

Impact des crues méditerranéennes dans le bilan sédimentaire du Rhône aval

CHRISTELLE ANTONELLI & MIREILLE PROVANSAL

CEREGE, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, F-13545 Aix-en-Provence Cedex 04, France

antonelli@cerege.fr

Résumé Les précipitations affectant les affluents méridionaux du Rhône génèrent des crues rapides, souvent chargées en sédiments qui forment des crues importantes sur le Rhône aval lorsqu'elles s'associent aux apports en provenance de l'amont. Des mesures de charge effectuées à Arles (Roditis, 1993; Pont & Bombled, 1995) ont permis de montrer la prépondérance des crues méditerranéennes dans le bilan sédimentaire total. Cependant, ces mesures ne tiennent pas compte de la variabilité des flux sédimentaires dans la colonne d'eau. En intégrant ce paramètre, nous avons démontré que le bilan sédimentaire actuellement disponible pourrait être sous-estimé de 20 à 120%. L'acquisition de nouvelles données permet d'affiner le bilan actuel concernant la participation des affluents méridionaux dans l'alimentation sédimentaire du Rhône aval.

Mots clefs Analyse en Composante Principale; bilan sédimentaire; crues méditerranéennes; delta du Rhône; matière en suspension

Key words principal component analysis; sedimentary balance; Mediterranean floods; Rhône River delta; suspended sediment

INTRODUCTION

L'impact des crues méditerranéennes dans le bilan hydrologique et sédimentaire du Rhône aval a été mis en évidence depuis plus d'un demi-siècle. Les chroniques de débits ont permis d'établir une typologie des événements puis les mesures continues de MES ont permis d'intégrer les impacts morpho-sédimentaires. Afin d'améliorer les données existantes, des mesures de MES ont été réalisées sur toute la section mouillée du fleuve pour une large gamme de débits (1500 à 5000 m³ s⁻¹).

CONTEXTE GENERAL ET DONNEES ANTERIEURES

Hétérogénéité des débits liquides

Situé à l'aval du plus vaste hydro-système nord-méditerranéen (97 800 km²) le delta du Rhône est soumis à une grande variété d'apports hydrologiques et sédimentaires. Les travaux de Pardé (1925) puis de Béthemont (1972) sur l'hydrologie du Rhône et de ses tributaires ont permis de définir les quatre types de crues qui peuvent affecter le Rhône aval:

- la crue océanique correspond à des précipitations touchant essentiellement la Saône et le Haut Rhône. Elle se produit généralement d'octobre à mars.

- La crue cévenole correspond à de violentes précipitations qui s'abattent sur les Cévennes (Ardèche, Gard, Cèze) et survient en septembre–octobre.
- La crue méditerranéenne extensive est générée par des précipitations qui touchent l'ensemble des affluents avals du Rhône (Ardèche, Gard, Cèze mais surtout Drôme et Durance). Elle survient en octobre–novembre, parfois au début du printemps.
- La crue générale enfin est une concomitance ou succession rapide de ces différentes crues dont une méditerranéenne extensive. Elle concerne la quasi-totalité des affluents et se produit essentiellement en octobre, novembre ou mai.

A ces grands types de crue, s'ajoutent les influences nivales des affluents alpins (Arve, Fier, Ain et surtout Isère) qui interviennent généralement à la fin du printemps ou en été.

Les débits solides

Les prélèvements quotidiens de MES effectués par le laboratoire du DESMID d'Arles entre 1992 et 1995 (Roditis, 1993; Pont & Bombled, 1995; Pont 1997) ont permis d'établir un modèle débits-MES. L'application de ce modèle sur la chronique des débits de 1960 à 1990 a fourni une estimation moyenne annuelle de 7.4 Mt de MES pour le Rhône aval (Pont *et al.*, 2002) et permis de réévaluer les résultats antérieurs. Par ailleurs, il a été démontré la prépondérance des crues dans le bilan sédimentaire global puisque 80% de la charge en suspension transite lors des crues (Roditis, 1993; Pont, 1997; Antonelli, 1999), et que parmi elles, les crues méditerranéennes sont les plus chargées en sédiments (Pont & Bombled, 1995).

SECTEURS D'ETUDE ET METHODOLOGIE

A l'amont d'Arles le Rhône se divise en deux bras (Fig. 1). Le profil en long est caractérisé par une forte irrégularité qui fait alterner des seuils élevés (seuil de Terrin à -4.75 NGF) et des mouilles profondes (-18 à -21 m NGF à Arles et au nord de Port-Saint-Louis).

Neuf campagnes de prélèvement ont été réalisées sur deux profils en travers du Grand Rhône entre novembre 2000 et octobre 2001. Nous avons sélectionné deux sites représentatifs du linéaire deltaïque. A l'amont, au Point Kilométrique 295, un profil a été choisi en sortie du seuil le plus élevé du Grand Rhône. Le différentiel de volume calculé sur des profils en travers levés par la CNR montre que c'est une zone référence en terme de résistance à l'érosion (Antonelli *et al.*, 2003).

Le second transect est situé au PK 324, en sortie de mouille. L'incision du plancher alluvial est estimée à 2.8 cm an⁻¹ durant le XX^e siècle (Antonelli *et al.*, 2003). Ce profil correspond à un rétrécissement du chenal pouvant favoriser l'homogénéisation des flux sédimentaires (Pont, 1997).

Techniques et périodes de relevés des mesures expérimentales

Des prélèvements d'eau ont été effectués depuis un zodiac par immersion d'une bouteille Niskin tous les mètres sur trois verticales: au centre du chenal et à proximité des rives (<10 mètres). Les échantillons ont été centrifugés, séchés en étuve à 40°C

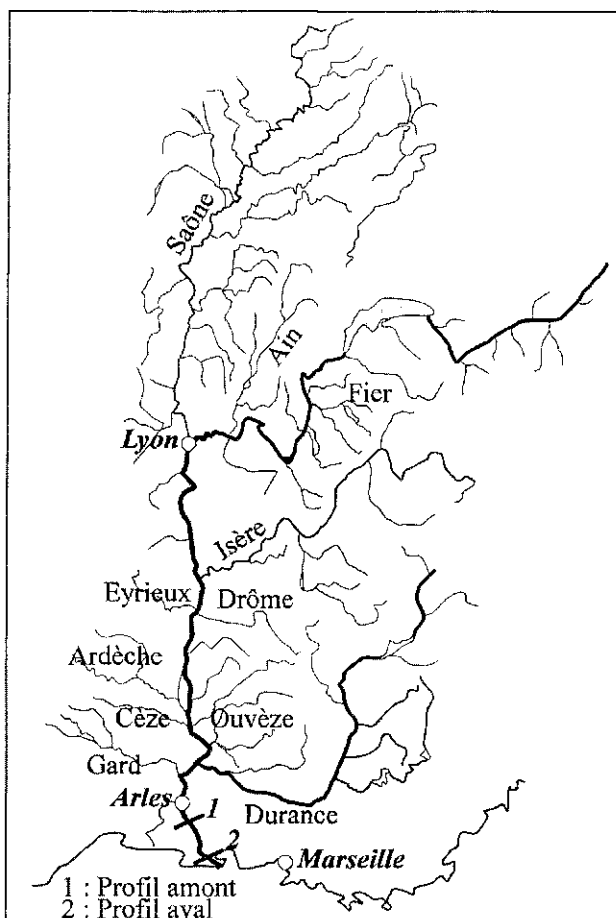


Fig. 1 Hydrographie du bassin-versant rhodanien et localisation des secteurs d'étude.

puis pesés. Tous les échantillons ont été prélevés en période de crue ($Q > 3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ou de hautes eaux ($1500 < Q < 3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). L'événement majeur de la période étudiée ($Q_j > 5800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) a été échantillonné en phase de montée des eaux, au pic de crue et en décrue. Enfin, la dernière campagne a coïncidé avec le pic d'une petite crue (fréquence de retour comprise entre 6 et 12 mois).

Traitement des données hydrologiques

La période d'étude est caractérisée par une forte activité hydrologique (Fig. 2) avec un débit moyen de $2161 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (débit moyen annuel du Rhône à Arles: $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Une analyse en composante principale a été effectuée sur les débits des principaux affluents du Rhône pour chaque campagne d'échantillonnage. Les résultats (Fig. 3) confirment le rôle des affluents méditerranéens dans la formation des crues échantillonnées (Pont & Bombled, 1995).

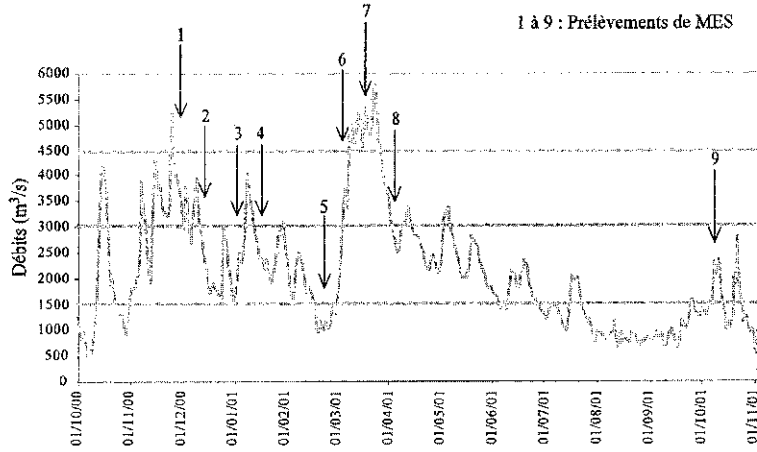


Fig. 2 Hydrologie de la période d'étude.

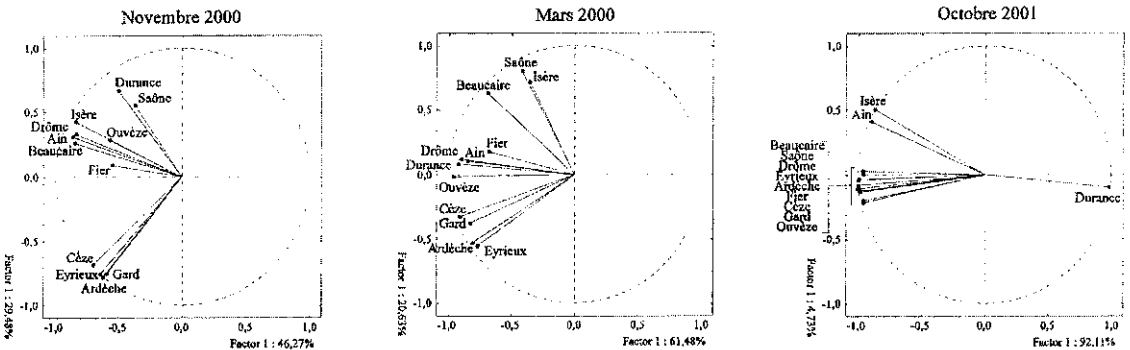


Fig. 3 Résultats de l'ACP sur les débits moyens journaliers des affluents rhodaniens.

VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE LA CHARGE EN SUSPENSION

Deux types de distribution des MES ont été mis en évidence (Antonelli & Provansal, 2002):

- En deçà de $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, les concentrations en MES sont homogènes sur l'ensemble du profil à l'exception de la campagne du 10 octobre 2001 (Fig. 4(a)).
- Au-delà de $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, les concentrations en MES augmentent des berges vers le centre du chenal et de la surface vers le fond (Fig. 4(b)). Ce gradient est maximal pendant la phase de montée des eaux de la crue majeure de l'année: les concentrations en MES entre la surface et le fond sont multipliées par 2.5 à l'amont et par 8 à l'aval. Le site aval, plus profond montre une stratification des concentrations alors que le site amont, plus turbulent de par sa position en sortie de seuil montre une organisation plus hétérogène.

Ces distributions semblent indépendantes de l'origine de la crue. Cependant, en octobre 2001 les mesures de concentrations mettent en évidence une stratification des MES pour des débits plus modestes ($Q = 2500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), mais en partie générés par une crue sur le Gard ($Q = 586 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). De même en novembre 2000, l'échantillonnage effectué à la fin d'une crue méditerranéenne fait apparaître une couche proche du fond

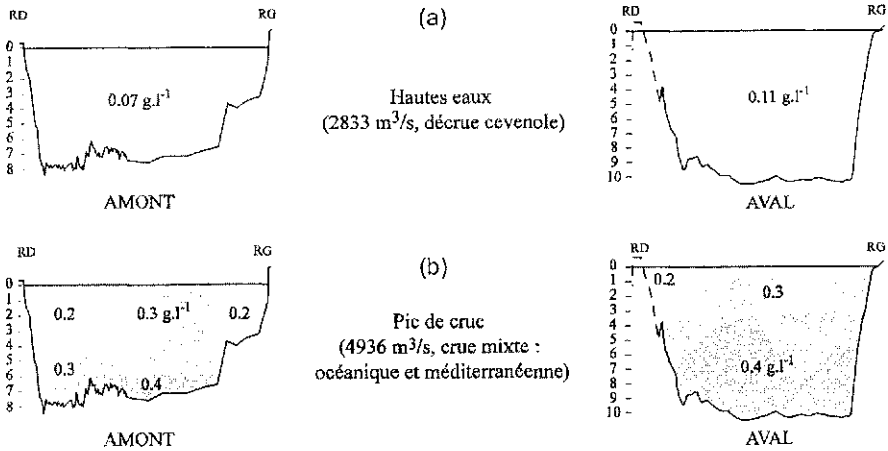


Fig. 4 Variabilité des concentrations en MES: (a) $Q < 3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; (b) $Q > 3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

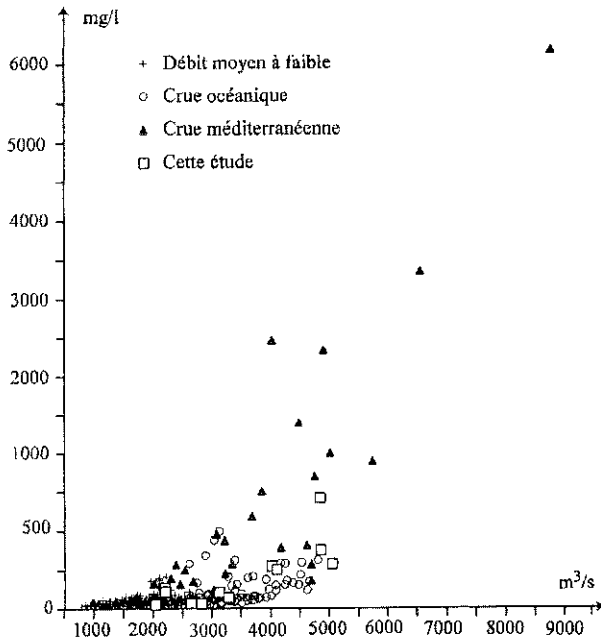


Fig. 5 Prépondérance des apports solides d'origine méditerranéenne

plus chargée en MES sur le site aval. Ces observations tendent à conforter l'idée d'une prépondérance des apports solides par les affluents méridionaux. Néanmoins, si l'on se réfère aux données de Pont & Bombled (1995, Fig. 5), on constate que les concentrations en MES de la crue de mars 2001 sont comparables à celles d'une crue méditerranéenne bien que les apports liquides méditerranéens n'aient constitué que 19% du débit total. La question mérite donc d'être approfondie par multiplication des prélèvements en périodes de crue.

SYNTHESE ET CONCLUSION: VERS UNE RE-EVALUATION DES APPORTS SOLIDES

Le bilan des apports méditerranéens ne peut être précisément établi lors des crues compte tenu de l'importance et la variété du bassin versant étudié. Néanmoins, l'existence d'un gradient de charge au sein de la colonne d'eau pour des crues où la participation des affluents méridionaux est avérée tend à démontrer l'intérêt de réviser les tonnages annuels de MES. La comparaison de nos résultats avec ceux issus d'une analyse traditionnelle montre que ces derniers sous-estiment de 20 et 120% du flux de MES en période de crue. En appliquant cette correction aux données antérieures (Pont, 2002), nous réévaluons le tonnage annuel de MES transporté par le Rhône aval entre 8.4 et 14.5 millions de tonnes.

Ces résultats doivent être replacés dans les projections sur les rapports pluies-débits récemment publiées dans le cadre du changement climatique global (Otlé *et al.*, 2001). Ces travaux montrent une diminution attendue de la pluviométrie et des flux hydriques dans les affluents méditerranéens qui, à terme, pourrait modifier les flux solides rhodaniens.

Remerciements Ce travail est soutenu par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et par la Compagnie Nationale du Rhône. Il s'inscrit dans le programme Orme (Observatoire régional méditerranéen de l'environnement) du CNRS-PEVS.

REFERENCES

- Antonelli, C. (1999) Quantification de la charge solide du Grand Rhône et du Petit Rhône à proximité de leur embouchure. Mémoire de DEA, Université Aix-Marseille I, France.
- Antonelli, C. & Provansal, M. (2002) Vers une ré-évaluation des matières en suspension du Rhône aval par acquisition de mesures sur toute la colonne d'eau. In: *Geomorphology: From Expert Opinion to Modelling* (ed. by D. Delahaye, F. Levoy & O. Maquaire) (Actes du colloque, avril 2002, Strasbourg, France), 141-148. CERG Editions, Strasbourg, France
- Antonelli, C., Provansal, M. & Vella, C. (2003) Recent morphological changes of a channel in a deltaic environment: the case of the Rhône River, France. Soumis à *Geomorphology*.
- Béthemont, J. (1972) Le thème de l'eau dans la vallée du Rhône. Essai sur la genèse d'un espace hydraulique. Thèse de l'Université de Lyon, France.
- Otlé, C. *et al.* (2001) Hydro-meteorological modelling of the Rhône Basin: general presentation and objectives. *Phys. Chem. Earth B* 26(5-6), 443-453.
- Pardé, M. (1925) Le régime du Rhône. Etude hydrologique. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, France.
- Pont, D. (1997) Les débits solides du Rhône à proximité de son embouchure: données récentes (1994-1995). *Revue de Géographie de Lyon* 72(1), 23-43.
- Pont, D. & Bombled, B. (1995) Les débits solides du Rhône à proximité de son embouchure durant l'année hydrologique 1994-1995. In: *Colloque Potam'ies* (7ème rencontre de l'Agence Régionale pour l'Environnement, PACA, octobre 1995, Digne-les-Bains), 283-292.
- Pont, D., Simonnet J. P. & Walter A. V. (2002) Medium-term changes in suspended sediment delivery to the ocean: consequences of catchment heterogeneity and river management (Rhône River, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54, 1-18.
- Roditis, J.-C. (1993) Caractérisation de la charge solide en suspension et alluvionnement du Rhône en tête de l'aire deltaïque. Crues et modalité du transfert sédimentaire. Bilan actuel et évolution récente. Mémoire de DEA, Université Aix-Marseille I, France.