



HAL
open science

L'enregistrement géomorphologique de la tectonique quaternaire par les nappes alluviales : l'exemple du bassin de la Têt (Roussillon, France)

Jean-Michel Carozza, Bernard Delcaillau

► To cite this version:

Jean-Michel Carozza, Bernard Delcaillau. L'enregistrement géomorphologique de la tectonique quaternaire par les nappes alluviales : l'exemple du bassin de la Têt (Roussillon, France). *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 1999, 329, pp.735-740. halshs-01067929

HAL Id: halshs-01067929

<https://shs.hal.science/halshs-01067929>

Submitted on 24 Sep 2014

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

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

Tectonique / *Tectonics*

Géosciences de surface / *Surface Geosciences*
(Géomorphologie / *Geomorphology*)

L'enregistrement géomorphologique de la tectonique quaternaire par les nappes alluviales : l'exemple du bassin de la Têt (Roussillon, France)

Geomorphic record of Quaternary tectonic activity by alluvial terraces: example from the Têt basin (Roussillon, France)

Jean-Michel Carozza^{a*}, Bernard Delcaillau^b

^a Geode, CNRS UMR 5602, Maison de la Recherche, 5, allée Antonio-Machado, 31000 Toulouse, France

^b « Morphodynamique continentale et côtière », université de Caen, 14000 Caen, France

(Reçu le 12 avril 1999, accepté après révision le 14 septembre 1999)

Abstract — In a low sismo-tectonic activity zone, the geometry of a Quaternary alluvial body can be used as a neotectonic tracer tool. Geometry characteristics of individualized terrace levels are extracted from a Digital Elevation Model by superposing elevation and geological data. The longitudinal profile of each terrace is compared to the best fitting exponential theoretical profile, deduced from hydrodynamic parameters. This analysis, applied to the Têt river terraces (Mediterranean southern France) shows the splitting of a sedimentary body, corresponding to hydrodynamic break interpreted as morphostructural segmentation of the Roussillon basin. (© 1999 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.)

geomorphology / neotectonic / Quaternary / Digital Elevation Model (DEM) / fluvial terraces / Roussillon / Eastern Pyrenees / France

Résumé — Dans les zones à activité sismo-tectonique faible ou diffuse, la géométrie des corps sédimentaires simples peut être utilisée comme marqueur de la déformation. L'utilisation des paléo-surfaces des nappes alluviales quaternaires comme traceurs du jeu différentiel des différents compartiments repose sur l'assimilation de leur surface topographique et de leur profil hydrodynamique. L'analyse des facteurs géomorphologiques et hydrauliques de contrôle de la morphologie des niveaux alluviaux de la Têt met en évidence l'homogénéité litho-faciologique et architecturale inter-nappes. La géométrie de surface des corps sédimentaires quaternaires extraite d'un modèle numérique de terrain (MNT) permet de diviser les profils longitudinaux en 3 secteurs hydrodynamiques homogènes. Pour chacun de ces secteurs, l'ajustement au profil théorique est maximal. La géométrie déduite est interprétée comme le résultat de déformations induisant une segmentation des nappes alluviales en deux secteurs subsidents, séparés par un môle en surrection lente. La superposition de la déformation avec les bassins actifs au cours du Pliocène, pour lequel le fonctionnement est attesté, confirme cette hypothèse. Les unités morphostructurales identifiées paraissent donc actives au cours du Quaternaire. (© 1999 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.)

Roussillon / géomorphologie / nappes alluviales / néo-tectonique / modèle numérique de terrain (MNT) / France

Note présentée par Jacques Angelier.

* Correspondance et tirés à part.
carozza@univ.tlse2.fr

Abridged version

Introduction

The eastern part of the Pyrenees (southern France) is characterized by low Quaternary sismo-tectonic activity. In this zone, the 3-dimensional geometry of an alluvial body can be used as a tectonic deformation tracer tool. Using palaeo-surface areas of Quaternary terraces for quantifying large scale deformations is based on present time topography and hydrodynamic longitudinal equilibrium profile assimilation (Merritts et al., 1994). River and terrace longitudinal profiles can be approximated with the exponential function: $b = a e^{bd}$, where b is the relative altitude, d the local base level distance, and a and b are specific river parameters. This method is applied to the Têt river.

The Têt river alluvial terraces

The Têt river is a small coastal mediterranean basin (1 500 km², 120 km long). It is developed along the Têt fault, a major regional fault. The lower part of the drainage basin is composed of large Quaternary terraces, underlying the deformed Pliocene Gilbert delta. The fluvial terraces are characterized by stepping morphology, decreasing from 100 m in the western part of the basin to less than 20 m in the eastern part. Six levels ranging from Lower Quaternary (T5) to Holocene (T0) are conserved. Along the longitudinal profile, terraces show high variability of conservation and dissection degree.

The study of sedimentology, sequential organisation, geomorphological and hydrological parameters controlling sedimentary body morphology of the Têt river, highlights the downstream longitudinal litho-facies and structural evolution. The trend is characterized by low vertical and longitudinal gradient changes. Then, the six sedimentary layers individualized show a particular homogeneity of the litho-facies.

The surface geometry of Quaternary sedimentary components is extracted from the Digital Elevation Model (DEM), which allows three hydrodynamic homogeneous sectors to be identified for all longitudinal profiles (*figure 2*). Each of them is characterized by linearisation into semi-logarithmic coordinates and maximalisation of adjustment to theoretical longitudinal profile, defined as the best-fit curve.

These longitudinal profile irregularities are interpreted as a tectonic activity record, inducing splitting of the sedimentary bodies into subsident and surrected areas (*figure 3*). Upstream and downstream zones are characterized by subevaluation of the altitude. In contrast, median zone altitude is underevaluated. We interpret these longitudinal changes as the result of morphostructural segmentation into subsident and surrected areas. In subsident areas, a decrease in sedimentary flow increased uncoupling between theoretical and actual profile. In the surrected area, the sinuosity is reduced to a minimum, and the river network is guided by regional tectonic structure (the Têt fault).

Structural interpretation

The superposition of the Quaternary tectonic deformation attested by indirect geomorphic criteria such as longitudinal profile breakdown, depocenter migration, differential dissection of alluvial bodies and spatial distribution of Quaternary layers with Pliocene active basins attested by fieldwork, confirms the tectonic origins of uncoupling average and theoretical profiles (*figure 4*). This represents an indirect confirmation of the Quaternary activity of the Roussillon basin. During Pliocene and Quaternary times, the Têt fault was reactivated as a left-lateral strike-slip. It induced formation of pull apart basins and push up swells, respectively associated with subsident and surrected areas. Geometry of the Têt's alluvial body results from eustatic and tectonic control.

1. Introduction

La Têt est un petit fleuve côtier méditerranéen, globalement orienté NE-SW, long de 120 km et d'une superficie de 1 500 km². La morphologie de son bassin d'alimentation est contrôlée par le développement de la faille de la Têt, active au cours du Pliocène et du Quaternaire (Carozza et Delcaillau, 1998). Dans son cours aval, la Têt édifie un système de nappes alluviales étagées. La morphologie de ces dernières, ainsi que les nombreuses anomalies de tracé de ce cours d'eau, suggèrent un contrôle tectonique sur la sédimentation et la conservation des nappes alluviales quaternaires. L'analyse de la géométrie de ces dépôts a été entreprise afin d'essayer de caractériser ces déformations.

2. Méthode d'analyse de la géométrie des nappes

Les nappes alluviales sont des corps sédimentaires polygéniques, édifiés par accréation verticale et latérale par des cours d'eau transportant une importante charge solide lors des épisodes humides et froids du Quaternaire (Somme, 1977). Leurs profils en long, pour des raisons génétiques, représentent des paléo-talwegs, le plus souvent diachrones (Texier, 1977), qui matérialisent l'état d'équilibre dynamique du système fluvial. Cette géométrie est sous le contrôle de paramètres exogènes (niveau de base local ou eustatique, climat, charge solide, vitesse de déformation tectonique et contrôles géomorphologiques

Merritts et al., 1994), qui induisent une réponse adaptative de la géométrie du ou des chenaux par ajustement de leurs variables morphologiques (Schumm, 1977). Les équations hydrauliques tentant de rendre compte de l'allure du profil longitudinal des cours d'eau (Snow et Slingerland, 1987 ; Ohomori, 1991), sont donc applicables aux tracés en long des paléo-talwegs. Ces fonctions établissent un lien entre les différents variables internes (largeur, hauteur, pente...) et externes (débit liquide, débit solide... ; Bagnols, 1977). D'une manière générale, l'augmentation du flux hydrique du fait des confluences et la diminution de la charge solide vers l'aval par stockage temporaire dans le chenal ou dans les lits majeurs et mineurs, se traduisent par une diminution de la pente du cours d'eau nécessaire à l'évacuation des flux solides. Il en découle un profil d'allure exponentielle. L'image du profil en long d'un cours d'eau peut donc être approchée par une équation du type :

$$h = a e^{bd}$$

où h est l'altitude d'un point donné, d la distance au niveau de base local, régional ou global, a et b des constantes spécifiques du cours d'eau, dépendant des paramètres endogènes et exogènes. Toute modification du débit liquide ou solide entraîne ainsi un réajustement des constantes spécifiques et une modification des propriétés géométriques du chenal (Schumm, 1977).

L'étude de la géométrie actuelle des profils en long des nappes alluviales peut être menée par l'extraction sur modèle numérique de terrain (MNT), par superposition avec la carte géologique. Le MNT utilisé a été réalisé par la méthode de la grille mobile (Floissac, 1997). Sa maille horizontale est de 63 m et sa précision verticale est métrique. Les plages de données ainsi extraites sont ensuite ramenées à un semis de points bidimensionnels et approchés par une fonction de type exponentielle. L'ensemble des points altimétriques situés sur les surfaces ont été pris en compte, même si ceux-ci se situent dans un talweg et sous-estiment donc l'altitude réelle de la terrasse. Ceci explique la présence de forts écarts entre deux points consécutifs d'un même profil, qui signe l'incision des terrasses par l'érosion post-sédimentaire (*figures 2 et 3*). Le degré d'ajustement au profil théorique permet de délimiter des plages de comportement homogènes. Ces données sont ensuite interprétées et confrontées au schéma structural et permettent de définir l'importance des déformations quaternaires.

3. Les nappes alluviales de la Têt

Les niveaux quaternaires occupent l'essentiel du bassin roussillonnais et sont bien préservés (*figure 1*). Morphologiquement, les nappes présentent un dispositif étagé en 5 niveaux, échelonnées sur un dénivelé total de 100 m, dans la partie ouest du bassin, à 20 m, dans la partie est. L'étagement des formes décroît progressivement vers la Méditerranée, où les terrasses les plus récentes s'annoient sous le prisme holocène du lit mineur (T0). La dynamique sédimentaire actuelle divise donc le bassin du Roussillon

en deux ensembles (Mussot, 1992) : à l'ouest, une plaine dominée par l'érosion, où le lit actuel présente le plus souvent une épaisseur sédimentaire pelliculaire, parfois inexistante, s'opposant à la partie est, dominée par l'accumulation. Cette répartition spatiale de la sédimentation actuelle traduit l'état d'équilibre du bassin, la tendance à l'incision dans le haut Roussillon et la migration vers l'intérieur du bassin du point d'équilibre (Miall, 1997), à la suite de la remontée du niveau marin holocène (Aloisi et al., 1978) et de la subsidence entretenue au niveau du littoral.

Dans le cours amont de la Têt, la répartition des nappes alluviales montre une nette dissymétrie entre bordures nord et sud du bassin. En amont de Néfiach, les nappes n'affleurent qu'exceptionnellement sur la rive gauche, fréquemment en position d'épaulement sur les massifs hercyniens, et viennent sceller la faille bordière du bassin. En rive droite, la répartition des nappes fait apparaître une migration progressive de la sédimentation vers le Nord du bassin. En aval du coude de Néfiach, les niveaux anciens sont préservés, mais montrent un état de dissection très poussé. La sédimentation quaternaire enregistre alors une migration vers le sud. Ce dispositif morphologique s'oppose à celui de la bordure sud, où affleure largement le niveau T2, faiblement incisé par l'érosion post-sédimentaire. Cette opposition traduit le comportement antagoniste des deux blocs, confirmé par l'analyse des profils en long des nappes de terrasses.

En l'absence de datation absolue, la chronologie est assurée par des critères relatifs (faciès d'altération et topographie). Leur âge s'échelonne du Pléistocène inférieur (nappe T5) à l'actuel (nappe T0). Les nappes alluviales sont constituées de matériaux grossiers, à dominante gravelo-sableuse, montrant un nombre réduit de séquences de dépôt superposées. L'étude des séquences d'ordre 2 (Miall, 1997) des 5 niveaux alluviaux identifiés traduit une faible évolution de l'environnement sédimentaire, depuis les niveaux les plus anciens (T5) jusqu'à l'Actuel (T0). Les associations de faciès permettent de déduire un dépôt par un cours d'eau en tresse (sensu Schumm, 1968), à charge de fond abondante pour les niveaux T5, T4, T2 à T0, évoluant vers une forme anastomosée au cours du dépôt des niveaux du Quaternaire moyen (T3). Le gradient hydrodynamique amont-aval reste faible, à l'exception du niveau T3, où la transition vers un mode anastomosé à tendance méandrique est marquée par l'apparition de formes d'accrétion latérale. Ces corps sédimentaires sont donc caractérisés par une grande homogénéité inter-nappe et intra-nappe (Carozza, 1998).

4. Déformation des profils en long des nappes alluviales

L'extraction des profils en long montre une organisation des terrasses alluviales en faisceau convergent (*figure 2*). La géométrie résultante s'accompagne d'une segmenta-

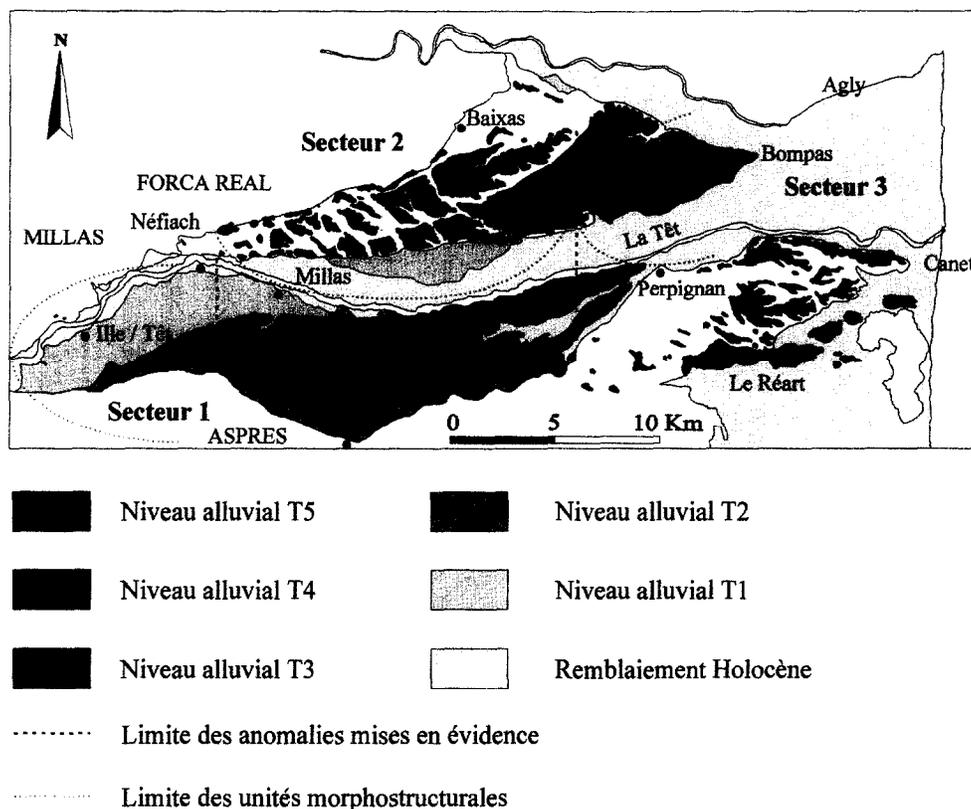


Figure 1. Carte des nappes alluviales quaternaires de la plaine du Roussillon.

Distribution of the Quaternary alluvial formations in the Roussillon plain, France.

tion des niveaux par recoupement. Le point de segmentation (point de recoupement de deux niveaux alluviaux successifs) migre vers l'ouest au cours du Quaternaire. Globalement, ce déplacement est induit par le basculement ouest-est entretenu de la plaine du Roussillon. La géométrie des terrasses est donc compatible avec la poursuite d'un régime de subsidence continue sur la zone littorale (Lenôtre et Fourniguet, 1987), alors que l'intérieur du bassin montre un fonctionnement complexe. L'analyse de la géométrie des terrasses précise la géométrie de la déformation dans le bassin.

4.1. Description des déformations

Les nappes alluviales de la Têt présentent une grande parenté géométrique, que traduit la parenté des fonctions obtenues pour leur approximation. La géométrie des nappes est approchée au mieux, conformément à la théorie, par une fonction exponentielle présentant des coefficients proches. Ces derniers traduisent la permanence des conditions hydrodynamiques au cours du Quaternaire. Le coefficient de détermination R^2 , calculé pour chaque nappe alluviale, est satisfaisant et compris entre 0,91 et 0,99. Pour chaque terrasse, il est donc possible de comparer son profil en long réel et son profil théorique. L'écart entre les deux valeurs ainsi calculées découpe les tracés longitudi-

naux en trois segments homogènes. Dans chacun des secteurs considérés, les nappes tendent vers une parallélisation et une linéarisation de leurs profils et peuvent être approximées avec une plus grande précision. Cette segmentation en 3 secteurs est identique pour l'ensemble des niveaux alluviaux, les points d'inflexion se localisant à 8,568 et 17,136 km du bassin amont. Les secteurs amont et aval sont caractérisés par une altitude réelle inférieure à l'altitude théorique, alors que le secteur médian se caractérise par une sous-évaluation de l'altitude théorique (figure 3).

La répartition de ces anomalies géométriques n'est pas aléatoire. Dans les secteurs amont et aval, le profil théorique des terrasses présente une altitude supérieure à celle du profil réel. Ce découplage résulte d'une déformation du niveau de terrasse, directement induite par la subsidence, et par l'accroissement de la sinuosité du cours d'eau, à la suite de l'abandon d'une partie de sa charge sédimentaire dans le bassin d'Ille-sur-Têt. La pente apparente de la terrasse, mesurée sur le MNT, est alors supérieure à la pente réelle du cours d'eau. À l'opposé, dans le secteur 2 en surrection, la paléo-Têt tend à minimiser la longueur de son tracé en parallélisant le profil de la plaine et le profil de la ligne d'eau. Le guidage local du tracé de la Têt par une faille N 130 accentue le phénomène.

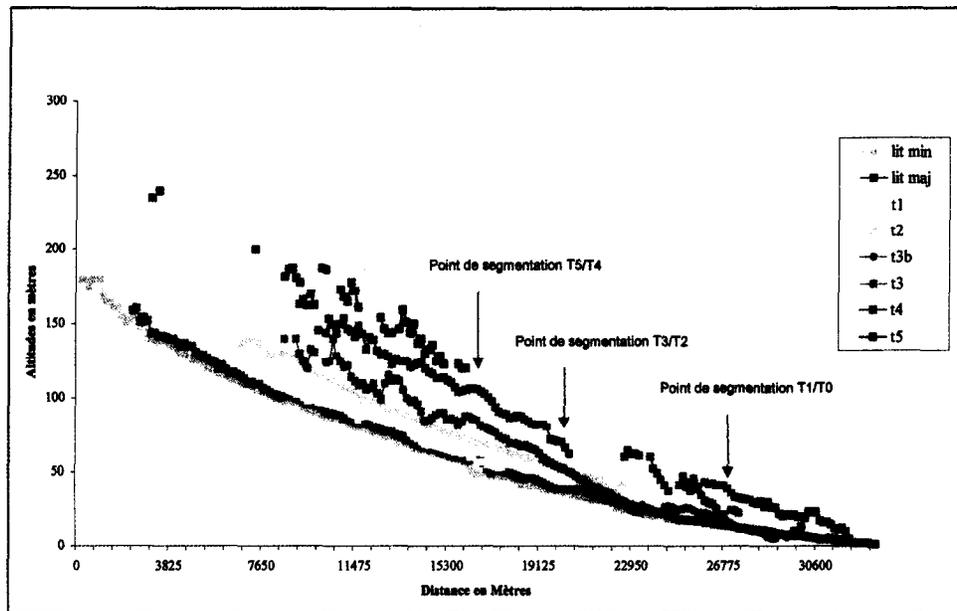


Figure 2. Profil en long des terrasses de la Têt.

Longitudinal profiles of the Têt river terraces, according to DEM extraction.

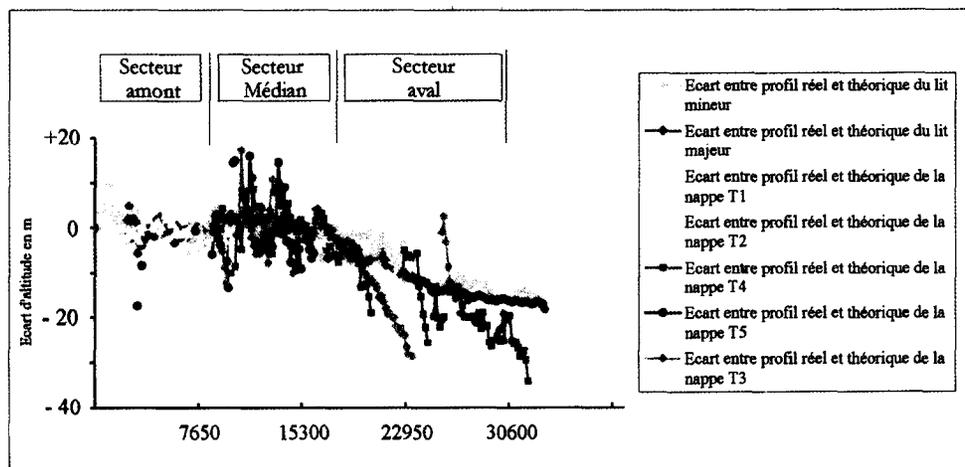


Figure 3. Écart entre les profils réels et théoriques des nappes alluviales quaternaires de la Têt. Principales caractéristiques morphologiques des différents secteurs individualisés. Secteur amont : forte sinuosité, bande active large, présence de dépôts historiques dans le lit ; secteur médian : tracé rectiligne, réduction de la largeur du lit, absence de dépôts historiques ; secteur aval : accroissement de la sinuosité, élargissement de la bande active, importante sédimentation holocène dans le lit majeur, anomalies topographiques (le lit mineur est plus haut que la plaine alluviale). La géométrie de détail des nappes alluviales résulte principalement de l'érosion post-sédimentaire. L'importante variabilité altitudinale qui caractérise la zone médiane signe l'importance de l'érosion linéaire induite par la surrection.

Uncoupling between actual and theoretical longitudinal profile of the Têt river terraces. Major geomorphic characteristics of the main units. Upper river course: high sinuosity, large mean channel, historical deposits; median river course: low sinuosity, reduction of the mean water channel, straight channel, no historical deposits; lower river course: enlargement of the mean water channel, increase of sinuosity, historical deposits, topographic anomaly (the mean water channel is higher than the flood plain). Detailed terrace geometry results principally from post-depositional erosion. Altitudinal variability in the median section points out a coupling between linear adjustment of stream profile and surrection.

4.2. Interprétation géodynamique

De nombreux indices néotectoniques ont été décrits sur la bordure nord du Roussillon (Calvet, 1986, 1994 ; Coindre, 1987 ; Carozza, 1990). Ce secteur enregistre également une activité sismique significative, bien que diffuse (Souriau et al., 1996). La déformation des matériaux plio-

cènes, ainsi que les anomalies du réseau hydrographique (Carozza, en cours), suggèrent une réactivation de la faille de la Têt en décrochement sénestre au cours du Plio-Quaternaire, induite par le retour à un champ de déformation compressif subméridien. Elle s'accompagne de la mise en place de morphostructures en relais compressifs

(môle de Força Réal, associé à la zone médiane, responsable de l'inflexion du tracé de la Têt vers le sud) et distensifs (respectivement le bassin d'Ille-sur-Têt dans le secteur amont et de la Salanque dans le secteur aval, associés à des déplacements de la Têt vers le nord), caractéristiques de zones en décrochement (Soula, 1984). La géométrie des nappes alluviales quaternaires décrite dans cette note enregistre donc le comportement antagonique de ces différentes unités et le compartimentage de la plaine du Roussillon en zones subsidentes et en surrection, conformes à la topographie actuelle de la plaine et compatibles avec l'état de préservation des niveaux alluviaux quaternaires (figure 1). Ces derniers sont fortement disséqués et incisés par l'érosion post-sédimentaire dans la zone du relais compressif, et conservés en larges plages dans les zones de bassin. La déformation tectonique se prolonge donc durant l'intégralité du Quaternaire et contrôle partiellement la sédimentation alluviale. Elle induit le fonctionnement de bassins sédimentaires de forme losangique de type *pull apart* et de relais compressifs assimilables à des môles de poussée.

6. Références

- Aloisi J.-C., Monaco A., Planchais N., Thommeret J. et Thommeret Y. 1978. The Holocene transgression in the Gulf of Lions, southeastern France: paleogeographic and paleobotanical evolution, *Géogr. Phys. Quatern.*, 32, 145–162
- Bagnols R.A. 1977. Bed-load transport by natural rivers, *Water Resour. Res.*, 13, 303–313
- Calvet M. 1986. La stratigraphie du Néogène du Roussillon et le problème des séries détritiques de bordure. Essai de mise au point, *Géol. France*, 2, 205–220
- Calvet M. 1994. Morphogenèse d'une montagne méditerranéenne : les Pyrénées orientales, *Thèse*, Université Paris-1, 1178 p.
- Carozza J.-M. 1990. Évolution géodynamique de la marge nord-occidentale du Roussillon entre Vinça et Millas (inédit), *Mém. Maîtrise Géogr.*, Université Toulouse-2–Le Mirail, 100 p.
- Carozza J.-M. 1998. Évolution des systèmes géomorphologiques en contexte orogénique : l'exemple des bassins d'alimentation du Roussillon. Approche morphotectonique, *Thèse*, Université Toulouse-2–Le Mirail, 398 p.
- Carozza J.-M. et Delcaillau B. 1998. Évolution morphotectonique de la terminaison orientale de la chaîne pyrénéenne au cours du Plio-Quaternaire, in : *17^e RST*, Brest, 31 mars–3 avril 1998, 86
- Cointre M. 1987. Étude néotectonique des Pyrénées-Orientales, *Mém. DEA*, Université de Montpellier
- Floissac L. 1997. Traitement automatique des modèles numériques de terrain pour l'analyse géomorphologique. Application aux Açores et à Taiwan, *Thèse*, Université Toulouse-2, 266 p.

5. Conclusion

La géométrie des nappes alluviales de la vallée de la Têt résulte donc de l'interaction entre mouvements eustatiques et mouvements tectoniques. Dans le cas du Roussillon, la faiblesse des déformations tectoniques observées (0,25 à 1 mm.an⁻¹), comparée aux vitesses de variations eustatiques du niveau marin quaternaire, conduit à la conservation d'un dispositif morphologique étagé. Cependant, l'analyse fine de la géométrie des nappes permet de mettre en évidence une segmentation de ces dernières, calquée sur les unités morphostructurales actives au cours du Pliocène. La géométrie des nappes quaternaires, leur répartition spatiale, ainsi que leur état de conservation sont donc contrôlés pour partie par la tectonique active et par les mouvements eustatiques. L'activité sismo-tectonique se prolonge donc durant tout le Quaternaire jusqu'à l'Actuel.

Lenôtre N. et Fourniguet J. 1987. *Mouvements verticaux actuels : comparaisons de nivellement. Synthèse géologique des Pyrénées*, inédit, 7 p.

Merritts D.J., Vincent K.R. et Wohl E.E. 1994. Long river profiles, tectonism and eustasy: a guide to interpreting fluvial terraces, *J. Geophys. Res.*, 99, B7, 14031–14050

Miall A.D. 1997. *The geology of stratigraphic sequences*, Springer Verlag, New York, 427 p.

Mussot R. 1992. Crue d'octobre 1940 et lits fluviaux : observations et remarques complémentaires, in : *Actes du colloque de Vernet-les-Bains « L'aiguat del 40 a la Catalunya Nord »*, Generalitat de Catalunya éd., 103–114

Ohomori H. 1991. Change in the mathematical function type describing the longitudinal profile of a river through an evolutionary process, *J. Geol.*, 99, 97–110

Schumm S.A. 1968. Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 79, 1573–1588

Schumm S.A. 1977. *The fluvial system*, John Wiley and Sons, New York, 338 p.

Snow R.S. et Slingerland X. 1987. Mathematical modelling of graded river profiles, *J. Geol.*, 95, 15–33

Somme J. 1977. Signification dynamique et climatique des formations de terrasses fluviales dans l'Europe du Nord-Ouest, *Bull. Ass. fr. Ét. Quat.*, 9–13

Soula J.-C. 1984. Genèse des bassins sédimentaires en régime de cisaillement transcurrent : modèles expérimentaux et exemples géologiques, *Bull. Soc. belge Géol.*, 83–104

Texier J.-P. 1977. Les formations fluviales du Sud-Ouest de la France. Introduction, *Bull. Ass. fr. Ét. Quat.*, 59