

Effet de l'asynchronisme des crues sur l'ajustement des profils longitudinaux de tributaires du fleuve Moulouya, Maroc

Effect of flood asynchronicity on the adjustments of longitudinal profiles for tributaries of the Moulouya river, Morocco

Sylvio Demers, Susan Drejza et Thomas Buffin-Bélanger

Volume 23, numéro 4, 2010

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/045096ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/045096ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)

1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Demers, S., Drejza, S. & Buffin-Bélanger, T. (2010). Effet de l'asynchronisme des crues sur l'ajustement des profils longitudinaux de tributaires du fleuve Moulouya, Maroc. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 23(4), 335–347. <https://doi.org/10.7202/045096ar>

Résumé de l'article

Cet article examine l'effet des barrages sur le synchronisme des crues du fleuve Moulouya (Maroc) ainsi que les incidences sur l'ajustement morphologique de ses tributaires intermittents. Une analyse comparative des débits mensuels moyens enregistrés de part et d'autre des infrastructures de retenue montre une diminution du débit moyen de 52 % et une diminution des débits annuels maximaux de 33 %. Les fréquences des débits mensuels qui dépassent des seuils de 50, 75 et 100 m³·s⁻¹ sont respectivement diminuées de 55, 47 et 22 %. L'interception des eaux nivèle les variations intermensuelles et conduit à une homogénéisation du régime des débits (le coefficient d'immodération des valeurs médianes passe de 8,99 à 1,23). L'analyse de la coïncidence temporelle des crues indique que l'activation du tronçon principal à l'aval des infrastructures est indépendante des apports perçus à l'amont. La description de profils longitudinaux de tributaires situés à l'aval des infrastructures révèle plusieurs singularités morphologiques, tels des profils convexes, ruptures de pentes et formes d'accumulation perchées sur la plaine alluviale. Trois modèles d'ajustements morphologiques (convexe, mixte et par inondation) sont proposés pour expliquer ces singularités et reposent sur la nature du synchronisme hydrologique entre le tronçon principal et ses affluents. Le modèle d'ajustement convexe est lié à un type d'activation hydrologique synchrone (tronçon principal et tributaire actif) et permet d'expliquer la présence de profils convexes. Le modèle d'ajustement mixte est associé à une activation hydrologique asynchrone (tributaire actif et tronçon principal inactif) et explique l'incision et le prolongement de tributaires ainsi que des formes d'accumulation perchées sur la plaine alluviale. Enfin, le modèle d'ajustement par inondation (tronçon principal actif et tributaire inactif) rend compte des indices de mauvaise intégration tels que les ruptures de pente. Il est suggéré que l'effet d'asynchronisme des crues induit par les barrages est le principal facteur qui détermine le type d'ajustement morphologique des tributaires dans les environnements semi-arides.

EFFET DE L'ASYNCHRONISME DES CRUES SUR L'AJUSTEMENT DES PROFILS LONGITUDINAUX DE TRIBUTAIRES DU FLEUVE MOULOUYA, MAROC

Effect of flood asynchronicity on the adjustments of longitudinal profiles for tributaries of the Moulouya river, Morocco

SYLVIO DEMERS¹, SUSAN DREJZA¹ et THOMAS BUFFIN-BÉLANGER¹

¹Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, 300, allée des Ursulines,
Rimouski (Québec), Canada G5L 3A1

Reçu le 17 décembre 2008, accepté le 7 janvier 2010

RÉSUMÉ

Cet article examine l'effet des barrages sur le synchronisme des crues du fleuve Moulouya (Maroc) ainsi que les incidences sur l'ajustement morphologique de ses tributaires intermittents. Une analyse comparative des débits mensuels moyens enregistrés de part et d'autre des infrastructures de retenue montre une diminution du débit moyen de 52 % et une diminution des débits annuels maximaux de 33 %. Les fréquences des débits mensuels qui dépassent des seuils de 50, 75 et 100 m³•s⁻¹ sont respectivement diminuées de 55, 47 et 22 %. L'interception des eaux nivèle les variations intermensuelles et conduit à une homogénéisation du régime des débits (le coefficient d'immodération des valeurs médianes passe de 8,99 à 1,23). L'analyse de la coïncidence temporelle des crues indique que l'activation du tronçon principal à l'aval des infrastructures est indépendante des apports perçus à l'amont. La description de profils longitudinaux de tributaires situés à l'aval des infrastructures révèle plusieurs singularités morphologiques, tels des profils convexes, ruptures de pentes et formes d'accumulation perchées sur la plaine alluviale. Trois

modèles d'ajustements morphologiques (convexe, mixte et par inondation) sont proposés pour expliquer ces singularités et reposent sur la nature du synchronisme hydrologique entre le tronçon principal et ses affluents. Le modèle d'ajustement convexe est lié à un type d'activation hydrologique synchrone (tronçon principal et tributaire actif) et permet d'expliquer la présence de profils convexes. Le modèle d'ajustement mixte est associé à une activation hydrologique asynchrone (tributaire actif et tronçon principal inactif) et explique l'incision et le prolongement de tributaires ainsi que des formes d'accumulation perchées sur la plaine alluviale. Enfin, le modèle d'ajustement par inondation (tronçon principal actif et tributaire inactif) rend compte des indices de mauvaise intégration tels que les ruptures de pente. Il est suggéré que l'effet d'asynchronisme des crues induit par les barrages est le principal facteur qui détermine le type d'ajustement morphologique des tributaires dans les environnements semi-arides.

Mots clés : Barrage, synchronisme, ajustement morphologique, impact hydrologique, tributaires, Maroc.

*Auteur pour correspondance :

Téléphone: 418 723-1986 poste 1733

Télécopieur: 418 724-1849

Courriel : sylviodemers@hotmail.com

ABSTRACT

This paper looks at the effect of dam impoundments on the flood synchronicity of the Moulouya River (Morocco) and its consequences on the morphological adjustments of its ephemeral tributaries. The comparative analysis of monthly discharges measured upstream and downstream of the dams shows a diminution of 52% of mean discharges and a diminution of 33% of annual maximum discharges. The frequencies of discharges reaching 50, 75 and 100 m³•s⁻¹ values are respectively reduced by 55, 47 and 22%. Monthly variations are levelled and this leads to a homogeneous discharge regime (coefficient of immoderation for median values decreases from 8.99 to 1.23). Flood coincidence in time is assessed and shows that downstream discharges are independent of upstream discharges. The description of longitudinal profiles of tributaries downstream of the dams reveals morphological singularities such as convex profiles, perched accumulation forms on the alluvial plain and knickpoints. Three models of morphological adjustments (convex, mixed and by flooding) based on the synchronicity of floods between the main channel and its tributaries are proposed to explain these morphological observations. The convex adjustment model occurs when floods are synchronous and explains the observation of convex profiles. The mixed adjustment model occurs when tributaries are flooded and the main channel remains to its base level and explains morphological forms such as scouring of tributaries or perched accumulation forms on the alluvial plain. Finally, the model of adjustment by flooding occurs when the main channel is activated and the tributaries remain inactive and explains knickpoints and the lack of integration observed at the mouths of the tributaries. Asynchronous flooding induced by dam impoundments is proposed as the main factor affecting tributary adjustments in semi-arid environments.

Key words: *Dam, tributary, synchronism, morphological adjustments, hydrologic impact, Morocco.*

1. INTRODUCTION

Le Maroc nord-oriental est soumis à un climat semi-aride caractérisé par une forte disparité spatio-temporelle de la pluviométrie. Cette irrégularité se traduit par de longues périodes de sécheresse ponctuées par des épisodes de précipitations souvent intenses. Pour optimiser la gestion de la ressource en eau, le Maroc a adopté une politique des barrages en 1967 concrétisée par la construction de plus d'une centaine d'ouvrages de retenue d'eau (AGOSSINE et BOUCHAOU, 2004 et SECRÉTARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DE L'EAU, 2007). Ceux-ci permettent de générer une ressource hydroélectrique, de contrôler les crues et d'optimiser l'utilisation de la ressource

en eau pour l'irrigation ou les usages domestique et industriel. Le fleuve Moulouya a été visé par la politique de harnachement et présente aujourd'hui un vaste réseau de barrages répartis sur l'ensemble du bassin versant. Le harnachement des cours d'eau en milieu semi-aride a toutefois des impacts significatifs sur le transit des débits liquides et solides dans le système fluvial. Des études ont investigué l'impact des infrastructures de retenue sur la réponse hydrologique et sédimentaire de la basse Moulouya (SNOUSSI *et al.*, 2002), les répercussions sur ses habitats (SNOUSSI, 2005) ainsi que le recul du delta à l'embouchure du fleuve (BOUMEAZA, 1998).

Le synchronisme des crues a des incidences directes sur le niveau de base auquel les tributaires se connectent et s'ajustent (BOYER *et al.*, sous presse; GERMANOVSKI et RITTER, 1988). Lors de l'activation du réseau fluvial secondaire, le niveau de base des affluents est effectivement abaissé si le tronçon fluvial est maintenu à l'étiage. Ainsi, le synchronisme des crues du réseau de drainage peut être compromis par les infrastructures de retenue. L'interception des eaux par les barrages a pour conséquence de rompre le lien entre l'activation hydrologique par les précipitations et la réponse hydrologique du système fluvial en aval des infrastructures. KELLERHALS (1982) a relevé l'existence de rivières dans l'Ouest canadien dont le cours a été prolongé de plusieurs centaines de mètres pour compenser la baisse du niveau de base du réseau fluvial harnaché. La réponse morphologique d'un tributaire à l'abaissement du niveau de base se traduit par une incision qui se propage progressivement vers l'amont (BEGIN *et al.*, 1981; SCHUMM, 1973). Le profil transitoire présente alors une forme convexe qui, en l'absence de pavage ou de lithologie contraignante, s'estompe par érosion régressive. La perte de synchronisme des crues a donc une incidence sur l'activation morpho-sédimentaire et le transport de sédiments par les tributaires acheminés vers l'embouchure (BOYER *et al.*, sous presse; KELLERHALS, 1982).

Le synchronisme des crues en milieu semi-aride revêt une importance fondamentale. En raison de l'intermittence du réseau fluvial secondaire, l'ajustement des tributaires est un processus discontinu rythmé par les événements de crue (TOOTH, 2000). Cette condition se traduit par une sensibilité de la morphologie des tributaires par rapport aux circonstances spécifiques à l'événement de crue. L'ajustement morphologique du tributaire, tel que décrit pour les écoulements pérennes, peut difficilement se produire si le niveau de base n'est pas soutenu et qu'il varie à l'échelle événementielle. THORNES (1977) a proposé trois scénarios hydrométéorologiques basés sur la distribution des précipitations dans le bassin versant qui traduisent le type d'activation hydrologique du réseau fluvial en milieu semi-aride : 1) un écoulement complètement intégré à la manière des systèmes fluviaux pérennes; 2) un écoulement asynchrone où l'écoulement d'un tributaire rejoint un tronçon principal inactif; et 3) un écoulement axial où seul

le tronçon principal est activé. L'activation hydrologique du réseau de drainage en milieu semi-aride peut donc se présenter simultanément avec des degrés variables d'intégration selon la distribution spatiale des précipitations dans le bassin versant. Chaque scénario hydrométéorologique conduit à un niveau de base variable pour l'ajustement morphologique des tributaires au tronçon principal. Ainsi, la morphologie des tributaires s'ajustera en définitive selon les circonstances déterminées par le scénario hydrométéorologique.

L'incidence des barrages sur l'ajustement morphologique des tributaires en milieu semi-aride se mesure donc moins par l'abaissement du débit de base que par son effet d'asynchronisme hydrologique. Dans ce sens, le premier objectif de cet article vise à décrire spécifiquement l'impact des infrastructures sur le synchronisme des crues dans le bassin de la Moulouya afin de déterminer l'impact réel sur le niveau de base effectif des tributaires. Les incidences morphologiques des scénarios hydrométéorologiques sur l'ajustement des tributaires n'ont jamais été entièrement explorées. Le second objectif est de conceptualiser ces incidences à l'aide de modèles morphologiques qui décrivent les possibilités d'ajustement des tributaires. Des profils longitudinaux relevés sur les affluents à l'aval des infrastructures du fleuve Moulouya fournissent des exemples pour illustrer chacun des modèles.

2. SITE D'ÉTUDE : LA BASSE MOULOUYA

Le fleuve Moulouya est situé dans la partie nord-orientale du Maroc et il se jette dans la mer Méditerranée (Figure 1). Il s'agit du plus grand cours d'eau du pays, avec une superficie drainée de 53 500 km² (SNOUSSI *et al.*, 2002). L'étude s'attarde à la basse Moulouya, soit à partir des infrastructures de retenue jusqu'à son embouchure dans la mer Méditerranée. À l'aval des infrastructures de retenue, la Moulouya s'incise dans des gorges de roches calcaires (RAYNAL, 1961) et son parcours est rectiligne, contrôlé structurellement par la roche en place (Figure 2a). À la sortie des gorges, la vallée s'élargit progressivement et le fleuve coule dans ses alluvions. La réduction progressive des contrôles lithologiques permet au fleuve de décrire une sinuosité croissante vers l'aval (Figure 2b). La plaine alluviale actuelle est encaissée à l'intérieur de terrasses ou lambeaux de terrasses composés de limons quaternaires. Les affluents sont incisés dans les terrasses et ont la possibilité de s'ajuster rapidement et sans contrainte au tronçon principal.

À ce jour, quatre grands barrages ainsi que plus de 40 petits barrages et lacs collinaires ont été construits dans le bassin de la Moulouya. Deux grands barrages, Mechra Homadi (1956) et Mohamed V (1967), sont localisés sur le tronçon principal de

la Moulouya dans la partie aval du bassin (Figure 1). Le barrage Mohamed V, en amont, stocke une grande quantité d'eau pour réguler le débit et pour la production hydroélectrique. Le barrage de Mechra Homadi, en aval, sert de barrage de compensation et permet de redistribuer jusqu'à 35 m³•s⁻¹ d'eau en direction des périmètres irrigués par des canaux situés sur les rives du fleuve. Il n'y a présentement aucun débit réservé écologique pour la basse Moulouya (SNOUSSI, 2005). Le barrage de Mechra Homadi retient intégralement les apports d'eau, sauf lors de lâchers ponctuels effectués pour favoriser le désenvasement du bassin ou pour évacuer les surplus d'eau lors de crues majeures. Par conséquent, le niveau de base de la basse Moulouya est exclusivement alimenté par les résurgences d'eau et les apports d'affluents en aval des infrastructures. La diminution du débit liquide moyen en réponse à l'utilisation des ouvrages de retenue est de l'ordre de 47 % (SNOUSSI *et al.*, 2002). Compte tenu de la localisation des infrastructures de retenue à la sortie du bassin versant et de la quasi-absence de tributaires majeurs en aval des ouvrages, cette diminution se répercute sur toute la basse Moulouya jusqu'à son embouchure. Des pluies courtes et intenses, conjuguées à une végétation éparse et un taux de dénudation élevé, favorisent la mobilisation des sédiments et leur acheminement en masse dans le réseau fluvial. Les structures de harnachement piègent ces sédiments et subissent par conséquent un envasement rapide et sévère qui diminue de manière drastique la capacité de rétention des barrages. Ainsi, la capacité du barrage de Mechra Homadi est passée de 42 à 4 Mm³ entre 1957 et 2002 et celle du barrage Mohamed V de 726 à 331 Mm³ entre 1967 à 2002. En raison de la vitesse de comblement de 1,5 à 2 % par an du volume de retenue, l'espérance de vie du barrage Mohamed V a été évaluée à 59 ans (LAHLOU, 1996 cité par SNOUSSI *et al.*, 2002) et sa capacité utile devrait être réduite à zéro en 2020 (PLAN NATIONAL D'AMÉNAGEMENT DES BASSINS VERSANTS, 1994, cité par SNOUSSI, 2005). Le piégeage des sédiments conduit à une diminution de 93 % des apports normaux de sédiments dans le système fluvial (SNOUSSI *et al.*, 2002). La basse Moulouya ainsi que le littoral proche de l'embouchure doivent donc composer avec un apport en sédiment quasi nul. Par conséquent, le chenal harnaché est actuellement en cours d'incision et le delta à l'embouchure a subi un recul sévère depuis l'installation des infrastructures (BOUMEAZA, 1998; SNOUSSI *et al.*, 2002; SNOUSSI, 2005).

3. MÉTHODOLOGIE

L'analyse des impacts hydrologiques utilise les séries hydrologiques de deux stations de jaugeage situées de part et d'autre des infrastructures de retenue : la station de Melg Elouidane (amont) et celle de Saf Saf (aval). Les séries de débits disponibles sont les débits mensuels moyens (m³•s⁻¹) de 1963 à

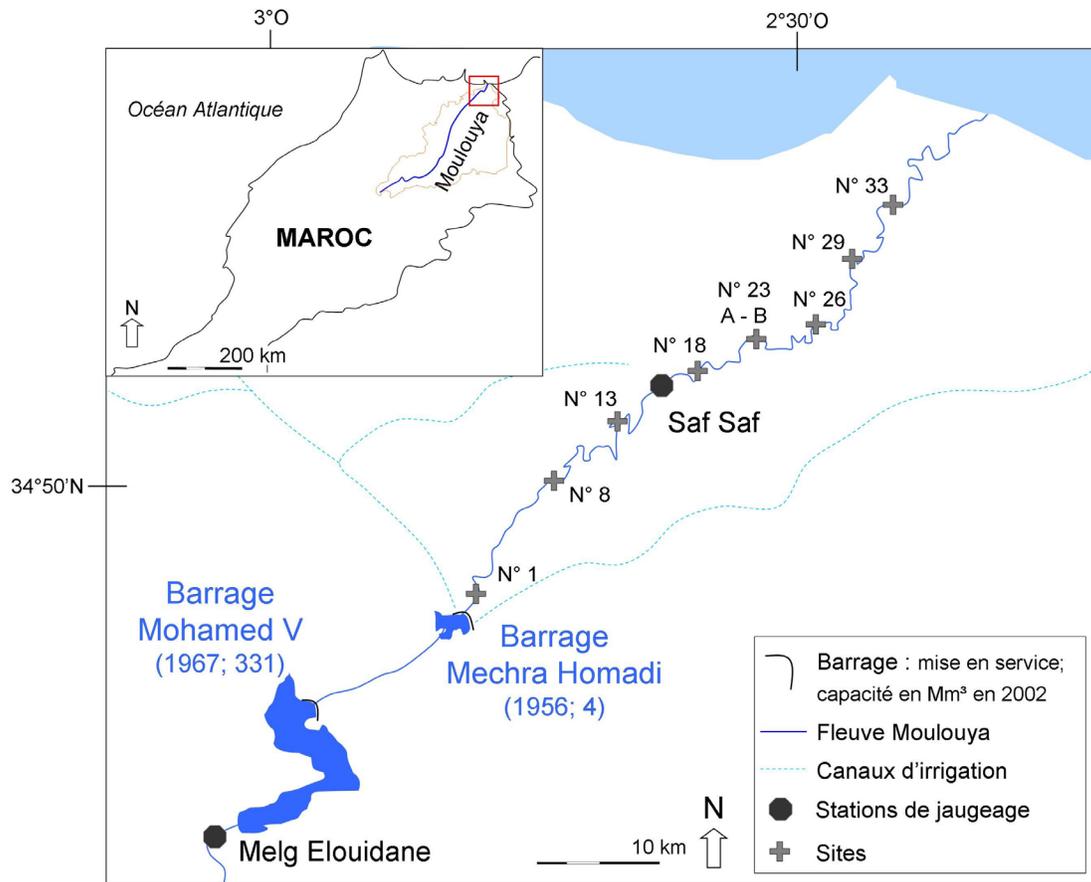


Figure 1. Le bassin versant et le tracé fluvial de la basse Moulouya. Les barrages, stations de jaugeage ainsi que les sites de mesure sont localisés sur le tracé fluvial.
The Moulouya watershed and the main stream network of the lower Moulouya River. The dams, water gauges and site measurements are located along the river network.

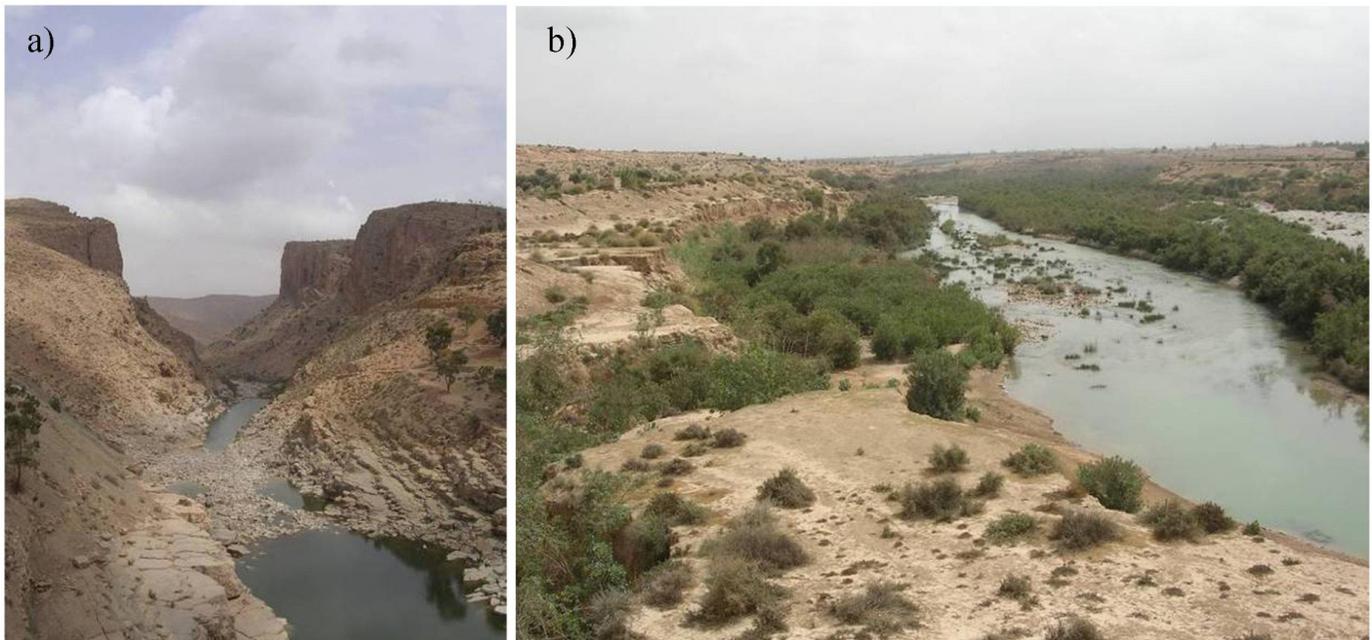


Figure 2. Le fleuve Moulouya : a) dans les gorges et b) dans sa plaine alluviale.
The Moulouya River: a) in the gorges and b) in the alluvial plain.

2001 (amont) et de 1970 à 2002 (aval), soit pour une période de temps postérieure à l'installation des infrastructures de retenue. Cependant, les stations de jaugeage sont distantes de 75 km et aucun tributaire pérenne significatif ne se joint au tronçon principal entre elles. Par conséquent, l'écart hydrologique mesuré entre les deux stations de jaugeage est principalement attribuable à l'effet des barrages. L'analyse s'attarde d'abord aux valeurs moyennes et médianes, ainsi qu'aux valeurs minimales et maximales annuelles pour l'ensemble des périodes de mesure. En raison de la faible résolution temporelle des mesures (débits mensuels moyens), les débits annuels minimaux et maximaux sont tous deux des substituts pour l'analyse respective du débit d'étiage et de l'intensité des crues. Ensuite, la variabilité annuelle des débits moyens et médians est analysée et confrontée aux données de précipitations survenant à l'amont des barrages (SECRÉTARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DE L'EAU, 2009). L'impact des barrages sur les régimes annuels est mesuré par l'utilisation du coefficient d'immodération mesurant l'écart entre le débit mensuel maximal et le débit mensuel minimal (ASSANI *et al.*, 2002). Finalement, les séries de débits mensuels moyens sont confrontées sur une base événementielle où leur nombre et leur synchronisme dans le temps sont observés. Cette analyse à l'échelle mensuelle ne doit pas être confondue avec l'échelle des événements de crue. Néanmoins, il est suggéré que les deux sont liées et que l'analyse des événements mensuels est également un substitut pour l'analyse des événements de crue.

Une campagne de terrain a été effectuée entre le 1^{er} et le 20 septembre 2007 pour décrire l'ajustement morphologique des tributaires. Des observations sur la morphologie et des profils longitudinaux ont été réalisés sur huit affluents de la Moulouya à leurs lieux de confluence. Les sites ont été sélectionnés pour obtenir une bonne représentativité du segment fluvial de la Moulouya ainsi que pour leur accessibilité (Figure 1). Les profils en long ont été relevés à l'aide d'un ruban à mesurer et d'un clinomètre. Pour chaque profil, deux valeurs de pente ont été calculées. Afin d'intégrer l'influence de la taille

de l'oued, la longueur utilisée pour le calcul de la pente a été normalisée en fonction de la largeur estimée des tributaires. Les calculs ont été effectués sur une distance de cinq fois la largeur minimale et maximale des affluents. L'écart entre les valeurs de pente permet d'apprécier la forme du profil observé. Par ailleurs, des profils transversaux de la vallée de la Moulouya ont été mesurés à l'aide de cartes topographiques à l'échelle 1:50 000 (l'équidistance des courbes de niveau est égale à 10 m). La forme de la vallée permet de mettre en contexte l'information des profils longitudinaux de chaque affluent.

4. RÉSULTATS

4.1 Impacts hydrologiques

Le tableau 1 résume les impacts hydrologiques par la comparaison des valeurs moyennes et médianes enregistrées aux stations de jaugeage en amont et en aval. Le module annuel et les débits maximaux annuels sont plus faibles à l'aval avec des écarts respectifs de 52 % et 33 % pour les valeurs moyennes et de 56 % et 48 % pour les valeurs médianes. La diminution des débits annuels maximaux moyens suggère une diminution de l'intensité des pics de crue ou, à tout le moins, un nivellement des plus hautes eaux. Les débits annuels minimaux médians sont marqués par une hausse de 100 % à l'aval par rapport à l'amont (2,4 à 4,8 m³•s⁻¹). Cette hausse est vraisemblablement attribuable à la contribution de la nappe souterraine située entre les deux stations de jaugeage qui permet le maintien d'un débit de base plus élevé en aval (SNOUSSI, 2005). Ainsi, le barrage de retenue a un impact net négatif sur le transfert des débits liquides. Cet abaissement est plus ou moins sévère selon la saisonnalité des précipitations (Figure 3a). Les régimes hydriques annuels, construits à partir des données moyennes (Figure 3b), présentent un bon synchronisme avec

Tableau 1. Écarts des débits enregistrés entre les stations de jaugeage de Melg Elouidane (amont) et Saf Saf (aval).
Table 1. Deviations (%) between discharges (m³•s⁻¹) recorded at the Melg Elouidane (upstream) and Saf Saf (downstream) gauging stations.

	Amont	Aval	Écarts (%)
Module moyen/médian	25,4 / 13,4	12,3 / 5,9	-51,6 / -56
Maxima annuels moyens/médians	81,4 / 70,2	54,8 / 36,3	-32,7* / -48,3*
Minima annuels moyens/médians	4,6 / 2,4	4,5 / 4,8	-2,2** / +100**

Différence significative selon un test U avec un seuil de 0,05* et 0,01**

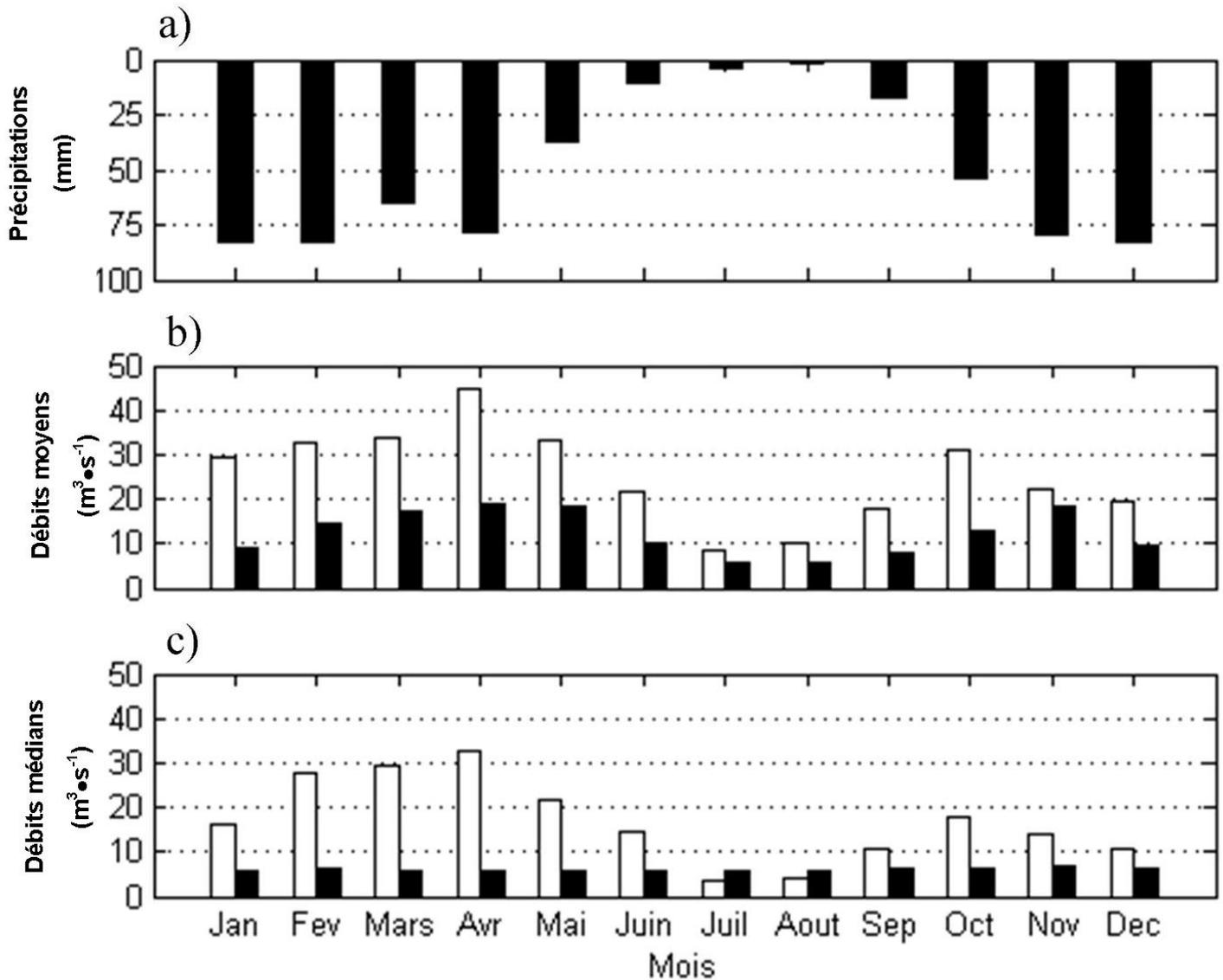


Figure 3. a) Précipitations mensuelles moyennes mesurées à la localité de Taza et le régime des débits pour les stations en amont (blanc) et en aval (noir) selon (b) les valeurs moyennes et (c) médianes.

a) Mean monthly precipitations measured at Taza and streamflow regimes for the upstream (white) and downstream (black) for (b) mean and (c) median values.

les précipitations. Les débits en aval sont systématiquement inférieurs aux débits en amont, mais l'écart entre les deux stations est plus marqué pendant les périodes pluvieuses et moindre pendant les périodes sèches. Pour la série des données médianes, une perte marquée de synchronisme survient entre les deux stations de mesure (Figure 3c). En amont, la variabilité annuelle est toujours présente, mais celle-ci disparaît complètement en aval où le régime hydrique présente une quasi parfaite homogénéité. Le coefficient d'immodération passe de 5,13 (amont) à 3,44 (aval) pour les débits mensuels moyens et de 8,99 (amont) à 1,23 (aval) pour les débits mensuels médians. Le régime annuel passe donc d'un régime naturel (amont) à un régime homogénéisé (aval).

La figure 4 illustre les séries de débits mensuels moyens des stations amont et aval pour la période d'observation 1969-2001. L'impact des barrages est perceptible par le nivellement souvent total des fluctuations observées en amont. Ces fluctuations sont réduites à un niveau de base, faible mais soutenu, parfois ponctué par des valeurs de plus hauts débits (~ 50 à $300 m^3 \cdot s^{-1}$). La fréquence des valeurs qui franchissent le seuil de $50 m^3 \cdot s^{-1}$ est diminuée de 55 % en aval par rapport à l'amont des barrages (14 vs. 31). Cette diminution est de 47 % pour un seuil de $75 m^3 \cdot s^{-1}$ (9 vs. 17) et de 22 % (7 vs. 9) pour un seuil de $100 m^3 \cdot s^{-1}$. Ainsi, l'impact est plus ressenti pour les faibles valeurs, lesquelles sont également les plus fréquentes. Indépendamment de la fréquence des

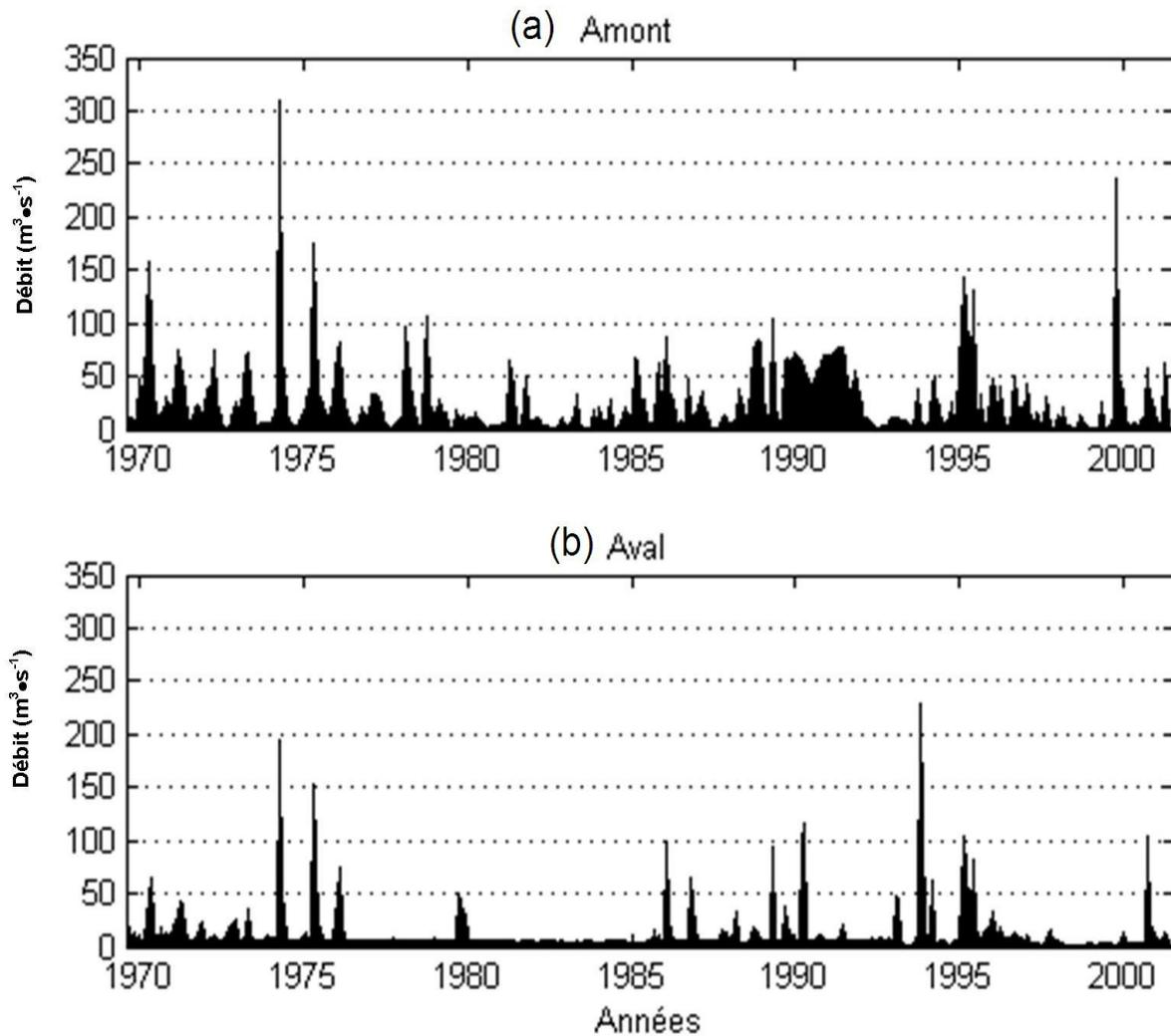


Figure 4. Débits mensuels moyens pour la période de 1969 à 2001 pour les stations de (a) Melg Elouidane (amont) et (b) Saf Saf (aval).
Mean monthly discharges for the 1969-2001 period at the (a) Melg Elouidane (upstream) and (b) Saf Saf (downstream) gauging stations.

valeurs de débits moyens enregistrés, la coïncidence entre l'amont et l'aval, *i.e.* le synchronisme, n'est pas nécessairement respecté. Par exemple, les hautes valeurs enregistrées à l'aval des infrastructures en novembre 1993 ne coïncident pas avec des apports significatifs en provenance de l'amont. La figure 5 illustre l'asynchronisme entre les stations amont et aval. La droite 1:1 indique l'alignement théorique des valeurs en l'absence d'impact hydrologique par les barrages (parfait synchronisme). La dispersion des valeurs observées indique l'absence de synchronisme de l'activation hydrologique entre les deux stations de jaugeage. La concentration des points sur une ligne horizontale montre la régularité du débit de base ($4-6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) observé en aval en dépit des fluctuations perçues à l'amont des barrages. Cet alignement se superpose aux deux cadres définis par la droite 1:1, ce qui signifie que le débit de base observé à l'aval est indépendant des apports perçus aux barrages, même lorsqu'ils sont faibles. Aussi, parmi les plus

hautes valeurs, certaines sont plus élevées en aval qu'en amont. Ceci est causé par l'effet des lâchers d'eau aux barrages lorsque le système fluvial n'est pas nécessairement actif ou lorsqu'il y a une activation très locale des tributaires situés entre les deux stations de mesure.

4.2 Ajustements morphologiques des tributaires

La figure 6 illustre et localise les huit profils longitudinaux relevés sur l'ensemble du tronçon fluvial de la Moulouya entre le barrage de Mechra Homadi et l'embouchure. Les profils longitudinaux présentent une étonnante variabilité. Il convient de les distinguer initialement selon leur appartenance aux deux régions physiographiques, les gorges et la plaine alluviale, qui déterminent l'expression morphologique des tributaires de la Moulouya. Les sites situés dans la zone

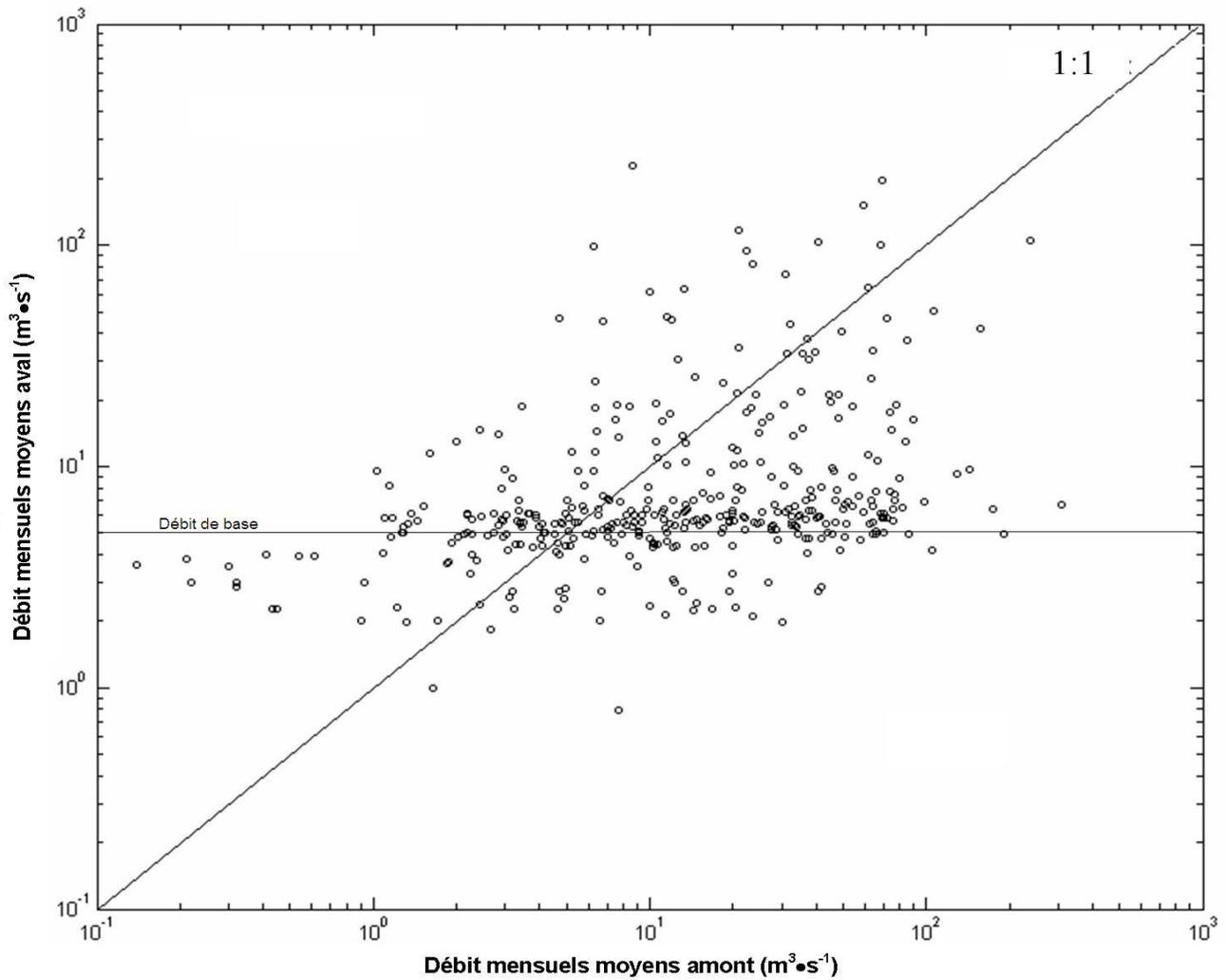


Figure 5. Distribution des valeurs de débits mensuels moyens enregistrés à l'aval en fonction des valeurs de débits mensuels moyens enregistrés à l'amont.
 Distribution of mean monthly discharges at the downstream gauging station as function of mean monthly discharges at the upstream station.

proximale au barrage Mechra Homadi, n° 1 et n° 8, sont inscrits dans une vallée étroite et encaissée. Ils présentent de fortes pentes, respectivement estimées entre 13,4 à 16,3 % et 2,4 à 5,1 %. Ces profils sont marqués de multiples ruptures de pente qui représentent un style en marches et cuvettes. Les autres affluents sont distribués longitudinalement dans une vallée semi-alluviale (n° 18, n° 23A-B, n° 26 et n° 29) à pleinement alluviale vers l'embouchure (n° 33). Les chenaux qui se raccordent à la vallée sont profondément incisés dans les terrasses limoneuses et présentent un style à méandres bien défini. Les profils longitudinaux révèlent moins de ruptures de pente et se caractérisent par des pentes plus modérées. De plus, ces profils présentent des spécificités notables, telles que de légères tendances à présenter un profil convexe (site n° 23A, n° 23B et n° 26) ainsi qu'une mauvaise intégration au tronçon principal (sites n° 26, n° 29 et n° 33). Par exemple, l'affluent

n° 26 présente un dénivelé de 0,4 mètre entre le thalweg du tributaire et le chenal de la Moulouya. L'affluent n° 29 ne montre aucun signe de connexion apparente avec le niveau de base de la Moulouya. Un lobe de boue formé à l'embouchure de l'affluent, vestige du dernier événement morphogène significatif de l'affluent, est ainsi situé à plus de 100 mètres du thalweg de la Moulouya. La rencontre des deux chenaux se produit vraisemblablement seulement en périodes de crues. Enfin, le profil du site n° 33 montre une connexion fluviale qui s'effectue à un niveau d'eau beaucoup plus élevé que le niveau de base. L'embouchure du tributaire est marquée par un banc d'accumulation associé à la dynamique de crue de la Moulouya plutôt qu'à celle du tributaire. Ainsi, les types de connexion morphologique des tributaires avec le tronçon principal varient fortement. Ceux-ci peuvent présenter différents degrés d'intégration et sont ajustés à des niveaux de crue variables.

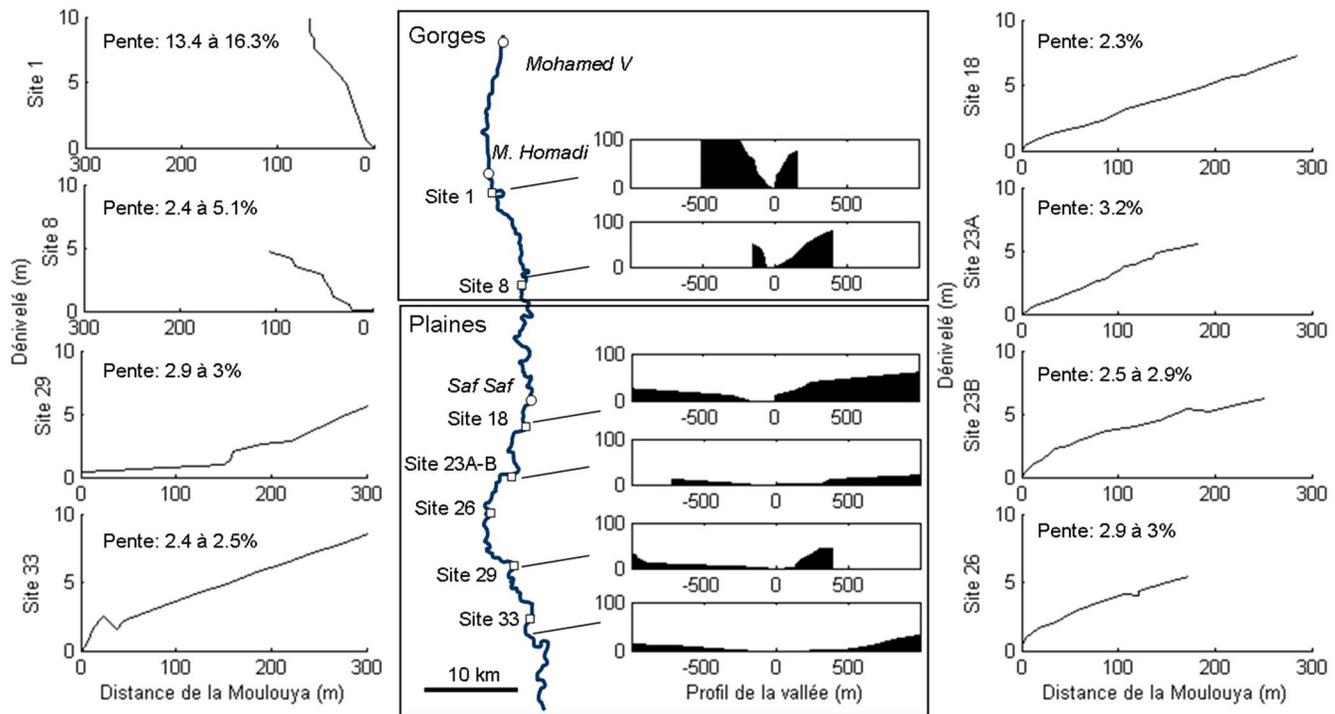


Figure 6. Tronçon fluvial de la Moulouya depuis le barrage Mohamed V entouré des profils transversaux de la vallée principale ainsi que des profils longitudinaux des affluents. Exagération verticale des profils de vallée (x5) et des profils longitudinaux (x20).
Moulouya River reach downstream from Mohamed V dam surrounded by lateral sections from the valley and longitudinal profiles for the tributaries. Valley profiles vertical exaggeration (x5) and longitudinal profiles exaggeration (x20).

5. DISCUSSION

5.1 Impacts hydrologiques

Les infrastructures de retenue diminuent de 52 % le volume d'eau perçu par le bassin versant. L'analyse des débits annuels minimaux moyens révèle qu'il y a des apports de la nappe phréatique entre les deux stations qui soutiennent le débit d'étiage en aval. Ainsi, cette estimation est probablement une sous-estimation de l'écart réel. Les canaux de dérivation peuvent dévier jusqu'à un potentiel de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit davantage que la moyenne enregistrée à la station amont de Melg Elouidane ($25,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), et ils expliquent certainement la plus grande partie de cette diminution. Aussi, les pertes engendrées par l'évaporation dans les bassins de retenue sont certainement non négligeables, bien qu'aucune tentative n'ait été entreprise pour les quantifier. La baisse du coefficient d'immodération observée (5,13 à 3,44 pour les valeurs moyennes et 8,99 à 1,23 pour les valeurs médianes) indique qu'une grande quantité d'eau est interceptée pendant les périodes humides, ce qui nivelle la variabilité des débits à l'aval des barrages. Le régime de débit passe d'un type naturel à un régime d'homogénéisation (ASSANI *et al.*, 2005). Cette distinction est moins tranchée pour les valeurs moyennes. À l'échelle annuelle, la coïncidence des événements de plus hauts débits liée à la saisonnalité des pluies est maintenue, ce que reflètent les valeurs moyennes

qui intègrent l'effet de ces événements extrêmes. Un régime homogénéisé implique l'absence d'activation du réseau principal pendant la saison pluvieuse lorsque le réseau secondaire est activé. L'homogénéisation du régime annuel favorise donc des scénarios hydrologiques asynchrones se traduisant par un abaissement des niveaux de base pour l'ajustement des tributaires.

La diminution des valeurs de hauts débits mensuels ($> 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) suggère que de nombreuses crues sont réduites en intensité ou complètement interceptées par les barrages. De fait, les débits annuels maximaux moyens sont diminués de 33 %. Cette diminution est déterminante puisque l'intégration des affluents se produit lors des événements morphogènes, soit lors des événements de plus hauts débits. Les séries de débits mensuels moyens indiquent que la diminution de la fréquence des crues est moindre pour les événements de plus hauts débits. Par contre, l'analyse de la coïncidence temporelle des valeurs de débits a permis de rendre compte de l'absence de corrélation entre les valeurs de l'amont et de l'aval, notamment pour les débits plus élevés qui peuvent survenir indépendamment à l'amont (interception des crues) comme à l'aval (fonction de la gestion du barrage). Ainsi, les événements asynchrones (tributaire activé *vs.* tronçon principal inactif) ou axiaux (tronçon principal actif *vs.* tributaire inactif) sont favorisés aux dépens d'événements synchrones.

5.2 Ajustements morphologiques des tributaires

5.2.1 Modèles conceptuels

En raison de l'intermittence des crues, les ajustements morphologiques des affluents sont discontinus et la morphologie résultante est donc nécessairement calquée sur la nature des derniers événements morphogènes. Or, selon le synchronisme des crues, l'ajustement morphologique des tributaires avec le tronçon principal s'effectue à des valeurs de débits variables. THORNES (1977) formalise cette variabilité à l'aide de trois scénarios qui caractérisent le synchronisme dans l'activation hydrologique du bassin versant, soit 1) intégré, 2) asynchrone ou 3) axial. Le scénario intégré se caractérise par l'activation hydrologique simultanée du tributaire et du tronçon principal. Les scénarios asynchrone et axial représentent respectivement les situations où les tributaires sont activés par rapport à un tronçon principal inactif et *vice versa*. Chaque scénario implique une connexion fluviale différente entre le tronçon principal et ses tributaires. Nous proposons, pour les tributaires de la Moulouya, des modèles d'ajustements morphologiques permettant de rendre compte de la variabilité

des types de connexion, ou état d'intégration, observés entre le tronçon principal et ses tributaires (Figure 7). Ces modèles d'ajustements morphologiques découlent des trois scénarios hydrométéorologiques de THORNES (1977) qui formalisent efficacement les différentes figures de cas possibles.

Le modèle d'ajustement convexe (Figure 7a) survient lors de l'activation hydrologique de l'ensemble du réseau de drainage et est lié à un écoulement intégré selon les termes de THORNES (1977). La connexion fluviale se situe alors à la hauteur du débit de crue de la même manière que les écoulements pérennes. Les sédiments acheminés à l'embouchure du tributaire sont déposés et contribuent à l'accumulation verticale du profil longitudinal. Dans les environnements fluviaux pérennes, cette accumulation de sédiments est subséquentement incisée par le tributaire lors de la décrue. En raison de la discontinuité des écoulements dans les environnements semi-arides, l'accumulation peut toutefois perdurer jusqu'au prochain événement morphogène. Ainsi, le profil longitudinal résultant apparaît comme une forme convexe lorsque les formes sont exhumées par la baisse du niveau de crue.

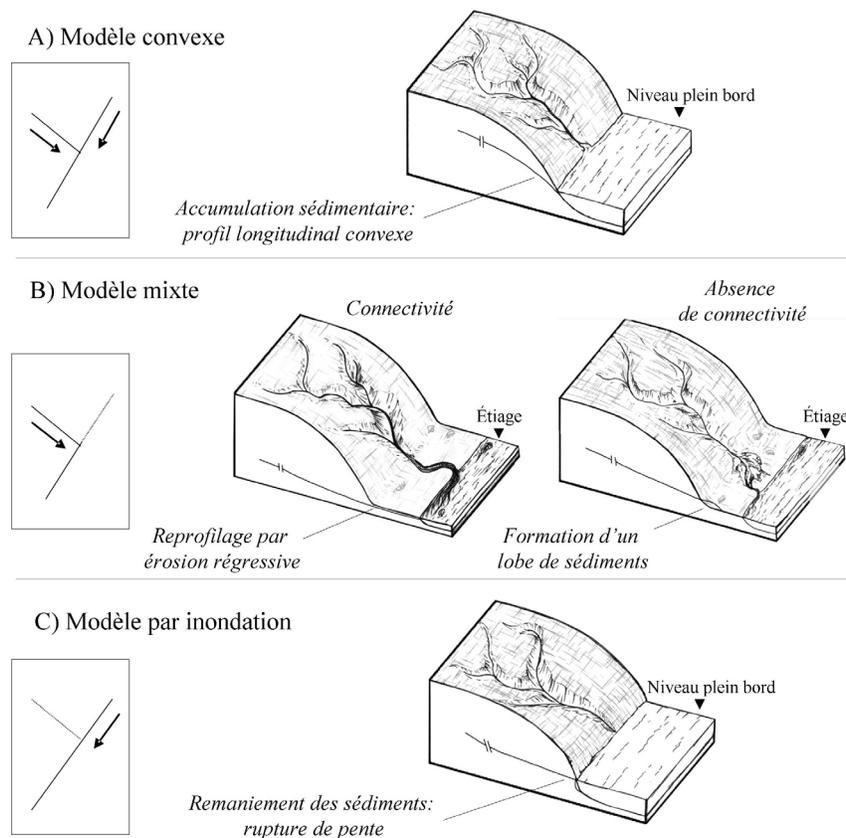


Figure 7. Modèles d'ajustements morphologiques entre le tronçon principal et son tributaire selon le scénario de connectivité hydrologique : a) modèle convexe; b) modèle mixte; et c) modèle par inondation.

Model of morphological adjustments between the main stream and the tributaries according to hydrologic connectivity scenarios: a) convex model; b) mix model; and c) flood model.

Le modèle d'ajustement mixte (Figure 7b) est lié à l'écoulement asynchrone et survient lors de l'activation hydrologique du tributaire alors que le tronçon principal demeure à son niveau de base. Cette situation est rencontrée lorsqu'une crue est interceptée par les barrages alors que le reste du réseau est activé ou lorsque des précipitations surviennent à l'intérieur d'une surface limitée à un sous-bassin. La connectivité hydrologique se situe à la hauteur du débit de base du tronçon principal. Selon l'étendue de la plaine alluviale et du périmètre mouillé laissé vacant par le tronçon principal, cette connexion peut se faire à une distance qui peut atteindre plusieurs centaines de mètres par rapport à une connexion au niveau de crue. Ce scénario reproduit à l'échelle d'un événement les conditions produites par une diminution soutenue du débit de base du tronçon principal, tel qu'il a été observé dans les environnements pérennes (BOYER *et al.*, sous presse, GERMANOVSKI et RITTER, 1988; KELLERHALS, 1982). Deux états morphologiques sont possibles selon la fréquence, la durée et l'importance du transport sédimentaire lors de ces événements. Ils s'intègrent tous deux vers un même type d'ajustement, mais présentent des degrés de maturité différents. Lors d'événements soutenus ou fréquents, le profil longitudinal s'ajuste par l'incision du tributaire et la migration d'une rupture de pente vers l'amont pour rejoindre le nouveau niveau de base. Une importante quantité de sédiments peut ainsi être acheminée vers le chenal principal. Si l'écoulement est trop éphémère ou trop peu fréquent, le tributaire peut ne jamais rejoindre l'écoulement principal et se tarir sur la plaine alluviale. Ainsi, des formes d'accumulations transitoires, tels des lobes de sédiments perchés, peuvent apparaître. Ces formes sont nécessairement transitoires puisqu'elles sont remobilisées lors du prochain événement de crue du tronçon principal.

Le modèle d'ajustement par inondation (Figure 7c) est lié à un écoulement axial et survient lors de l'activation hydrologique du tronçon principal alors que le tributaire demeure inactif. Il y a donc absence de connectivité. Le chenal principal se réapproprie et réintègre la zone du tributaire activé lorsque le niveau d'eau du tronçon principal était plus bas. Cette réintégration se traduit par le remaniement de sédiments, soit l'érosion de formes d'accumulations tels des lobes de sédiments perchés ou le comblement de chenaux de raccordement incisés, vestiges des événements hydrologiques précédents.

5.2.2 Applicabilité des modèles

Les trois modèles d'ajustements morphologiques proposés permettent de rendre compte de la diversité morphologique présentée par les profils longitudinaux. Le modèle d'ajustement convexe (Figure 7a) permet d'expliquer la forme des profils observés aux sites n^{os} 23A, 23B et 26. À notre connaissance, aucune autre hypothèse n'est satisfaisante pour justifier la présence de profils longitudinaux convexes à l'embouchure des tributaires. Des profils longitudinaux convexes ou localement

convexes ont souvent été mentionnés dans la littérature à la fois lors d'expériences menées en laboratoire (BÉGIN *et al.*, 1981 et HOLLAND et PICKUP, 1976) que lors d'observations sur le terrain (BOWMAN *et al.*, 2007 et SEIDL *et al.*, 1994). SEIDL *et al.* (1994) classifient les cas de convexité en fonction de quatre groupes de facteurs : 1) présence d'une couche stratigraphique plus résistante, 2) introduction massive de sédiments grossiers dans le chenal, 3) soulèvements néotectoniques, et 4) propagation d'un bris de pente généré par une modification du niveau de base. L'homogénéité des sédiments limoneux qui caractérisent ces sites exclut d'emblée les deux premières hypothèses. Aussi, la rapidité des ajustements dans ce type de substrat nous incite à exclure l'hypothèse de soulèvements néotectoniques locaux en dépit d'études qui ont mentionné l'existence d'une certaine activité régionale (ZARKI *et al.*, 2004). L'hypothèse d'un changement du niveau de base apparaît à première vue appropriée en raison de l'effet avéré des barrages sur la modification du débit de base. Toutefois, cette baisse n'est pas un processus soutenu et il est probable que son effet soit depuis longtemps résorbé, à la fois en raison de l'ancienneté de la mise en place des barrages et de la grande mobilité des sédiments qui composent le chenal des tributaires. Il nous semble donc plus approprié d'associer les profils longitudinaux convexes à l'exhumation de formes issues de processus qui concourent à l'échelle événementielle lors d'un débit de base élevé.

Le modèle d'ajustement mixte (Figure 7b) explique les cas de prolongation des tributaires en raison de l'abaissement du niveau de base. Ce modèle a déjà été décrit dans les environnements fluviaux pérennes (KELLERHALS, 1982; GERMANOVSKI et RITTER, 1988). En raison de la continuité des écoulements, ces cas illustrent des scénarios où la connexion morphologique s'effectue à un niveau de base plus bas, entraînant un prolongement du tributaire. En milieu semi-aride, cette transition s'effectue de façon discontinue et peut ne jamais s'accomplir en raison de l'alternance des différents scénarios hydrométéorologiques. Ainsi, un tributaire initialement ajusté à un débit de crue nécessite plusieurs événements asynchrones avant de s'ajuster complètement à un débit de base. L'alternance des différents scénarios entraîne donc des formes transitoires. Le lobe de sédiments perché sur la plaine alluviale à plusieurs centaines de mètres du lit mineur observé au site n^o 29 est vraisemblablement un exemple de vestige sédimentaire issu d'un événement de crue asynchrone associé à ces processus.

Enfin, le modèle d'ajustement par inondation (Figure 7c) rend compte des situations où le niveau d'ajustement d'un tributaire est perché en hauteur et est marqué par un dénivelé avec le tronçon principal. L'ajustement antérieur du tributaire à un niveau de crue plus élevé a entraîné l'accumulation de sédiments qui, lors d'un événement subséquent, peut être remobilisée par le chenal principal. Une rupture de pente

apparaît ainsi à l'embouchure et le profil peut ou non présenter une convexité selon la nature des événements antérieurs. Les tributaires n^{os} 23-B, 26 et 33 sont visiblement raccordés à des niveaux d'eau plus élevés et sont actuellement perchés au-dessus du niveau de base du tronçon principal et correspondent donc à un modèle d'ajustement par inondation.

Les modèles proposés permettent de décrire la variabilité des états d'intégration des affluents avec le tronçon principal sur la base du synchronisme des événements hydrologiques survenus. Les modèles décrivent des situations idéalisées qui dissimulent une variabilité évidente de niveaux de crue intermédiaires pouvant être atteints par le tronçon principal et ses tributaires. L'impact hydrologique des barrages a toutefois l'effet de réduire cette diversité et de restreindre l'activation du tronçon principal à deux modalités, soit inactive ou active. Par l'interception des eaux du tronçon principal, il favorise des événements asynchrones, mais aussi axiaux, aux dépens d'événements synchrones. En effet, les apports de base et les faibles crues sont le plus souvent totalement interceptés. Aussi, des événements hydrologiques surviennent à l'aval en l'absence de précipitations en raison des lâchers d'eau liés à la gestion du barrage. Ainsi, les modèles morphologiques proposés illustrent les possibilités associées aux différents scénarios hydrométéorologiques courants en milieu semi-aride, mais plus encore lorsque le tronçon principal est harnaché et que les types d'activation hydrologique sont polarisés vers les extrêmes.

6. CONCLUSION

Cet article examine les ajustements morphologiques des tributaires en regard du synchronisme des crues avec le tronçon principal dans le bassin versant du fleuve Moulouya au Maroc. Dans un premier temps, le synchronisme des crues a été évalué en comparant les séries de débits enregistrés à l'amont et à l'aval des barrages. Le débit annuel est diminué en moyenne de 52 %. Les débits annuels maximaux sont diminués de 33 % et les fréquences des débits mensuels qui dépassent des seuils de 50, 75 et 100 m³•s⁻¹ sont respectivement diminués de 55, 47 et 22 %. Les écarts sont plus marqués pendant les périodes pluvieuses, ce qui conduit à un régime annuel de débit homogénéisé (le coefficient d'immodération passe de 5,13 à 3,44 pour les valeurs moyennes et de 8,99 à 1,23 pour les valeurs médianes). Pendant les épisodes de précipitations, les apports d'eau sont interceptés par les infrastructures de retenue, ce qui entraîne une désynchronisation dans l'activation hydrologique du système fluvial par rapport au tronçon principal. Dans un deuxième temps, la description de profils longitudinaux mesurés sur les tributaires de la basse Moulouya a permis de relever des singularités morphologiques, telles que des profils convexes, ruptures de pente et formes d'accumulation perchées sur la plaine alluviale. Pour expliquer ces singularités,

des modèles d'ajustements morphologiques appliqués aux profils longitudinaux des tributaires sont proposés. Ceux-ci sont associés au type de synchronisation entre les crues des tributaires et du tronçon principal. Le synchronisme des crues est crucial en milieu semi-aride puisque le niveau de base auquel s'ajustent les tributaires varie à l'échelle événementielle et est déterminé par l'activation hydrologique du tronçon principal. THORNES (1977) a formalisé les différents types de scénario de connectivité hydrologique possibles entre le tronçon principal et ses tributaires, soit 1) intégré (activation synchrone), 2) asynchrone (tributaire actif) ou 3) axial (tronçon principal actif). Le modèle d'ajustement convexe est lié à un type d'activation hydrologique intégré (synchrone). Le modèle d'ajustement mixte est associé à une activation hydrologique asynchrone et inclut les cas d'incision et de prolongement de tributaires ainsi que des formes d'accumulation perchées sur la plaine alluviale. Enfin, les indices de mauvaise intégration, souvent marquée par des ruptures de pente, sont liés à des activations hydrologiques axiales. Les modèles conceptuels d'ajustements morphologiques basés sur le synchronisme des crues permettent d'expliquer la multiplicité des formes rencontrées. Il est suggéré que l'effet d'asynchronisme des crues par les barrages est le principal facteur qui détermine le type d'ajustement morphologique des tributaires situés à l'aval des barrages.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'agence de bassin hydraulique de la Moulouya, et en particulier Abdelilah Wardi (directeur de l'agence) ainsi que M. Boaza. Des remerciements vont aussi à M. Ben Check, M. Chaabane, M. Chaieb et M. Mejdoubi pour leur aide et leur accueil lors du séjour sur le terrain des deux premiers auteurs. Merci également à Claudine Boyer pour avoir stimulé notre réflexion et à Pierre Simard pour la réalisation des figures. Finalement, nous remercions les deux évaluateurs qui ont permis de clarifier et d'améliorer la qualité du texte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGOSSINE M. et L. BOUCHAOU (2004). Les problèmes majeurs de la gestion de l'eau au Maroc. *Sécheresse*, 15, 187-194.
- ASSANI A.A., T. BUFFIN-BÉLANGER et A.G. ROY (2002). Analyse d'impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin (Québec, Canada). *Rev. Sci. Eau*, 15, 557-574.

- ASSANI A.A., E. GRAVEL, T. BUFFIN-BÉLANGER et A.G. ROY (2005). Impacts des barrages sur les débits annuels minimums en fonction des régimes hydrologiques artificialisés au Québec (Canada). *Rev. Sci. Eau*, 18, 103-127.
- BEGIN Z.B., D.F. MEYER et S.A. SCHUMM (1981). Development of longitudinal profiles of alluvial channels in response to base-level lowering. *Earth Surf. Proc. Landforms*, 6, 49-68.
- BOUMEAZA T. (1998). Morphologie et évolution du delta et du littoral de la basse Moulouya, Maroc nord-oriental : apport des images aéroportées et satellitaires. *Géo. Observateur*, 8, 65-76.
- BOWMAN D., Y. SHACHNOVICH-FIRTEL et S. DEVORA (2007). Stream channel convexity induced by continuous base level lowering, the Dead Sea, Israel. *Geomorphology*, 92, 60-75.
- BOYER C., P.M., VERHAAR, A.G., ROY, P.M., BIRON et J. MORIN (2010). Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of St. Lawrence tributaries: potential effects on fluvial ecosystems. *Hydrobiologia*, 647, 163-183.
- GERMANOVSKI D. et D. RITTER (1988). Tributary response to local base level lowering below a dam. *Regul. Riv. Res. Manage.*, 2, 11-24.
- HOLLAND W.N. et G. PICKUP (1976). Flume study of knickpoint development in stratified sediment. *Geol. Soc. Am. Bul.*, 87, 76-82.
- KELLERHALS R. (1982). Effect of river regulation on channel stability. Dans : *Gravel-bed Rivers*. HEY R.D., J.C. BATHURST et C.R. THORNE (Éditeurs), Wiley, pp. 685-715.
- RAYNAL R. (1961). *Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya (Maroc oriental) : Étude géomorphologique*. Éditions Imframmar, Rabat, Maroc, 617 p.
- SCHUMM S.A. (1973). Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. Dans : *Fluvial Geomorphology, 4th annual Geomorphology Symposia*. Binghamton, New York, George Allen and Unwin, Boston, Compte rendu, pp. 299-310.
- SECRÉTARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DE L'EAU (2007). Rattaché au ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Maroc, <http://www.water.gov.ma/02patrimoine/global-barrages.htm> (consulté entre août 2007 et janvier 2008).
- SECRÉTARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DE L'EAU (2009). Rattaché au ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Maroc, http://ns351439.ovh.net/fr/climat_villes (consulté le 20 septembre 2009).
- SEIDL M.A., W.E. DIETRICH et J.W. KIRCHNER (1994). Longitudinal profile development into bedrock: an analysis of hawaiian channels. *J. Geol.*, 102, 457-474.
- SNOUSSI M., S. HAIDA et S. IMASSI (2002). Effect of the construction of dams on the water and sediment fluxes of the Moulouya and the Sebou Rivers, Morocco. *Reg. Environ. Change J.*, 3, 5-12.
- SNOUSSI M. (2005). *Revue de quelques éléments de base pour l'évaluation des débits environnementaux en Basse Moulouya*. Rapport à l'Union mondiale pour la nature (UICN), 14 p.
- THORNES J.B. (1977). Channel changes in ephemeral streams: observations, problems and models. Dans : *River Channel Changes*. GREGORY K.G. (Éditeur), Wiley, Chichester, Royaume-Uni, pp. 317-335.
- TOOTH S. (2000). Process, form and change in dryland rivers: a review of recent research. *Earth Sci. Rev.*, 51, 67-107.
- ZARKI H., J-J. MACAIRE, C. BECK et P. DE LUCA (2004). Morpho-sedimentary evolution of the lower Moulouya (North East Morocco) during middle and upper Holocene, Seismicity and neotectonic effects. *Geodin. Acta*, 17, 205-217.