

## RÉSUMÉ DE THÈSE :

### ***Apports de matières en suspension par les fleuves côtiers à l'Étang de Berre (Bouches-du-Rhône, France) : quantification des flux, identification des zones sources, étude des relations avec les conditions hydrologiques***

Mirabelle FIANDINO (2003) - Thèse de l'Université de Provence, 325 p.,  
76 tableaux, 74 figures, 40 cartes, 23 photographies.

Cette thèse a été publiée dans un supplément (260 p.) au présent numéro des *Études de Géographie Physique*. Il est possible de se la procurer auprès du rédacteur de la revue contre une participation aux frais de port et d'emballage (prendre contact avec lui par mél : martincl@infonie.fr ou par téléphone : 04 94 47 53 24).

L'Étang de Berre, vaste bassin d'eau saumâtre en communication avec la Méditerranée, sert d'exutoire à trois principaux cours d'eau à régime méditerranéen marqué, l'Arc, la Touloubre et la Cadière. Il constitue un milieu côtier fragile. Depuis plusieurs décennies, l'Étang de Berre connaît des modifications de son fonctionnement naturel, du fait d'une forte anthropisation du bassin versant et des apports d'eau douce et de sédiments qui, à partir de 1966, sont amenés de la Durance par un canal ouvert pour assurer le fonctionnement d'une centrale hydroélectrique (EDF).

L'étude des fonctionnements hydrosédimentaires du bassin de l'Étang de Berre a été conduite en se plaçant à deux niveaux complémentaires : d'une part, en identifiant les zones qui, sur les versants ou dans les cours d'eau, subissent des phénomènes d'érosion et, d'autre part, en quantifiant les transports de matières en suspension par les principaux cours d'eau.

#### **I - LE BASSIN VERSANT DE L'ÉTANG DE BERRE : CONTEXTES "NATURELS", ANTHROPIQUES ET HYDRO-CLIMATIQUES**

La présentation des bassins versants de l'Arc (720 km<sup>2</sup>), de la Touloubre (400 km<sup>2</sup>) et de la Cadière (73 km<sup>2</sup>) s'appuie sur l'établissement de cartes représentant les pentes, la lithologie et l'occupation du sol. L'approche cartographique est largement fondée sur des documents préexistants (IGN, BRGM, Société du Canal de Provence, Corine Land Cover), mais elle a également nécessité de nombreuses reconnaissances de terrain.

Le climat méditerranéen qui prévaut sur le secteur, est défini à partir des données récupérées auprès de Météo-France. La carte de répartition des précipitations met en évidence un gradient négatif d'est en ouest. Les précipitations annuelles moyennes sur la période 1973-1999 sont maximales sur la partie orientale du bassin de l'Arc (plus de 800 mm) et minimales sur le bassin de la Cadière (moins de 550 mm).

Les données hydrologiques fournies par la DIREN mettent en évidence des fonctionnements assez différenciés. Si l'Arc montre un régime méditerranéen typique, avec des hautes eaux en automne et en hiver, et des basses eaux en été, la Touloubre offre des débits de base élevés du printemps à l'automne, en raison des apports d'eau en provenance de la Durance pour l'arrosage. La Cadière, quant à elle, a des écoulements annuels très abondants. Son bassin versant est largement imperméabilisé, du fait d'une forte anthropisation (densité de population de l'ordre de 1400 habitants/km<sup>2</sup>, contre 350 pour l'Arc et 250 pour la Touloubre), ce qui favorise le ruissellement et limite l'évapotranspiration. De plus, la rivière reçoit des eaux provenant de l'extérieur du bassin versant, soit par des sources karstiques, soit par un canal destiné aux usages domestiques et industriels.

#### **II - IDENTIFICATION DES ZONES SENSIBLES À L'ÉROSION MÉCANIQUE SUR LES VERSANTS**

La prise en compte des facteurs de l'érosion (agressivité des pluies, érodibilité des sols, topographie, couvert végétal) débouche sur

l'établissement d'une carte de sensibilité des bassins versants à l'érosion mécanique.

Cette approche est complétée par une étude des possibilités de transfert du matériel sédimentaire depuis les versants jusqu'aux cours d'eau principaux. Elle dresse un état général des fossés et des réseaux fluviaux élémentaires et rapporte les concentrations de matières en suspension (MES) mesurées dans ces drains lors d'épisodes pluvieux.

Dans le bassin de l'Arc, les zones sensibles à l'érosion occupent près de 70 % de la superficie. Le centre et l'est du bassin offrent les conditions les plus favorables à l'érosion : pentes fortes, grande extension des terrains cultivés (en particulier sous forme de vignobles), substrats argileux et marneux, sols profonds et peu caillouteux, conditions climatiques relativement agressives. De plus, le matériel détritique susceptible d'être livré est fin et les débits liquides peuvent être très forts. Les conditions sont donc favorables au transfert des débris vers l'aval.

Dans le bassin de la Touloubre, les secteurs sensibles à l'érosion n'occupent que 45 % de la superficie. Les conditions offertes à l'érosion et au transfert des MES sont nettement moins favorables que dans le cas de l'Arc : roches moins fragiles, pentes moins fortes, compartimentage des zones susceptibles de fournir des matériaux.

Dans le bassin de la Cadière, les conditions sont assez propices à l'érosion et au transfert : pentes fortes, substrat fragile, débits de crue importants en relation avec de vastes zones urbanisées. Les zones sensibles à l'érosion représentent 60 % du bassin. Toutefois les fonctionnements hydrosédimentaires sont certainement amortis, du fait d'une agressivité climatique annuelle moyenne plus faible que sur les autres bassins.

L'extension des zones sensibles à l'érosion est encore importante dans les bassins de l'Arc et de la Cadière. Mais elle est en net retrait au regard de la situation qui prévalait dans les années 1970. En effet, depuis une trentaine d'années, l'évolution de l'occupation du sol, marquée par une régression des activités agricoles et par une densification de la végétation "naturelle" et de la ripisylve, a provoqué la réduction des surfaces soumises aux phénomènes d'érosion et leur relative déconnexion par rapport aux cours d'eau.

### III - MESURE ET QUANTIFICATION DES FLUX DE MATIÈRES EN SUSPENSION DANS L'ARC, LA TOULOUBRE ET LA CADIÈRE

De septembre 1998 à décembre 2000, pour la Touloubre et la Cadière, et de janvier 1999 à décembre 2000, pour l'Arc, les cours d'eau ont fait l'objet de nombreuses campagnes de prélèvements, aussi bien lors des crues qu'en basses eaux. Les flux de MES ont été évalués à partir des concentrations mesurées et des débits. Les stations hydrométriques de la DIREN qui ont servi de support à la mesure des exportations en suspension, commandent des superficies de 650 km<sup>2</sup> pour l'Arc, 386 km<sup>2</sup> pour la Touloubre et 72,4 km<sup>2</sup> pour la Cadière.

Les transports de MES se produisent, pour l'essentiel, pendant les crues. Toutefois les cours d'eau évacuent également des MES en dehors de ces événements, ce qui témoigne de l'existence d'apports en grande partie d'origine anthropique.

Lors des plus fortes crues, les concentrations maximales des MES ont varié :

- sur l'Arc, de 2 à 4 g/l, pour des débits instantanés maximaux allant de 80 à 110 m<sup>3</sup>/s ;
- sur la Touloubre, de 1 à 2 g/l, pour des débits maximaux compris entre 11 et 14 m<sup>3</sup>/s ;
- et enfin sur la Cadière, de 2 à 3,5 g/l, pour des débits maximaux de 20 à 55 m<sup>3</sup>/s.

Au cours des principaux épisodes de crue, les flux de MES ont atteint :

- 6400 à 8500 tonnes pour l'Arc (érosion spécifique de 9,9 à 13,1 t/km<sup>2</sup>) ;
- 700 à 1100 tonnes pour la Touloubre (érosion spécifique de 1,8 à 2,9 t/km<sup>2</sup>) ;
- et 500 à 2800 tonnes pour la Cadière (érosion spécifique de 6,9 à 38,6 t/km<sup>2</sup>).

Les flux les plus abondants ont été mesurés lors de très fortes crues générées par des pluies à caractère orageux.

En dehors des périodes de crue, les concentrations des MES avoisinent 0,03 g/l sur l'Arc, 0,06 g/l sur la Touloubre et 0,05 g/l sur la Cadière. Les MES proviennent alors des stations d'épuration, des rejets domestiques directs et, sur la Touloubre, des canaux d'irrigation, qui fonctionnent principalement d'avril à octobre (concentrations de MES comprises entre 0,03 et 0,06 g/l dans les eaux des canaux).

Après avoir discuté la représentativité de la période d'observation par rapport à l'ensemble des données pluviométriques et hydrologiques disponibles, une extrapolation dans le temps des flux mesurés a été réalisée.

En se basant sur les résultats des campagnes de prélèvements, il a été possible de déterminer, pour chaque cours d'eau, une loi générale de fonctionnement hydrosédimentaire en fonction des conditions hydrologiques et une autre loi en fonction des conditions pluviométriques.

Sur la période commune de calcul des flux utilisant les données hydrologiques (de 1998 à 2000), les flux annuels moyens de MES s'élèvent à 23 517 tonnes pour l'Arc (36,2 t/km<sup>2</sup>/an), 6 488 tonnes pour la Touloubre (16,8 t/km<sup>2</sup>/an) et 4 121 tonnes pour la Cadière (56,9 t/km<sup>2</sup>/an). Durant cette période, l'érosion a bénéficié de conditions pluviométriques plus agressives sur le bassin de la Cadière que sur les deux autres bassins.

Sur la période 1961-2000, pour laquelle a été appliquée la méthode de calcul fondée sur les données pluviométriques, les valeurs calculées des flux annuels moyens de MES sont de 23 102 tonnes pour l'Arc, 6 715 tonnes pour la Touloubre et 3 456 tonnes pour la Cadière. Les taux d'érosion spécifiques annuels moyens atteignent donc 35,5 t/km<sup>2</sup> pour l'Arc, 17,4 t/km<sup>2</sup> pour la Touloubre et 47,7 t/km<sup>2</sup> pour la Cadière. Ces valeurs reconstituées sont représentatives à la fois des conditions pluviométriques pendant la période étendue et de certains caractères des bassins versants sur la période de mesure des flux (occupation du sol, aménagements, formes d'érosion préexistantes en cours d'évolution).

Sur les trois cours d'eau, l'automne et l'hiver sont marqués par des flux de matières en suspension élevés, liés à la violence des réponses hydrologiques à des précipitations abondantes et intenses. Sur l'Arc et la Cadière, le printemps et l'été connaissent généralement des flux très faibles, en relation avec la modestie des précipitations. Par contre, sur la Touloubre, les flux d'été apparaissent relativement élevés, les eaux des canaux d'irrigation apportant des quantités non négligeables de matériaux.

Les taux d'érosion obtenus, s'ils témoignent d'une érosion intense, n'en sont pas moins modestes en comparaison de ceux trouvés pour d'autres bassins méditerranéens (jusqu'à des valeurs supérieures à 1 600 t/km<sup>2</sup>/an). Toutefois les grandes disparités observées sur le pourtour méditerranéen résultent très largement de l'influence sur la production sédimentaire de

facteurs autres que climatiques : pente des versants, lithologie, exploitation des terres.

#### **IV - ORIGINE FLUVIALE DES MATIÈRES EN SUSPENSION ET FONCTIONNEMENT HYDROSÉDIMENTAIRE DES COURS D'EAU**

Une reconnaissance fine des milieux fluviaux a permis d'identifier le fonctionnement actuel de chaque cours d'eau et de localiser les secteurs susceptibles d'alimenter les écoulements en matériaux sédimentaires.

Dans les conditions hydrodynamiques actuelles, le fonctionnement de l'Arc s'accompagne dans la moyenne et la basse vallée d'une forte érosion des berges. Le développement de ces phénomènes érosifs a plusieurs causes :

- La fragilité des berges est due à leur hétérogénéité granulométrique, leur hauteur et leur profil subvertical (en particulier lorsqu'elles ne sont pas protégées par la végétation), ainsi qu'à la dynamique de méandrage de l'Arc (tendance naturelle à l'accentuation des sinuosités avec recul des rives concaves). Les berges fournissent localement des sédiments fins et grossiers en grande quantité.
- De nombreuses crues morphogènes se sont produites au cours des années 1990 dont les effets ont été aggravés par les apports hydrauliques des zones imperméabilisées. De plus, ces crues ont fait suite à une longue période de calme hydrologique pendant laquelle le chenal s'est rétréci et s'est végétalisé, accentuant les contraintes sur les berges lors du passage des crues.
- La résistance verticale du lit mineur diffuse les forces hydrauliques sur les berges. Cette résistance est due en partie au pavage du fond du lit par des éléments grossiers, dont certains proviennent d'un stock hérité du Pléistocène. Elle résulte également de la présence de nombreux points durs en fond du lit (seuils artificiels, substrat calcaire).

Le fonctionnement de la Cadière s'accompagne également d'une érosion des berges, surtout dans la partie aval. Les causes de cette érosion présentent quelques similitudes avec le cas de l'Arc : l'impact de crues morphogènes au cours des années 1990 dont les effets ont été accentués par les ruissellements urbains, la répartition discontinue de la ripisylve, la formation d'un pavage et la présence de nombreux points durs dans le fond du lit. Toutefois les

érosions des berges de la Cadière sont sans commune mesure avec celles de l'Arc, d'une part, parce que les berges sont protégées assez régulièrement par des enrochements et des gabions et, d'autre part, parce que la hauteur des berges étant faible, le volume à éroder est modeste.

Le fonctionnement de la Touloubre diffère sensiblement de celui de l'Arc et de la Cadière. Il est caractérisé par la relative stabilité des berges et du lit mineur. Les érosions de berge, en particulier, sont réduites et très localisées. Cela s'explique par la densité de la ripisylve, par la texture limono-argileuse des matériaux constitutifs, par la protection assurée par des enrochements et des gabions, et par le peu de dynamisme manifesté par les écoulements au cours des quinze dernières années.

Pendant la période d'observation, de septembre 1998 à décembre 2000, une reconnaissance des berges de l'Arc, de la Touloubre et de la Cadière a permis d'identifier les zones les plus érodées et de réaliser une estimation des volumes de berges emportés par les crues. Les volumes de matériaux fins arrachés aux berges et livrés au chenal en amont des points de mesure des flux de MES sont estimés à 11000 tonnes pour l'Arc, à 300 tonnes pour la Touloubre et à 150 tonnes pour la Cadière. Ces quantités représentent 16 % des flux totaux de suspensions pour l'Arc, 2 % pour la Touloubre et 1,5 % pour la Cadière. Le reste provient de l'érosion mécanique sur les versants, lesquels constituent, de loin, la principale source de matières en suspension.

En rapportant les volumes de MES transportés par les cours d'eau aux zones sensibles réellement productrices sur les versants, les taux d'érosion spécifiques annuels moyens au cours de la période d'étude s'établissent à 49 t/km<sup>2</sup> pour le bassin de l'Arc, 38 t/km<sup>2</sup> pour le bassin de la Touloubre et 105 t/km<sup>2</sup> pour le bassin de la Cadière.

---

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

---

La quantification des flux de MES de l'Arc, de la Touloubre et de la Cadière, en des points qui contrôlent au total 81 % du bassin versant "naturel" de l'Étang de Berre, montre que les matières en suspension fournies par les fleuves représentent, en moyenne, près du tiers des apports de MES à l'Étang de Berre, 100000 tonnes étant actuellement fournies chaque année par le canal EDF qui amène des eaux de la Durance.

Les fonctionnements hydrosédimentaires observés ont certes des conséquences néfastes dans le contexte des risques qui pèsent sur l'écologie de l'Étang de Berre, mais ils ne présentent en eux-mêmes aucun caractère exceptionnel. Les mesures à prendre pour diminuer les apports de sédiments par les fleuves côtiers, exigeraient la mise en œuvre de moyens très lourds.

Mirabelle FIANDINO