

**Mireille Provansal, Professeur**  
**Guillaume Raccasi, Doctorant**

**Université Aix-marseille 1**  
**CEREGE-CNRS**

**En réponse à l'appel à contribution**  
**« Estimation du débit de la crue du Rhône Décembre 2003 »**

**Préambule :** Je n'ai aucune compétence en hydrologie, ni en hydrométrie. Je suis géomorphologue et, à ce titre, j'ai acquis quelques connaissances sur l'évolution des formes fluviales et le fonctionnement sédimentaire dans le bas Rhône (en aval d'Avignon). Je me permets donc de proposer quelques éléments de réflexion dans le débat sur l'évènement de Décembre 2003, à partir des connaissances acquises par mon équipe, au fil de plusieurs thèses de doctorat et de quelques Masters.

**Ces éléments sont de deux ordres:**

**1. Les XIXème et XXème siècles sont caractérisés par une importante mutation des conditions d'écoulement des crues : la crue (« de référence ? ») de Juin 1856 s'est donc écoulee dans un chenal très différent du chenal actuel**

**Sources :**

Plusieurs travaux universitaires (Volcot, Antonelli) ont montré, à partir du traitement d'images, le rétrécissement et l'approfondissement de la bande active (ou du chenal de lit mineur) depuis le milieu du XIXème siècle. Les images utilisées sont les cartes anciennes (carte d'Etat-Major 1867, relevés locaux archivés), les photos aériennes (1944, 1960, 1970 et 1998) et les relevés bathymétriques (archives Arles, Bouches-du-Rhône, CNR).

Des carottages ont été réalisés le long du Rhône (Lône Saxy, berges), du Grand et du Petit Rhône (B. Rolland, Arnaud-Fassetta, Masters en cours), pour évaluer les vitesses de sédimentation et les mutations des milieux rivulaires.

**Observations :**

- *Le chenal fluvial*

Le chenal du Rhône a subi depuis un siècle un *rétrécissement de plusieurs dizaines, voire centaines, de mètres*. Cette évolution est plus précoce à l'aval (dernières décennies du XIXème siècle en aval d'Arles), plus tardive en amont (après 1940 entre Beaucaire et Arles), donc globalement régressive à partir de l'embouchure. Dans le détail, il est possible de montrer qu'elle est influencée par la nature lithologique du substrat, dont les points durs ont un effet stabilisateur. Le résultat est une simplification du système fluvial, avec l'évacuation des bancs sableux vers l'embouchure et/ou leur rattachement aux berges et leur boisement.

Le chenal subit également une *incision verticale*, dont les valeurs (de 0 à plusieurs mètres) varient selon les secteurs, en fonction de la présence des « points durs ». La position de l'axe du chenal se déplace parfois de façon importante, entraînant un sapement de la base des berges. Cette évolution est particulièrement spectaculaire dans la traversée d'Arles, où elle entraîne un quasi-basculement du profil et un amortissement net de la pente de la ligne d'eau depuis le début du siècle (1905-1999). L'analyse détaillée du différentiel de surface des sections mouillées (1876-2004) entre Beaucaire et Arles est en cours (Raccasi)

Ces évolutions sont le fruit de plusieurs types de facteurs, générateurs d'un ré-ajustement du lit : réduction globale de la charge solide grossière due à la lutte contre l'érosion dans les bassins montagnards, rétention sédimentaire et auto-curage du talweg induits par les casiers Girardon ; plus récemment, rôle des prélèvements de granulats, en particulier sur les affluents, et rétention de la charge de fond dans les Rhône court-circuités.

- *Les milieux rivulaires*

Les ségonnaux ont été soumis à une importante accrétion sédimentaire. Les données manquent à l'échelle séculaire, mais on sait que l'élévation verticale des berges et dans les bras morts atteint localement 1 à plusieurs mètres au cours des dernières décennies (datations par les radio-éléments).

Cette élévation altimétrique réduit les possibilités d'expansion des eaux de crue hors du chenal jusqu'à un débit  $Q_b$  (débit à plein bord, nécessairement plus élevé que celui de 1856), variable selon les secteurs. Elle favorise ainsi l'évacuation des eaux vers l'aval pendant une partie de la période de montée de la crue, modifiant (amplifiant ?) sans doute la forme de l'hydrogramme.

Le boisement (le plus souvent embroussaillé) de ces milieux rivulaires accroît fortement la rugosité, qui ralentit l'écoulement au-delà de  $Q_b$ , modifiant donc (aplatissant) la forme de l'hydrogramme dans un deuxième temps.

- *L'embouchure*

Le débouché du Grand Rhône en mer a été profondément modifié depuis 1856. En 1856, le fleuve évacue ses eaux avec difficulté. Les nombreux travaux réalisés à l'époque pour permettre la navigabilité du fleuve (problèmes de tirant d'eau) témoignent de l'encombrement sédimentaire du grau. Le stockage des sédiments à l'embouchure nécessite l'ouverture du grau de Roustan en 1895. L'ouverture de ce nouveau grau, encore fonctionnel aujourd'hui, constitue certainement un progrès dans l'expulsion des débits solides et liquides par rapport à 1856. Il est donc vraisemblable que la crue de 1856 ait eu, à débit égal et indépendamment des ouvrages de protection ultérieurs, une capacité d'inondation dans le delta supérieure à celle de 2003.

Une collaboration avec les chercheurs en paléoclimatologie (Ullmann) permet de restituer la surcote marine en Mai et Juin 1856. **Les données préliminaires, en cours de traitement au CEREGE, montrent la présence d'une surcote exceptionnelle durant tout le mois de Mai 1856**, qui a certainement aggravé la montée des eaux de crue et les difficultés d'évacuation des eaux d'inondation.

Il est de même probable que le *défluent du Petit Rhône*, en amont d'Arles, ne joue pas le même rôle en 1856 et actuellement. Rappelons qu'en 1856 le Petit Rhône évacue environ 20 % du débit moyen (pour 10% actuellement). Quelles sont les implications sur la sédimentation du palier d'Arles ? Etait-elle moins abondante ??

## **Conclusions**

Ces mutations ont nécessairement un impact sur les capacités d'écoulement des crues.

Celles-ci ont actuellement à leur disposition un chenal unique, moins rugueux, plus profond mais beaucoup moins large qu'en 1856, avec des valeurs plus élevées de  $Q_b$ . Au-delà de  $Q_b$  les possibilités d'expansion spatiale sont limitées, dans un milieu à très forte rugosité.

A partir de données d'archives (vitesses, section mouillée), le CEREGE a effectué un calcul comparatif des hauteurs d'eau à débit équivalent sur deux sections du chenal à l'entrée d'Arles en 1897 (283,2) et 1999 (PK 282,6). Il en ressort une différence de 200m<sup>3</sup>/s pour une

hauteur d'eau équivalente mettant bien en lumière les effets de l'approfondissement du chenal (Raccasi).

On retiendra donc l'existence de **contraintes nouvelles et contradictoires entre elles, à la fois en termes de volumes disponibles et en termes de vitesse**. Le chenal est plus profond, mais moins large ; certaines évolutions favorisent un écoulement plus rapide (profondeur, chenal unique, moins large et moins rugueux), d'autres un écoulement plus lent (végétalisation des berges et ségonnaux, basculement localisé de la ligne d'eau).

Le bilan global n'a pas encore été calculé. Son évaluation fait l'objet d'une thèse à financement régional PACA (G. Raccasi). A mon avis, il est rendu difficile par l'hétérogénéité des milieux et doit d'abord passer par des bilans localisés des modifications de la débitance.

**Compte-tenu de ces observations, peut-on considérer la crue de 1856 comme la crue de référence ? Plusieurs remarques à ce sujet :**

- Pourquoi retenir la crue de 1856 et non celle de 1840, dont les contemporains et Pardé lui-même dit qu'elle a été la plus forte ?
- La mesure des débits en 1856 est-elle meilleure que celle de 2003 ? Comment être certain de sa validité ? En particulier comment tenir compte de la participation de la charge solide à l'amplification du débit liquide ?
- A ce sujet on rappellera les remarques prudentes de Pardé, qui note (1) l'influence des ruptures de digues en amont de Beaucaire en 1856, qui diminuent la hauteur d'eau, (2) la marge d'erreur liée aux difficultés du jaugeage (sous-estimation des vitesses d'environ 10% lors des crues très fortes), (3) l'instabilité du lit à Beaucaire qui perturbe régulièrement le tarage., (4) l'élévation artificielle de la ligne d'eau liée à la construction du viaduc en 1852.
- La modélisation du débit de 1856 dans le chenal actuel nécessite d'avoir une bonne connaissance de la géométrie de ce dernier, en particulier des milieux rivulaires et de la forte rugosité qui les caractérise, sur les berges (berges hautes de plusieurs mètres à l'emplacement des anciens bancs mobiles) et sur les ségonnaux (ripisilve embroussaillée, ouvrages transversaux dans les lônes). Est-ce possible ??

**Pour ces différentes raisons, j'aurais tendance à considérer la crue de 2003 comme une bonne référence pour les problèmes qui nous occupent : ses conditions d'écoulement sont à peu près celles que nous connaissons encore dans les décennies à venir et la mesure de son débit est effectuée avec des appareils à priori plus performants qu'au siècle dernier. Mais c'est une réflexion de géomorphologue !**

**2. La mobilité du fond du chenal est actuellement très importante lors des crues et perturbe le tarage du débit.**

*Sources :*

Plusieurs travaux universitaires ont démontré la mobilité de la charge de fond lors des forts débits (Antonelli, Maillet et Raccasi, Master en cours).

Les mesures reposent sur la comparaison de bathymétries (1993-1994 sur le Petit Rhône, 2002 et 2003 sur l'aval du Grand Rhône) et sur des prélèvements sédimentaires comparés (1967 et Mars et Avril 2005 sur le petit Rhône).

Cette mobilité à brève échelle de temps est confirmée par les comparaisons bathymétriques interannuelles effectuées par la CNR sur le palier d'Arles.

#### **Observations :**

- *Importance volumétrique et rapidité de la mobilité des fonds lors des crues :*

A l'aval du Grand Rhône, entre Port Saint Louis et la mer (6km de long), la crue de décembre 2003 a exporté environ 600.000 m<sup>3</sup>, créant un approfondissement du chenal, localement important (de -8m à -15m), un sapement de berge et l'apparition de « bouchons sédimentaires » localisés dans les sinuosités du chenal.

Ces mesures, localisées à l'aval de Port Saint Louis (thèse de G. Maillet sur l'évolution de l'embouchure), ne préjugent cependant pas de l'existence de valeurs similaires en amont.

Dans le Petit Rhône, la comparaison des bathymétries 2001-2004 montre l'efficacité de la crue de 2003 sur la mobilité de la charge de fond. La petite crue d'Avril 2005 (environ 4000 m<sup>3</sup>/s ) a modifié la distribution des bancs sableux.

- *La mobilité instantanée des fonds lors des crues peut donc perturber le tarage du débit.* On peut faire l'hypothèse que les stations de mesure de la CNR sont situées en secteur stable (cf. vérifications récurrentes par la CNR). Mais l'évacuation des bancs de fond de chenal en aval de la station, en agrandissant le volume disponible, modifie vraisemblablement la pente locale de la ligne d'eau....donc les caractères de l'hydrogramme ....et les possibilités de débordement.

#### **Conclusions**

Il me semble important de prendre en compte également ce paramètre dans une réflexion sur les difficultés du tarage, mais aussi dans l'évaluation des variations instantanées de la débitance.

Il est assez vraisemblable que ce problème ait pu affecter plus sensiblement la mesure des crues au XIX<sup>ème</sup> siècle qu'au XX<sup>ème</sup> siècle : il est en effet notoire que le chenal du Rhône a été encombré jusques vers les années 1850 d'une charge de fond grossière et abondante, dont le transfert lors des crues devait poser des contraintes aux hydrauliciens.

#### **Conclusion**

**Les crues du XIX<sup>ème</sup> siècle peuvent-elles servir de « référence » ? Je pense que non. Les données à leur sujet nécessitent tellement de précautions, dont la mesure est incertaine, qu'il vaut mieux s'appuyer sur une « référence » contemporaine pour évaluer l'alea.**

#### **Références**

- Antonelli, 2002, thèse, Université Aix-Marseille 1 (dir. M. Provansal)
- Arnaud-Fassetta, 1998, thèse, Université Aix-Marseille 1 (dir. M. Provansal)
- Maillet, thèse en cours, Université Aix-Marseille 1 (dir. M. Provansal)
- Raccasi, thèse en cours, Université Aix-Marseille 1 (dir. M. Provansal)
- Rolland, thèse IRSN en cours (dir. D. Bourles)
- Ullmann, thèses en cours, Université Aix-Marseille 1 (dir. V. Moron)
- Volcot, 1999, DEA, Université Paris VII (dir. Arnaud-Fassetta)