

## Commentaire sur l'article « Mouvement post-messinien sur la faille de Nîmes : implications pour la sismotectonique de Provence » par A. Schlupp, G. Clauzon, J.-P. Avouac

MICHEL SÉRANNE<sup>1</sup>

Dans un récent article, Schlupp *et al.* [2001], présentent et discutent de nouvelles données de sismique réflexion à travers un canyon messinien, au voisinage de la faille de Nîmes. Ils mettent d'abord en évidence, sous la couverture quaternaire de la vallée du Rhône, un paléocanyon formé pendant l'abaissement du niveau de base de la Méditerranée au Messinien. Ils proposent ensuite que ce canyon est décalé par la réactivation en décrochement senestre de la faille de Nîmes, ce qui entraîne d'importantes conséquences pour l'évolution sismotectonique post-messinienne de la région.

Au vu des données présentées dans l'article, le décalage du canyon me paraît insuffisamment établi, comme discuté dans les 4 points suivants.

1 - Les auteurs stipulent que le canyon, d'orientation E-W, est affecté par la faille de Nîmes car il présente des bordures décalées de manière senestre. Cependant, il paraît difficile de contraindre le problème géométrique sur la base de 3 profils sismique réflexion en raison :

- de l'espacement pluri-kilométrique des profils qui ne peuvent pas contraindre des irrégularités topographiques d'amplitude hectométrique,

- de l'imprécision sur la position de la bordure du canyon. En effet, il est nécessaire d'avoir 2 intersections (au moins) de bordures du canyon avec les profils sismiques, de chaque côté de la faille de Nîmes, afin de construire des segments de droite, et mettre ainsi en évidence un éventuel décalage (fig. A).

2 - Afin de pallier cette incertitude, les auteurs font l'hypothèse que les bordures du canyon sont régulières, et

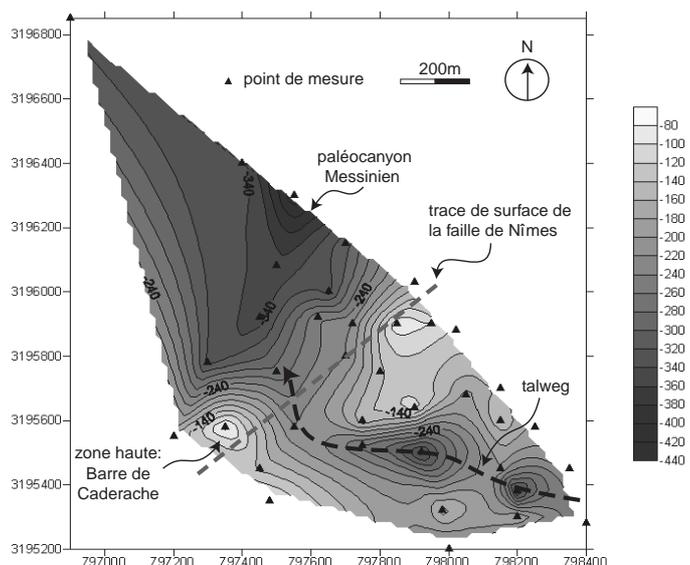


FIG. B. – Profondeur de l'interface remplissage – encaissant mesurée avec la méthode du bruit de fond microsismique, par Schlupp *et al.* [2001] (Tableau annexe B). L'interpolation est faite par la méthode des « natural neighbours » avec le logiciel Surfer.

quasiment cylindriques dans le secteur de la faille. Si tel est le cas, il est alors possible d'extrapoler le tracé de la bordure du canyon de part et d'autre des profils de sismique. Cette hypothèse reste néanmoins discutable comme le montre l'analyse des seules données fournies dans l'article.

- Le tracé cartographique de l'interface encaissant – remplissage post-messinien n'est pas toujours rectiligne. Par exemple la barre de Roquemaure (flanc nord) et la barre de Caderache (flanc sud) présentent des rentrants d'amplitude hectométrique. Autre exemple : le flanc nord doit nécessairement s'incurver vers le SE en moins d'un kilomètre de distance pour passer au large de l'affleurement Miocène (coordonnées UTM : 801 500, 3 197 000, voir leur Fig. 3).

- Le profil Bord du Rhône (leur Fig. 6) montre l'existence d'un ressaut topographique d'une centaine de mètres de la bordure nord du canyon. Or, ce ressaut n'a pas d'équivalent sur le profil Nord (distant de 250 m), ce qui conduit à admettre que cette topographie n'est pas cylindrique, et qu'en projection cartographique, le flanc du canyon n'est pas rectiligne.

- L'étude de détail par la méthode du bruit de fond microsismique développée par les auteurs montre que le flanc

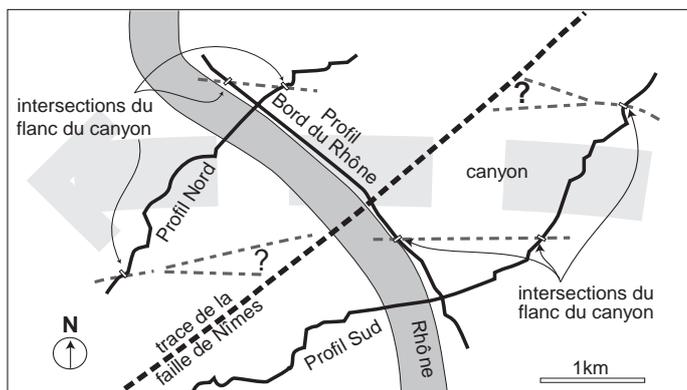


FIG. A. – Position des 3 profils de sismique réflexion (trait noir continu) par rapport à la faille de Nîmes (trait noir discontinu) mettant en évidence le manque de contrainte sur le tracé des bordures du canyon (pointillés gris). La trace du paléocanyon Messinien et son sens d'écoulement sont indiqués par la large flèche grisée.

<sup>1</sup> UMR 5573, CNRS / Université Montpellier 2, cc060, 34095 Montpellier cedex 05, seranne@dstu.univ-montp2.fr  
Manuscrit reçu le 30 janvier 2002 ; accepté le 7 mars 2002.

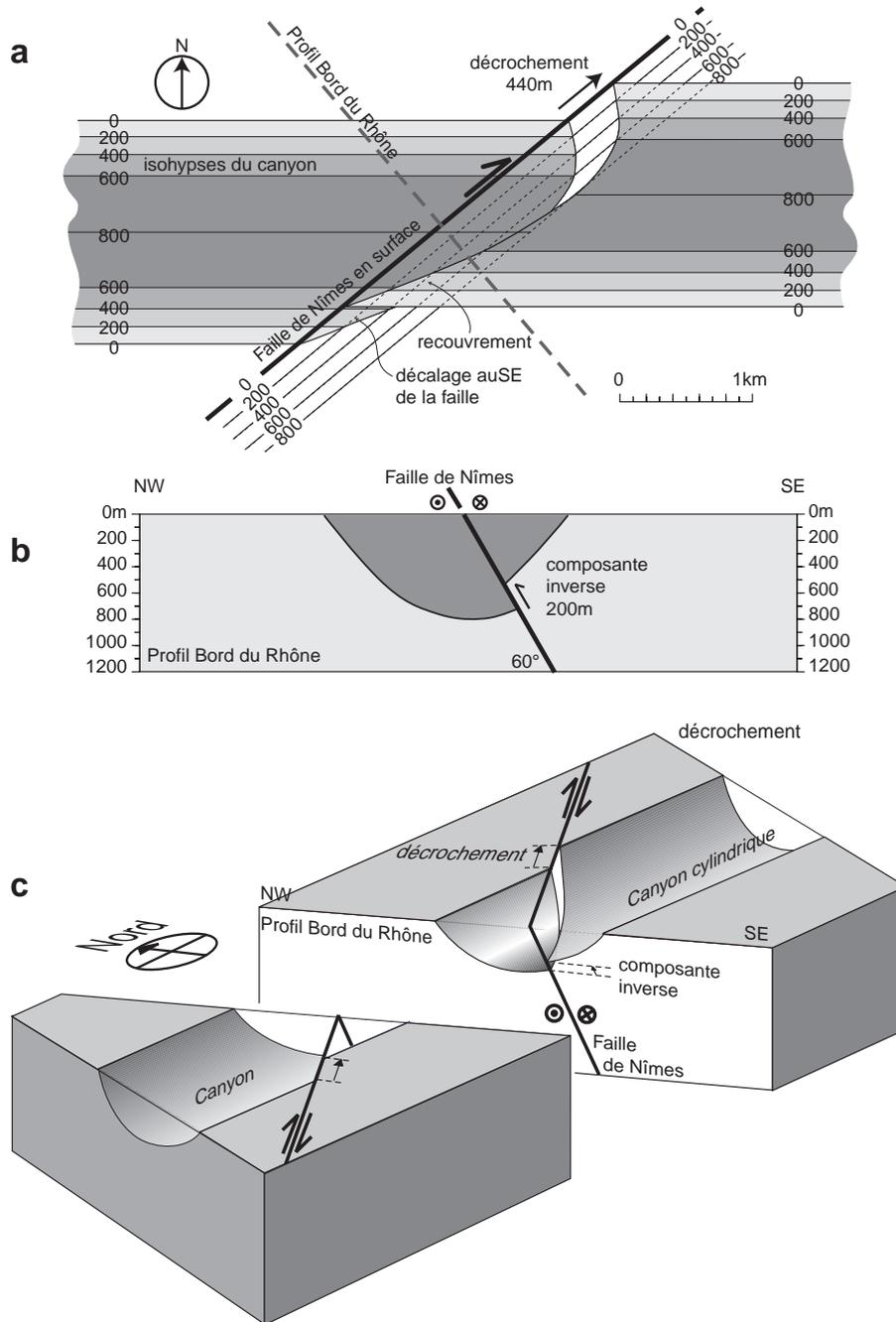


FIG. C – a. – Schéma structural du système canyon – faille de Nîmes, utilisant des formes géométriques simples. Le canyon a une géométrie en U avec des bords inclinés de 35°, cylindrique. Il est représenté par ses isohypses (en m). La faille de Nîmes est un plan orienté N050 et de pendage 60°SE, représenté par ses isohypses (en m). La position approximative du profil Bord du Rhône est indiqué en pointillés.  
 b. – Coupe profonde équivalente au profil Bord du Rhône, mettant en évidence la composante de rejet inverse induite par le décrochement sur la faille de Nîmes.  
 c. – Visualisation schématique des relations structurales attendues entre canyon et faille de Nîmes, à la suite d'un décrochement sur cette dernière.

sud du canyon n'est pas régulier. L'irrégularité (interprétée par Schlupp *et al.* comme un décalage) correspond à un talweg orienté WNW-ESE, recoupant la faille de Nîmes et la barre de Caderache (fig. B). Quelle que soit l'origine de ce talweg (contemporain de l'érosion messinienne ou bien hérité du Miocène) ceci montre que l'analyse avec une résolution hectométrique des flancs du canyon, révèle des irrégularités de cette amplitude. Il est donc difficile d'extrapoler le tracé des flancs de canyon à partir des seules inter-

sections avec les profils de sismique réflexion. En particulier, aucune donnée « observée » ne permet d'extrapoler des isobathes rectilignes orientées E-W, sous le Rhône tels que sur leur figure 7.

3 - La tranche superficielle des profils de sismique (50 à 80 millisecondes) est transparente, ce qui rend l'interprétation des données près de la surface discutable. Les auteurs interprètent d'ailleurs la trace du flanc sud du canyon en

pointillés sur le profil Bord du Rhône, et représentent les incertitudes sur la trace du flanc nord par un zigzag sur le Profil Sud (leur figure 6).

La position du flanc sud du canyon sur le profil Bord du Rhône est capitale pour la mise en évidence d'un éventuel décalage. On s'interroge sur la verticalité du flanc sud sur le profil Bord du Rhône, alors que la sismique réflexion est quasi transparente sur 80 millisecondes, et que le canyon entaille à cet endroit les silts miocènes peu susceptibles de former une falaise verticale de 200 m. Notons que le prolongement de la pente du flanc du canyon jusqu'à la surface placerait la limite sud du canyon 100 m plus au sud. Le tracé cartographique du flanc sud en serait modifié et le décalage présumé sur la faille de Nîmes quasiment annulé.

De la même manière, la bordure sud du canyon près de la surface n'est pas imagée sur le Profil Sud, certainement à cause de la faible différence de réponse sismique entre le remplissage de silts pliocènes et les silts miocènes de l'encaissant. Là aussi, l'incision devrait présenter des versants à pendage modéré, et le pendage de 55° interprété par les auteurs doit être considéré comme une valeur maximale. Tout pendage plus faible reporte la limite du canyon vers le sud.

En conséquence, étant données les marges d'erreur sur la trace de la bordure sud du canyon, (i) l'interprétation proposée par les auteurs doit être considérée comme le tracé le plus septentrional possible, et (ii) la possibilité d'un tracé contigu de part et d'autre de la faille de Nîmes est compatible avec les données présentées.

4 - Enfin, l'hypothèse proposée par les auteurs se heurte aux données cartographiques présentées dans cet article.

Tout d'abord, le décalage du flanc sud du canyon au passage de la faille de Nîmes déduit de la méthode du bruit de fond microsismique (leur Fig. 7) ne se situe pas sur le tracé de la faille de Nîmes, mais quelques 250 à 300 m au nord de celle-ci (voir les isohypses 400 m, 300 m, 250 m, 250 m sur la figure 7). La faille de Nîmes ayant un pendage de 60° au SE, on attendrait un décalage des isohypses du flanc du canyon au SE du tracé de surface de la faille (fig. C-a). Il est donc vraisemblable que la topographie imagée sur le flanc du canyon (fig. A, leur Fig. 7) ne soit pas causée par un mouvement de la faille.

Enfin, le système canyon-faille interprété par les auteurs peut être décrit par une gouttière régulière, linéaire, orientée E-W, décalée de manière senestre de 440 m, selon un plan orienté N050° de pendage 60°SE (fig. Ca). Selon cette construction, le décrochement induirait une compo-

sante en faille inverse de la partie méridionale du canyon. En effet, comme le montre la figure Ca, la moitié méridionale du canyon au toit de la faille vient en recouvrement du canyon au mur de la faille. La flèche du recouvrement, maximale au niveau de la bordure du canyon, s'annule au centre, et découvre le plan de faille vers le nord. En conséquence, un profil perpendiculaire à la faille et interceptant celle-ci dans la moitié sud du canyon doit présenter une composante en faille inverse. Au delà des simplifications de forme retenues pour la construction géométrique, on devrait observer, sur le profil Bord du Rhône, une composante inverse d'environ 200m sur la faille de Nîmes (fig. Cb, Cc), qui ne pourrait passer inaperçue puisque représentant 20 à 25 % de la profondeur du paléocanyon. Or, le profil Bord du Rhône qui traverse la faille de Nîmes ne présente aucun décalage de la bordure du canyon, ni de déformation des brèches messiniennes, ni du remplissage Pliocène.

**En conclusion**, on est conduit à admettre l'alternative suivante :

- soit le paléocanyon messinien a une géométrie régulière de type cylindrique permettant d'extrapoler facilement sa forme à partir de 3 profils de sismique réflexion espacés de plusieurs kilomètres. Mais dans ce cas, on n'observe pas les conséquences d'un décalage le long de la faille de Nîmes ;

- soit le paléocanyon messinien a une géométrie irrégulière influencée par l'érosion différentielle, les fabriques et les structures héritées, qui admet des rentrants et des promontoires de quelques centaines de mètres de longueur d'onde. Mais dans ce cas, les incertitudes sur le tracé du canyon sont du même ordre de grandeur que décalage postulé.

La possibilité de mouvement sur la faille de Nîmes, postérieurement au Messinien, n'est pas exclue, comme le suggère le décalage vertical de quelques dizaines de mètres du paléorivage Pliocène présenté par Schlupp *et al.* [2001]. Par contre, l'existence d'un mouvement décrochant hectométrique post-messinien sur la faille de Nîmes ne peut être démontré avec les seules données fournies dans l'article. Les implications sismotectoniques explorées dans cette étude sont donc conjecturales.

## Référence

SCHLUPP A., CLAUZON G. & AVOUAC J.-P. (2001). – Mouvement post-messinien sur la faille de Nîmes : implications pour la sismotectonique de la Provence. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, **172** (6), 697-711.

## Réponse\*

### Schlupp A., Clauzon G. et Avouac J.-P

Dans son commentaire, Michel Séranne considère que le décalage du canyon messinien est insuffisamment établi dans notre étude et présente ses arguments en faveur d'un décalage plus faible que la valeur maximale de 440 m que nous donnons. Dans sa conclusion il reconnaît qu'un mouvement post messinien n'est pas exclu. Rappelons que notre propos n'était pas de démontrer l'activité de la faille de Nîmes, d'autres auteurs s'y sont attachés [Combes, 1984 ; Sauret et Terrier, 1990 ; Grellet *et al.*, 1993 ; Combes *et al.*, 1993 ; Carbon *et al.*, 1993 ; Ghafiri, 1995 ; Sébrier *et al.*, 1997] mais de quantifier son rejeu éventuel post messinien. Le débat se situe donc sur l'ampleur du mouvement maximum détecté à partir de nos données. Les arguments apportés par Michel Séranne contiennent de nombreuses erreurs et l'auteur transforme parfois nos propos.

**Point 1.** Il semble qu'une confusion importante ait eu lieu. L'essentiel du raisonnement de Michel Séranne se fait à partir des données de profils sismiques (figure A et conclusion du point 3) ou de Nakamura (figure B) prises indépendamment alors que notre étude repose sur l'analyse conjointe des deux types de données ainsi que les données géologiques de surface et forages. L'incertitude à partir des profils sismiques seuls est décrite en détail dans notre article. En considérant l'ensemble des données, on a clairement plusieurs points de calage de part et d'autre de la faille de Nîmes, (cf. figure 7).

**Point 2.** Nous n'avons jamais écrit « canyon ou bordure quasi cylindrique » car la réalité est clairement différente,

le canyon a une forme en « V » avec un fond qui remonte nettement vers l'est. Ceci nous amène à la figure B, irréaliste, proposée par Michel Séranne. Elle montre un canyon qui s'écoule vers l'est alors que le fond remonte de plus de 100 mètres entre le profil Nord (ouest) et profil Bord du Rhône (est) d'où un écoulement vers l'ouest. La raison de cette erreur de Michel Séranne est qu'il n'a pas tenu compte des conditions aux limites fournies notamment par les profils sismiques et les données géologiques de surface. Il en résulte une interpolation incontrôlée (fig. B) [Séranne, 2002]. L'interpolation métrique qu'il effectue n'a d'ailleurs pas de signification au vu de la méthode utilisée et la densité des points de mesure (environ 40 points de mesures espacés de 100 à 200 mètres sur une surface inférieure à 1 km<sup>2</sup>). Si nos données montrent entre autre la présence d'un thalweg miocène peu profond (environ -150 m) orienté N-S, cela ne remet absolument pas en question le décalage du flanc observé jusqu'à une profondeur de -400 mètres. Quant au ressaut topographique visible sur le profil bord du Rhône, il n'est pas visible sur le profil nord car il devrait être dans la zone aveugle d'acquisition induite par la présence du Rhône. Notez que les données sont effectivement extrapolées sous le Rhône, (cf nota bene).

Michel Séranne indique que le tracé du bord du canyon n'est pas toujours rectiligne. Dans notre article nous discutons effectivement cette éventualité [cf Schlupp *et al.*, 2001, partie discussion] ce qui conduit à une plage de valeurs possibles assez large (entre 0 et 440 m). En tout état de cause, cet argument est trop hypothétique pour réduire significati-

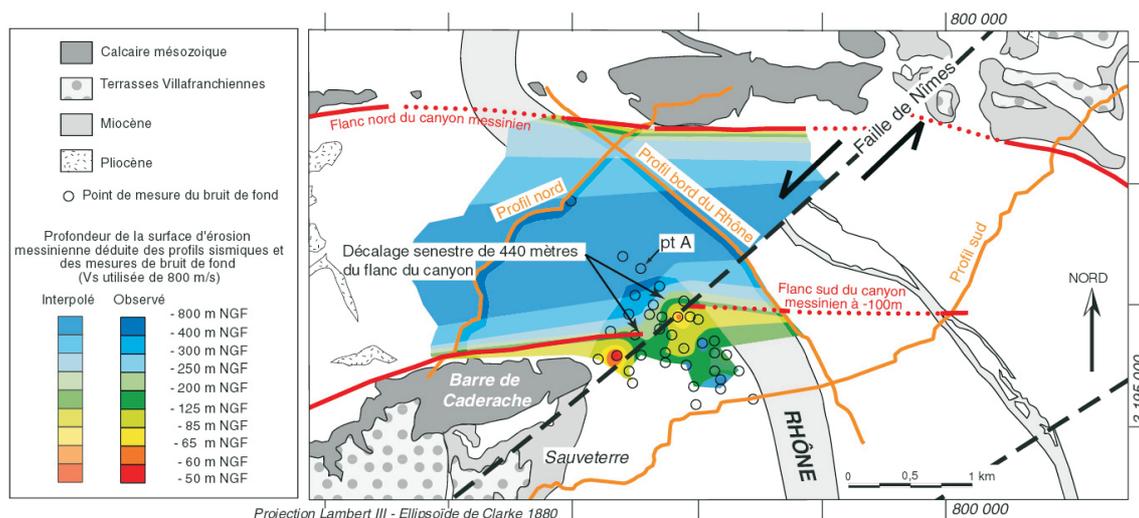


FIG. 7. – Géométrie du canyon messinien au passage de la faille de Nîmes

\*Réponse reçue le 15 mars 2002.

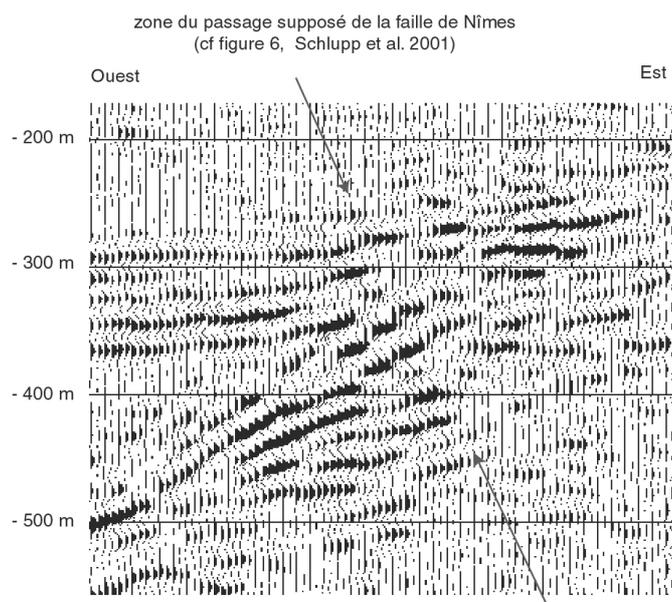
vement le mouvement maximum possible. En effet, est-on certain d'une paléo géographie perturbée avant 5,32 Ma ? La réponse est clairement non. En supposant qu'elle existe, quelle est son ampleur ? Une « baïonnette » de 400 mètres environ est plutôt rare et quand elle est en concordance avec le tracé supposé de la faille de Nîmes, il faut rester très prudent avant d'y associer avec certitude une origine non tectonique.

**Point 3.** Tout notre raisonnement porte volontairement sur la géologie de subsurface à une profondeur de 100 mètres sous les dépôts quaternaires et sous la zone aveugle des profils sismiques. Les réflexions de Michel Séranne sur la partie superficielle ne peuvent se contenter de nos données et sont hors sujet. D'autre part, le profil Bord du Rhône montre clairement la remontée du calcaire entre le canyon pliocène et le bassin miocène à -100 mètres et non à -200 mètres. Quant au commentaire sur le profil Sud, il est déjà inclus dans notre article et celui-ci ne sert pas à l'estimation du décalage comme le montre la figure 7, c'est le profil bord du Rhône qui est dimensionnant. Les deux remarques en fin de point 3 sont donc injustifiées.

**Point 4.** Position de la faille, voir nota bene (erreur informatique). En ce qui concerne la géométrie des isohypses, elle est biaisée par l'hypothèse effectuée par Michel Séranne d'une géométrie cylindrique laquelle est non conforme aux données. D'autre part, en traçant sur la figure « Ca » de Michel Séranne les isohypses de -100 à -400 m en continu, on observe une géométrie proche de celle que nous avons obtenue. Quant à la position de la « baïonnette » morphologique par rapport au tracé de la faille de Nîmes en surface, il faut d'une part considérer le tracé après correction de l'erreur introduite et d'autre part tenir compte de l'incertitude qui existe sur la valeur réelle du pendage de la faille de Nîmes. Nous sommes cependant ici dans une discussion d'un détail dont l'implication est très exagérée par Michel Séranne.

En ce qui concerne le tracé, le commentaire effectué sur le flanc nord du paléo canyon est une réalité mais n'apporte rien au débat.

Un décalage vertical apparent sur un profil recoupant la faille décrochante est une réalité géométrique comme nous le mentionnons dans notre article. Pour reconstruire ce décalage apparent, il faut en premier lieu partir d'une géométrie réaliste (pas la gouttière linéaire utilisée par M. Séranne) et tenir compte des conditions géologiques. Rappelons la chronologie. Le canyon se forme en creusant les calcaires et en déposant sur les pentes des colluvions instables. Le système est remis en eau à -5,32 Ma. Ceci correspond à l'arrêt de l'érosion et donc à la fossilisation du canyon. L'étape suivante est le remplissage par des dépôts pliocènes d'amont en aval. Au niveau du secteur étudié, ce dépôt se fait environ entre -5,3 Ma et -4,6 Ma. En suivant l'hypothèse maximaliste selon laquelle toute la géométrie observée est d'origine tectonique, la faille fonctionne pendant cette période au cours de séismes, dont la magnitude est de l'ordre de 6 à 6,5 d'où une rupture de surface co-sismique de 50 cm au maximum, séparés de longues périodes de quiétude. A chaque événement les dépôts de colluvions sont « secoués » et certainement remobilisés par gravimétrie pendant la période inter-sismique ce qui a probable-



ment pour effet d'éroder voir d'effacer l'escarpement vertical. Par contre, dès le début de la sédimentation pliocène dans le secteur, cette érosion locale n'existe plus. Le mouvement vertical apparent s'en retrouve limité d'autant. Le mouvement étant considéré continu jusqu'à nos jours, il devrait alors subsister un escarpement d'environ une centaine de mètres.

Nous citons dans notre article la déformation verticale apparente de l'interface remplissage-flanc du canyon mais ne discutons pas car l'observation y est incertaine. Nous proposons de regarder plus en détail la zone concernée par la faille de Nîmes et faisons un zoom sur le profil « Bord du Rhône » (figure ci-dessus). Il apparaît au niveau du tracé supposé de la faille, toutes proportions gardées, un arrêt brutal de plusieurs réflecteurs caractérisant les dépôts des colluvions de pentes. Cette série de réflecteurs semble se retrouver environ une centaine de mètres plus haut, au sud du tracé supposé de la faille de Nîmes. Si l'on considère le mouvement horizontal maximal cumulé de 440 mètres, il n'est pas incompatible avec cette image sismique. Cette observation aurait plutôt tendance à confirmer un mouvement décrochant d'environ 440 mètres depuis 5,32 Ma. Compte tenu des incertitudes discutées dans notre article, il nous paraît difficile d'argumenter en faveur d'un mouvement maximum encore plus faible.

Dans sa conclusion, Michel Séranne utilise des termes non présents dans notre article et nous rappelons, comme nous l'avons expliqué dans notre article, que les profils sismiques à eux seuls ne permettaient de lever l'ambiguïté d'où l'étude menée à partir du bruit de fond. Le deuxième paragraphe est discuté dans notre article. En effet, il y a bien des incertitudes, mais pas de l'ordre de grandeur de nos observations (nous réfutons totalement le terme « postulé » employé par Michel Séranne) et c'est ce qui nous a amené à considérer un décalage maximum. Les implications sismotectoniques sont évidemment à analyser car notre étude est la première bornant le problème sur cette faille, toutes précautions gardées. Nous rappelons que le mouvement maximum cumulé au cours de cette importante durée (5,32 Ma) est très faible (moins de 500 mètres).

Nous confirmons les conclusions de notre note à savoir que le décalage observé correspond à un rejeu tectonique maximum et rejetons les arguments de M. Séranne car les données disponibles ne permettant pas actuellement de réduire avec certitude l'ampleur maximale de ce mouvement. Notons que cette étude est la seule tentative de quantification effectuée sur cette faille, la limite supérieure de ce mouvement étant à elle seule une donnée unique et capitale pour toute estimation d'aléa sismique dans la région. D'autre part, la preuve indiscutable de la présence d'un paléo-affluent d'âge Messinien dans le secteur et traversant la faille de Nîmes et l'exploitation de ce type de marqueur en tectonique est un des apports fondamentaux de notre étude.

*N B :*

Signalons qu'une erreur informatique a conduit à un décalage vers le sud de quelques millimètres du tracé de la faille sur la figure 7. De même le flanc du paléo-canyon est interpolé et non observé à la verticale du Rhône (couleurs atténuées). La figure reproduite ici a été corrigée. En outre, nous signalons une erreur typographique dans l'expression de la formule de Nakamura (annexe) qui s'écrit en fait :

$$R_{H/V} = \frac{\sqrt{(S_T^2 + S_R^2)}}{S_Z}$$

## Références

- CARBON D., COMBES P., CUSHING M. & GRANIER T. (1993). – Enregistrement d'un paléoséisme dans des sédiments du Pléistocène supérieur dans la vallée du Rhône : quantification de la déformation – *Géol. Alpine*, **69**, 33-48.
- COMBES P. (1984). – La tectonique récente de la Provence occidentale : microtectonique, caractéristiques dynamiques et cinématiques. Méthodologie de zonation tectonique et relations avec la sismicité – Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Louis Pasteur. Strasbourg, 182 p.
- COMBES P., CARBON D., CUSHING M., GRANIER T. & VASKOU P. (1993). – Mise en évidence d'un paléoséisme pléistocène supérieur dans la vallée du Rhône : implications sur les connaissances de la sismicité de la France – *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **317**, **II**, 689-696.
- GHAFFIRI A. (1995). – Paléosismicité de failles actives en contexte de sismicité modérée : application à l'évaluation de l'aléa sismique dans le Sud-Est de la France – Thèse Université Paris XI Orsay, 400 p.
- GRELLET B., COMBES P., GRANIER T. & PHILIP H. (1993). – Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique. – IPSN, GEO-TER, Université de Montpellier II et IPG de Strasbourg. – *Mém. Soc. géol. France*, **164**, 76 p.
- SAURET B. & TERRIER M. (1990). – Place de la néotectonique dans l'évaluation de l'aléa sismique : exemple de la Provence (France). – *Géol. Alpine, Mém. H.S.*, **15**.
- SÉBRIER M., GHAFFIRI A. & BLES J.-L. (1997). – Paleoseismicity in France : Fault trench studies in a region of moderate seismicity. – *J. Geodyn.*, **24**, 1-4, 207-217.
- SÉRANNE M. (2002). – Commentaire sur l'article SCHLUPP A. *et al.*, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2001, 172, 6, 697-711. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, 173, 6, 589-591.