siècles, les acides humiques donnant les âges les plus anciens. Les datations sur acides humiques n'ont pas été reprises dans notre tableau, ni dans nos figures. Toutes les datations signalées sur le dessin par des croix résultent de mesures sur des coquilles d'*Helix* réalisées gracieusement pour la thèse de T. Boumeaza au laboratoire du Professeur Vita-Finzi de l'University College of London. Elles sont reconnaissables par le fait que les écarts-types sont très importants (fig. 5). Ces datations à partir de carbonates sont aussi moins fiables que celles réalisées sur des charbons de bois. Toutes les transformations en âges calibrés ont été effectuées avec le programme online Calpal (Danzeglocke *et al.*, 2007).

Dans l'ensemble, les différentes datations sont cohérentes. Une datation est toutefois discordante: à 32.8 km, la date de 4008 ± 61 ne s'accorde pas avec les datations voisines (fig. 4).

Les valeurs obtenues pour les *Helix* proposent des âges dont les écarts-types sont de plusieurs centaines d'années. Ainsi, à 95% de confiance, l'intervalle associé à la date 4992 ± 745 (qui correspond à un âge non corrigé de 4450 ± 600) va de 3510 à 6337 cal BP. En tenant compte

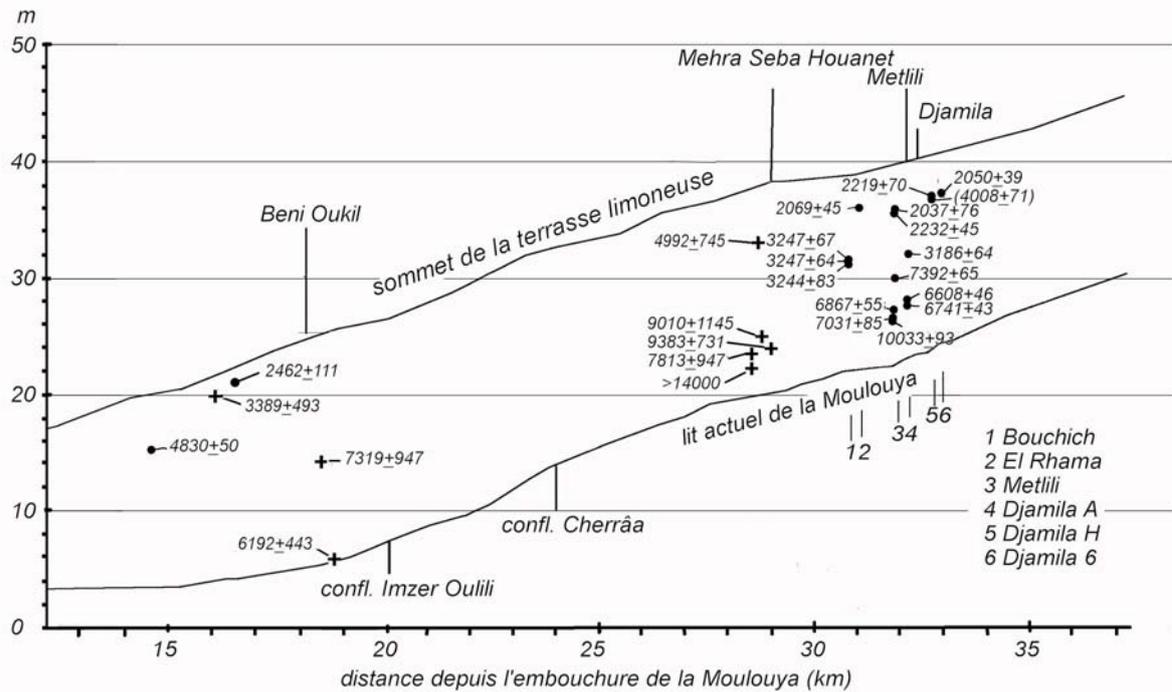


Figure 5. Profils du cours actuel de la Moulouya et du sommet de la terrasse limoneuse dans le secteur compris entre 13 km et 37 km en amont de l'embouchure du cours d'eau. Les points noirs localisent les datations exprimées en années cal BP et rassemblées dans le tableau 1. Les deux datations proches de l'embouchure (à 4.7 km) ne sont pas reportées car elles sont en dehors du secteur représenté.

d'un tel intervalle, la date fournie par cet échantillon parvient à s'accorder avec les dates obtenues à proximité. L'ensemble des datations montre que l'essentiel du remblaiement par-dessus le lit actuel de la Moulouya s'est accompli principalement après 6500 ans cal BP et qu'il était à son maximum dès ~2000 ans cal BP. Par comparaison, les dates que mentionne la thèse de Zarki, qui a travaillé dans les 30 km aval de la Moulouya, ont suggéré que l'accumulation sédimentaire avait commencé un peu avant 5700 BP. et s'était poursuivie un peu après 2300 BP. (Zarki, 1999).

La figure 6, qui reprend toutes les datations du tableau 1, montre bien la concentration temporelle des âges obtenus. Bien entendu, cette représentation est proba-

blement biaisée par la distribution de la localisation des prélèvements. Elle doit donc être examinée avec circonspection. Les dates sur cette figure sont reportées en années cal BP et les barres correspondent à un intervalle de 2σ , ce qui signifie que l'âge véritable de chaque échantillon a 95% de chance de se trouver dans l'intervalle qui le représente. Sur ce graphique les datations obtenues par l'étude des *Helix* apparaissent en gris. La grandeur des intervalles est telle que l'on ne peut guère tirer des conclusions intéressantes de ces datations.

Six datations dont les intervalles sont groupés entre 1906 et 2394 cal BP témoignent d'une période de sédimentation active qui s'est terminée vers 1900 BP. Un hiatus de près de 700 ans sépare ces datations des 5

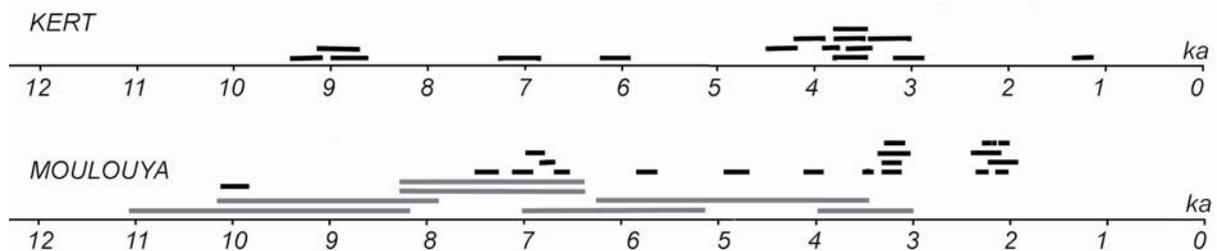


Figure 6. Distribution dans le temps de toutes les datations (en ka cal BP) disponibles pour la Moulouya (en bas, d'après les données de notre tableau 1) et pour la rivière Kert (en haut, d'après El Amrani et al., 2008, et Zielhofer et al., 2008). Les barres horizontales couvrent 2σ (intervalle de confiance à 95%). Les grands intervalles en gris donnés pour la Moulouya représentent les datations des *Helix*. La Kert, qui se jette dans la mer à 76 km de l'embouchure de la Moulouya, a subi les mêmes contraintes que la section aval de cette dernière rivière; la répartition des données dans la vallée de la Kert est figurée ici pour comparaison. L'étude de la rivière Kert montre une phase d'érosion importante entre 7100 et 6100 cal BP (El Amrani et al., 2008).

Tableau 1. Présentation de toutes les données ¹⁴C se rapportant à la Moulouya et considérées dans le présent article.

distance à l'embouchure en km (profil 2)	altitude relative (m)	matériau daté	datation publiée	datation (cal BP)	(1 σ) calibré	(2 σ) calibré	numéro de labo	référence
4.7	3.2	charbon bois	395±55 cal BC	2345±55	2289-2404	2217-2352	Ly-7070	Zarki et al. 2004
4.7	1.2	charbon bois	3750±55 cal BC	5700±55	5646-5755	5629-5848	Ly-7069	Zarki et al. 2004
14.5	10.8	charbon bois	2880±50 cal BC	4830±50	4790-4870	4675-4941	Ly-8114	Zarki et al. 2004
16.1	15.5	Helix	3150±200 BP	3349±252	3096-3601	2895-3882	UCL 439	Boumeaza 2002
16.5	16.6	charbon bois	2360±60 BP	1462±211	2350-2573	2242-2638	Beta 98533	Boumeaza 2002
18.7	3.4	Helix	6500±450 BP	7319±947	6860-7778	6368-8262	UCL 445	Boumeaza 2002
18.7	0.6	Helix	5400±400 BP	6192±443	5748-6635	5166-7013	UCL 442	Boumeaza 2002
28.5	10.3	Helix	6500±450 BP	7319±947	6860-7778	6368-8262	UCL 444	Boumeaza 2002
28.5	2.0	Helix	>14000 BP				UCL 441	Boumeaza 2002
28.6	12.6	Helix	4450±600 BP	4992±745	4246-5737	3510-6337	UCL 443	Boumeaza 2002
28.8	4.6	Helix	7900±500 BP	9010±1145	8284-9392	7865-10155	UCL 447	Boumeaza 2002
29.0	4.0	Helix	8350±600 BP	9383±731	8651-10114	8170-11076	UCL 449	Boumeaza 2002
30.8	8.3	charbon bois	3025±35 BP	3247±67	3182-3311	3112-3320	KIA 31006	Ibouhouten 2008
30.8	8.2	charbon bois	3025±35 BP	3247±64	3182-3311	3112-3320	KIA 30746	Zielhofer et al. 2008
30.8	8.0	charbon bois	3039±59 BP	3244±83	3161-3327	3060-3360	KIA 30742	Zielhofer et al. 2008
31.1	12.6	charbon bois	2095±30 BP	2069±45	2024-2114	2003-2155	KIA 30743	Zielhofer et al. 2008
32.0	11.5	charbon bois	2062±60 BP	2037±76	1961-2113	1906-2216	ErI 5886	Zielhofer et al. 2008
32.0	11.6	charbon bois	2219±62 BP	2232±75	2157-2307	2082-2394	ErI 5887	Zielhofer et al. 2008
32.0	6.6	charbon bois	6482±72 BP	7392±65	7327-7457	7258-7511	ErI 5888	Zielhofer et al. 2008
32.0	3.9	charbon bois	6020±40 BP	6867±55	6811-6922	6777-6981	KIA 31001	Ibouhouten 2008
32.0	3.4	charbon bois	6110±35 BP	7031±85	6945-7116	6902-7124	KIA 31002	Ibouhouten 2008
32.0	3-4	charbon bois	8880±35 BP	10033±93	9939-10126	9839-10128	KIA 31007	Ibouhouten 2008
32.3	8.0	charbon bois	2994±35 BP	3186±64	3122-3250	3075-3292	KN 5818	Zielhofer et al. 2008
32.3	4.5	charbon bois	5805±35 BP	6608±46	6562-6654	6524-6694	KIA 30745	Zielhofer et al. 2008
32.3	3.9	charbon bois	5920±35 BP	6741±43	6697-6784	6678-6844	KIA30740	Zielhofer et al. 2008
32.8	11.8	charbon bois	2170±20 BP	2219±70	2148-2289	2128-2287	KIA30748	Zielhofer et al. 2008
32.8	11.4	charbon bois	3670±35 BP	4008±61	3947-4069	3915-4107	KIA 30747	Zielhofer et al. 2008
33.0	12.3	charbon bois	2070±20 BP	2050±39	2011-2089	1998-2103	KN 5820	Zielhofer et al. 2008

datations comprises entre 3360 et 3075 et représente peut-être une période d'arrêt de la sédimentation.

Cinq datations de charbons de bois sont comprises entre 6562 et 7511 (extrêmes des intervalles de confiance) et correspondent clairement à une période de sédimentation importante. Enfin, on trouve un âge isolé à 10.000 ans cal BP.

Le parallélisme avec les datations ^{14}C dans la Kert est tout relatif. Ce n'est qu'entre 3.500 et 3000 cal BP que les périodes de sédimentation se superposent d'une manière satisfaisante.

Les sites archéologiques décrits dans les publications que nous avons consultées ne sont pas considérés ici. Beaucoup des datations qui y ont été réalisées concernaient des restes archéologiques et n'apportent aucune information relative à l'âge des dépôts.

4. LES VARIATIONS HOLOCÈNES DU NIVEAU MARIN

La terrasse limoneuse se poursuivant jusqu'à l'embouchure de la Moulouya, il convient de considérer le rôle du relèvement holocène du niveau de la mer dans son apparition. Pirazzoli (1991) a présenté une courbe d'évolution du niveau marin pour la Tunisie, à 1200 km de la Moulouya. Cette courbe montre une élévation de niveau de la mer à +1.3 m vers 5.5 ka puis, après un retour au niveau actuel, une nouvelle élévation très faible vers 3 ka. Plus récemment, Morhange et Pirazzoli (2005) indiquent pour la même région un niveau marin supérieur au niveau actuel et atteignant +1.86 m (± 11 cm) de 7 Ka à 5.5 Ka, puis un retour progressif au niveau actuel.

Sur la côte atlantique du Maroc, à 450 km à l'ouest de la Moulouya, Texier *et al.* (2008) observent une remontée rapide du niveau de la mer, dépassant le niveau actuel vers 9 Ka cal BP, suivie d'une stabilité jusqu'à moins de 4,5 Ka cal BP puis d'un abaissement jusqu'au niveau actuel.

A moins de 200 km au nord, sur la côte espagnole, Fernandez-Salas *et al.* (2003) proposent une courbe des variations du niveau marin de la mer d'Alboran sur la base d'une étude des dépôts prodeltaïques du Guadalquivir et du Guadalhorca. Cette courbe montre le maximum du niveau marin holocène il y a un peu moins de 7 ka BP., suivi d'une baisse, puis un nouveau maximum vers 4 Ka B.P., et enfin une diminution du niveau marin jusqu'à 1 ka BP.

Au total, si on connaît mal l'évolution du niveau de la mer à proximité immédiate de l'embouchure de la Moulouya, les observations régionales indiquent un niveau supérieur à l'actuel il y a environ 7000 ans, puis une baisse suivie d'un nouveau maximum moins élevé vers 4000 ans, et enfin un abaissement continu vers le niveau que nous connaissons aujourd'hui. Le niveau de la mer le plus élevé qui a été enregistré il y a 7 ka ne dépassait pas le niveau actuel de plus de 2 m.

5. LES VARIATIONS CLIMATIQUES HOLOCÈNES EN AFRIQUE DU NORD

La question est complexe en raison de l'étendue du bassin de la Moulouya qui couvre non seulement des régions en bordure de la Méditerranée mais aussi des parties élevées de l'Atlas marocain.

Théoriquement, le facteur principal qui contrôle l'érosion est la couverture végétale. Celle-ci exerce une influence déterminante en réduisant l'effet du splash, en maintenant la cohésion du sol par les racines, en conservant une teneur en humus qui maintient les agrégats du sol et en limitant l'importance de l'écoulement superficiel. La répartition des précipitations au cours de l'année a aussi de l'importance, spécialement pour les terrains cultivés qui sont sans couverture végétale pendant certaines périodes, mais le facteur essentiel est l'intensité des précipitations, en particulier quand elles tombent sur un sol très sec. L'humidification brutale du sol entraîne alors une désagrégation des matériaux superficiels en petites particules libérées par les micro-explosions que provoque l'air mis sous pression par la pénétration de l'eau capillaire. Ce processus prépare très efficacement les particules du sol à être emportées par le ruissellement et explique l'importante charge limoneuse des cours d'eau en région aride. Par ailleurs, il est bien difficile de faire la part, dans la charge en suspension de la rivière, des matériaux d'origines locale et éloignée. Une partie non négligeable de la charge d'amont est en effet retenue par la sédimentation de limons de crue dans le lit majeur. Ce stockage est toutefois beaucoup moins important si la rivière développe des chenaux anastomosés qui couvrent toute la plaine alluviale.

Malheureusement, le grand nombre des facteurs d'érosion, leurs interactions potentielles et la connaissance partielle des climats du passé rendent délicate la reconstruction de l'évolution de la charge en suspension des cours d'eau.

Sur la base d'analyses principalement palynologiques et sédimentologiques, et en utilisant la méthode des analogues actuels, les précipitations annuelles et les températures de janvier et de juillet ont été estimées d'après des sédiments extraits du lac Tigalmamine à ~50 km au sud de Fès, dans le Moyen Atlas (Damnati, 2007). La figure 7, qui rassemble ce qui est aujourd'hui connu comme la meilleure restitution climatique de l'Holocène au Maroc, donne une description des changements climatiques. Ces données mettent en évidence le changement qui s'est produit vers 6500 BP (5500 cal BP). Comme nous l'avons dit, il n'est pas aisé d'estimer l'impact de ces variations climatiques sur les dépôts fluviaux. L'essai actuellement le plus élaboré dans cette direction porte sur la rivière Kert (El Amrani, 2008).

6. DISCUSSION

6.1. Terrasses de limons de crue : où était le lit mineur pendant la sédimentation ?

La stratification horizontale en lits réguliers continus de

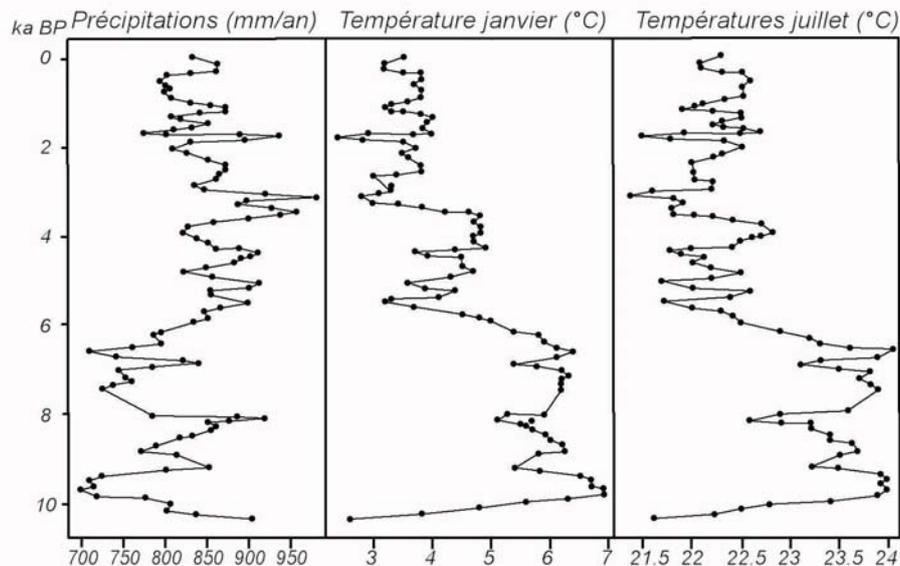


Figure 7. Estimation des précipitations annuelles et des températures de janvier et de juillet au cours de l'Holocène d'après les sédiments du lac Tigalmamine dans le Moyen Atlas à 50 km au sud de Fès (Damnati, 2007).

la terrasse limoneuse établit qu'il s'agit d'une accumulation de dépôts de crue sur le lit majeur de la rivière. Le lit mineur a été reconnu dans la partie inférieure de la basse Moulouya par Zarki *et al.* (2004) grâce à la granulométrie plus grossière des sables en rive droite de la rivière et aux stratifications entrecroisées qui se présentent dans ces sables. La localisation persistante du lit de la Moulouya à l'est de la plaine alluviale s'explique aisément par les apports sédimentaires importants des wadis qui descendent des Kibdana.

Plus en amont la localisation du lit mineur de la Moulouya n'a pas été reconnue. Le bloc-diagramme de la figure 8 montre cependant des chenaux contemporains de la sédimentation de la grande terrasse, comme l'établit la datation obtenue dans un chenal. Il est évident que la charge grossière, absente du chenal, était retenue en amont.

6.2. L'évolution holocène de la basse Moulouya

La figure 9 donne une vue générale de l'évolution holocène du profil longitudinal de la basse Moulouya en tenant compte de tous les faits décrits, à l'exception de la couche salée que Zarki *et al.* (1974) ont décrite dans les 20 km distaux de la rivière. Dans l'évolution de la Moulouya qui suit, nous ne pouvons pas expliquer cette couche qui a été observée seulement sur la rive gauche de la Moulouya en quatre endroits et qui paraît continue sur une distance de 20 km. Nous montrons par ailleurs qu'il est possible de rendre compte de toutes les autres observations sans l'intervention d'un soulèvement tectonique.

La figure 9 est établie en tenant compte principalement des datations ^{14}C . Seules les datations de charbons de bois sont prises en compte car les datations à partir des *Helix* sont trop incertaines. Sont localisées sur cette

figure les âges les plus importants pour le dessin des profils représentant l'altitude du remblaiement aux différents moments. Les trois dates de Zarki *et al.* (2004) à l'aval sont essentielles pour justifier les raccords proposés, spécialement celle de 5700 cal BP à 4.7 km de l'embouchure. L'ensemble de la figure montre que la hausse du niveau marin est la cause principale de l'origine de la terrasse limoneuse.

Il y a 10.000 ans, le niveau de la mer remontait mais il était encore plus de 50 m sous le niveau actuel. Les seules observations disponibles dans la partie aval de la vallée résultent de sondages réalisés à 3.5 km de l'embouchure actuelle de la rivière, où les premiers cailloux ont été observés à une altitude de -57 m. Le profil montrait alors une nette rupture de pente à partir de la confluence de la Cherrâa, qui apportait des cailloux depuis le massif des Beni Znassen, cailloux nécessitant une compétence plus grande de la Moulouya et imposant donc une pente plus forte de la rivière. La Moulouya recevait en outre un peu en aval de cette confluence des cailloux apportés par la dizaine de petits wadi de rive gauche qui drainent le massif montagneux des Kibdana. La présence de sédiments pliocènes dans le fond de la Moulouya en amont de la confluence de l'Oued Oulili atteste que la Moulouya n'était pas encaissée dans ce secteur.

Il y a 7000 ans, le niveau de la mer arrivait à environ 2 m au-dessus de son niveau actuel. Une ria était apparue sur 19 km de longueur dans l'entaille qui avait été dégagée pendant la dernière glaciation en raison de la baisse du niveau marin. Le remblaiement de cette ria a commencé évidemment avant que le niveau actuel de la mer n'ait été atteint. Vers 5000 ans BP, la ria devait déjà être presque entièrement colmatée au niveau de la mer, comme l'indique la datation de 5700 cal BP donnée par Zarki *et al.* (2004) à une altitude de 3 m au-dessus de la mer actuelle.

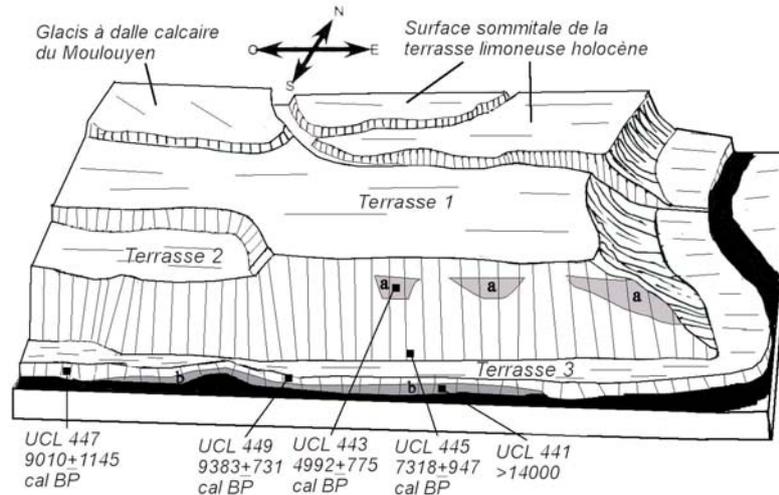


Figure 8. Bloc diagramme de la rive gauche de la Moulouya à Mra N'Seba Houanet, à 29 km de l'embouchure de la rivière. Les datations obtenues sur des Helix sont localisées. Le sommet de la terrasse limoneuse se trouve au NE. Trois terrasses d'érosion incisées dans la terrasse limoneuse sont indiquées. Le chenal où ont été prélevés les Helix de la datation UCL 443 n'est pas en relation avec la terrasse 1 comme l'indique l'âge ^{14}C obtenu.

Vers 2500 ans BP, le remblaiement était proche de l'embouchure actuelle de la Moulouya. A partir de ce moment, les sédiments amenés étaient emportés par la dérive littorale. L'extension des dépôts vers la mer a été freinée et le remblaiement a gagné seulement 2 km sur la mer. En raison de la pente plus faible apparue à l'amont, c'est là que la sédimentation s'est poursuivie. Enfin, sur le profil de la terrasse qui correspond à la situation du lit à la fin du remblaiement, apparaît une élévation qui traduit les apports de l'oued Cherrâa dont les dépôts ont constitué un barrage pour la Moulouya. Par la suite, après 1900 cal BP, la Moulouya s'est inci-

sée et son lit a pris son profil actuel en pente très douce sur les sédiments de la ria et en pente plus forte sur les sédiments pliocènes à partir de ~20 km de l'embouchure.

7. CONCLUSION

Si l'on accepte le schéma de l'évolution de la Moulouya donné sur la figure 9, on ne peut expliquer la disposition de la couche salée observée par Zarki *et al.* (2004). Des observations complémentaires seraient souhaitables, en particulier en amont du secteur de Garma, pour savoir

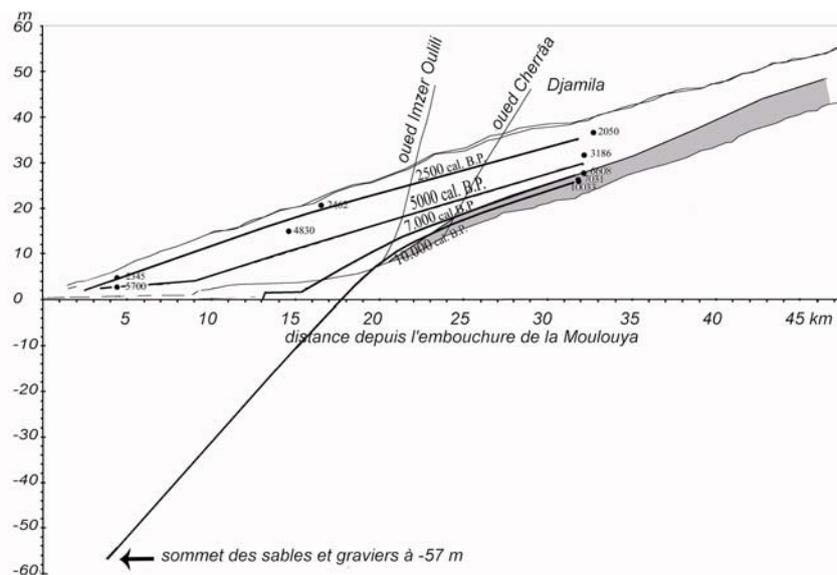


Figure 9. Profils d'évolution du remblaiement holocène de la vallée de la Moulouya. En traits épais, les profils successifs du sommet de la terrasse de la Moulouya d'après les datations ^{14}C . Le sommet des graviers à -57 m correspond au niveau de la Moulouya au moment où la mer est arrivée à cette altitude. Les poudingues et marnes pliocènes incisés par la Moulouya apparaissent en gris.

ce que devient cette couche à NaCl vers l'amont.

La figure 9 montre clairement que les dépôts limoneux qui constituent la terrasse se sont mis en place essentiellement à la suite de la remontée du niveau de la mer. Cela pouvait déjà être déduit du fait que semblable terrasse n'est pas connue en amont et existe seulement près de la mer. L'influence de la variation du niveau marin s'est traduite par l'apparition d'une pente faible à l'aval lorsque la ria s'est comblée. Cette diminution de pente a contrôlé la sédimentation. C'est donc le déplacement du point origine, c'est-à-dire de l'embouchure de la Moulouya, qui a provoqué la sédimentation (voir par exemple Macar, 1946). Le phénomène est compliqué ici par le fait que, quand la ria a été comblée, les sédiments ont été transportés par la dérive littorale et le dépôt n'a plus guère pu se poursuivre à l'aval. La sédimentation par contre a pu continuer en amont où la pente avait été diminuée.

Ces remblaiements paraissent s'être faits principalement en deux vagues contrôlées par la charge transportée par la Moulouya. La première, vers 7000 BP, s'est sans doute produite à la suite d'un changement climatique, comme le suggère l'érosion importante mise en évidence entre 6220 et 5300 cal BP dans la Kert voisine. La seconde période de sédimentation, entre 3500 et 1900 BP, s'est vraisemblablement produite à la suite de l'action anthropique. Il paraît vraisemblable que l'incision dans la terrasse qui est survenue après 1900 cal BP résulte d'une diminution de la charge de la rivière à la suite de l'épuisement du stock de matériaux fins, comme El Amrani *et al.* (2008) l'ont proposé pour la Kert. La couverture du sol par les cailloux laissés sur place par l'érosion a aussi pu diminuer l'importance des apports sédimentaires (Poesen *et al.*, 1994; Rieke-Zapp *et al.*, 2007).

Remerciements

Les datations ^{14}C des *Helix* ont été réalisées gracieusement dans le laboratoire du Professeur Claudio Vita-Finzi de l'University College of London. Le professeur J.-J. Macaire nous a envoyé un exemplaire de la thèse de Hamid Zarki présentée le 16 décembre 1999 à l'Université François Rabelais de Tours qui nous a été très utile. Nous avons suivi les nombreuses suggestions de Monsieur Alain Demoulin, éditeur du présent numéro du bulletin de la Société géographique de Liège, qui ont amélioré considérablement notre manuscrit. Nous remercions très vivement toutes ces personnes pour l'aide qu'ils nous ont généreusement accordée.

Bibliographie

Boumeaza, T., 2002. Le cours inférieur de la Moulouya : morphologie quaternaire, dynamique fluviale et morphologie côtière du littoral entre Kebdana et Saïda (Maroc oriental). Thèse inédite présentée le 21 mars 2002 à l'Université de Liège en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences, 340 p.
Brückner, H., 1986. Man's impact on the evolution of the

- physical environment in the Mediterranean region in historical times. *Geojournal*, 13 (1), 7-17.
Butzer 1974. Accelerated soil erosion: a problem of man-land relationships. In I.R. Manners and M.W. Mikesell (edit.) *Perspectives on Environments*. Association of American geographers, Washington. 395 p.
Cheddadi, H.F., Lamb, J., Guiot, J. et Van der Kaars, 1998. Holocene climatic change in Morocco: a quantitative reconstruction from pollen data. *Clim. Dyn.*, 14, 883-890.
Chester, K.D. et James, P.A., 1991. Holocene alleviation in the Algarve, southern Portugal: a case for an anthropogenic cause. *Journal of Archaeological Science*, 18, 73-87.
Dannati, B., 2007. Morocco. *Pages news (Past Global Changes)*, Vol. 15, n° 2, 35.
El Amrani, M., Macaire, J.J., Zarki, H., Breheret, J.G. et Fontugne M., 2008. Contrasted morphosedimentary activity of the lower Kert River (Northeastern Morocco) during the Late Pleistocene and the Holocene. Possible impact of bioclimatic variations and human actions. *Comptes Rendus Geosciences*, 340 (8), 533-542.
Fernandez-Salas, L.M., Lobo, F.J., Hernandez-Molina, F.J., Somoza, L., Rodero J., Diaz del Rio, V. et Maldonado, A. H., 2003. High-resolution architecture of the late Holocene highstand prodeltaic deposits from southern Spain: the imprint of high-frequency climatic and relative sea-level changes. *Continental Shelf research* 23 (11-13), 1037-1054
Ibouhouten, H., Mahjoubi, R., Mikdad, A., Kamel, S., Linstadter, J. Bussmann, J. et Zielhofer, C., 2008. Résultats préliminaires de l'étude géoarchéologique des dépôts fluviaux de la Basse Moulouya (Rif oriental, Maroc). *Actes RQM4, Oujda*, 2008, 62-68.
Lahlou, A., 1994. Envasement des barrages au Maroc. Edition Wallada, Casablanca, 286 p.
Macar, P., 1946. *Principes de géomorphologie normale*. Vaillant-Carmanne, Liège 304 p.
Morhange, C. et Pirazzoli, P.A., 2005. Mid-Holocene emergence of southern Tunisian coasts. *Marine geology*, vol. 220 (1-4), 205-213.
Pirazzoli, P. A., 1991. *World atlas of Holocene sea-level changes*. Elsevier Oceanic Series, 58, 300 p.
Poesen, J., Torri, D. et Bunte, J., 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena Suppl.* 23, 141-166.
Rieke-Zapp, D., Poesen, J. et Nearing, M.A., 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*. 32, 1063-1076.
Texier, J.P., Raynal, J.P., Lefèvre, D., Daugas, J.P. et Sbihi-Alaoui, F.Z., 2008. The Neolithic site of Rouazi, (Skhirat, Morocco): stratigraphic context and morphodynamic evolution of its littoral environment. *Quaternaire*, 19 (3), 239-247.
Van Andel T.H., Zangger, E. et Demitrac, A., 1990. Land use and soil erosion in prehistoric and historical Greece. *Journal of field archaeology*, 17, 379-396.
Vita-Finzi, C., 1969. *The Mediterranean valleys*. Geological changes in Historical Times. Cambridge University Press, 140p.
Zarki, H., 1999. Evolution de la sédimentation fluviale en Basse Moulouya (Maroc) au cours de l'Holocène. Thèse inédite présentée à l'Université François Rabelais-Tours pour l'obtention du doctorat de l'Université de Tours en Géologie de Surface, 370 p.
Zarki, H., Macaire, J.J., Beck, C. et De Luca, P., 2004. Morpho-sedimentary evolution of the lower Moulouya (Nord-Eastern Morocco) during middle and upper Holocene. *Seismicity and neotectonic effects*. *Geodinamica Acta*, Vol. 17 (3), 205-217.
Zielhofer C., Faust, D. et Lindstadter, J., 2008. Late Pleistocene and Holocene alluvial archives in the Southwestern Mediterranean: changes in fluvial dynamics and past human response. *Quaternary International*, 181, 39-54.

