

Transfert de matière en suspension et de carbone particulaire dans le bassin versant de la Têt (Sud de la France)

JAVIER GARCIA ESTEVES & WOLFGANG LUDWIG

UMR 5110-CNRS, Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin, Université de Perpignan, 52 av. de Villeneuve, F-66860 Perpignan Cedex, France
jvgarcia@univ-perp.fr

Résumé Des prélèvements représentatifs et réguliers pour la période 2000–2002, effectués le long de la Têt, fleuve côtier du sud de la France, ont permis d'établir des relations empiriques d'une part entre la concentration en matière en suspension (MES) et le débit et d'autre part entre le pourcentage de carbone particulaire (CP) et la concentration en MES. À partir de ces relations, des bilans de transport de MES et de CP ont été calculés sur une période de 20 ans. L'analyse des flux avant et après un barrage de rétention a permis d'estimer une rétention de 85% de matière particulaire dans le barrage. Les flux spécifiques en MES indiquent une augmentation de l'érodabilité de l'amont vers l'aval, expliquée par la présence de roches tendres et un climat agressif dans la partie basse du bassin. Par contre, le CP montre une érodabilité en amont à peu près équivalente à celle d'en aval.

Mots clefs bassin versant; flux de carbone; flux sédimentaire; matière en suspension

Key words drainage basin; carbon flux; sediment flux; suspended sediment/material

INTRODUCTION

La connaissance du transport solide par les fleuves constitue un élément important dans l'étude de l'érodabilité des sols. L'étude du transfert de la matière en suspension (MES) et du carbone particulaire (CP), d'un fleuve vers les milieux océaniques, permettra d'approfondir nos connaissances des phénomènes d'érosion et des processus de transport des bassins versants (Meddi, 1999). L'objectif premier de ce travail est d'estimer les quantités de MES et de CP exportées par la Têt, fleuve côtier du sud de la France sous climat Méditerranéen. Les questions de la variabilité naturelle de l'érodabilité des sols, à l'intérieur du bassin, et de l'impact d'un barrage sur la rétention des matières particulières seront également abordées. Avec une longueur de 114 km, un bassin versant de 1417 km² et un débit moyen annuel de l'ordre de 11 m³ s⁻¹, la Têt est le fleuve le plus important du Roussillon. Pour atteindre l'objectif de ce travail, des prélèvements réguliers ont été faits entre septembre 2000 et juillet 2002 (hebdomadaires entre sept 2000 et sept 2001 puis mensuels jusqu'en juillet 2002) sur six stations de prélèvements (Fig. 1). Ces stations ont été choisies aux mêmes emplacements que les stations de jaugeages de la Direction Départementale de l'Eau et de la Direction Départementale de l'Agriculture, sauf pour la station la plus proche de l'embouchure (station 6) pour laquelle le débit a été calculé comme la somme du débit de la station 5 et du débit du dernier affluent du fleuve, la Basse. Les valeurs du débit moyen et de la surface du bassin sont montrées dans le Tableau 1 pour chaque station.

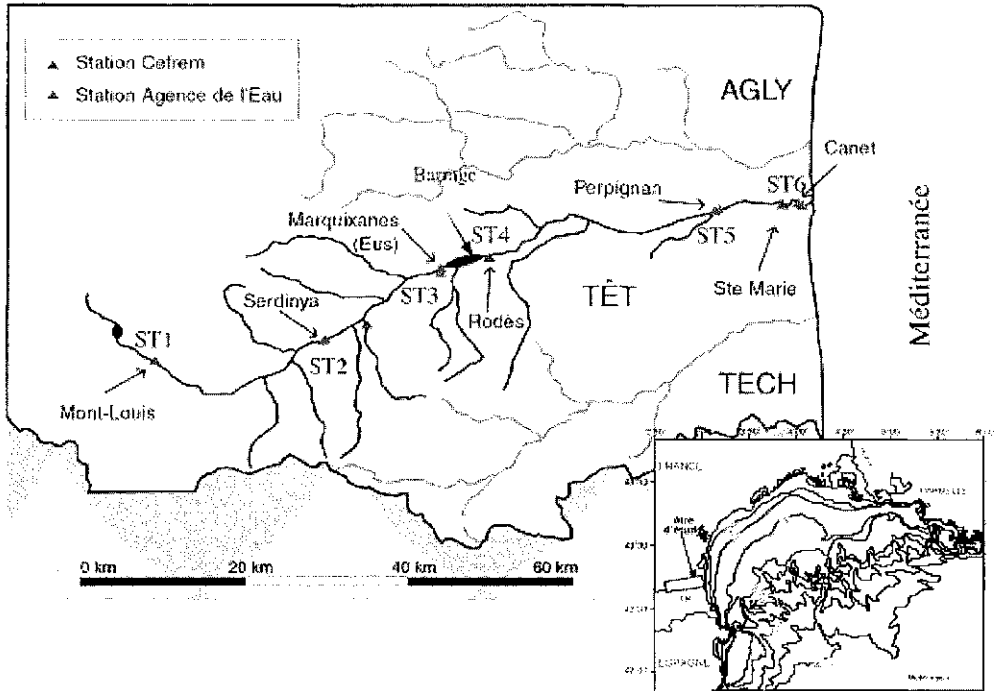


Fig. 1 Bassin versant de la Têt.

Tableau 1 Débits moyens et surface du bassin versant pour les six stations de prélèvements.

Stations	Q moyen ($m^3 s^{-1}$)	Surface du bassin versant (km^2)
St1	1.00	56
St2	4.93	426
St3	8.94	842
St4	9.04	1012
St5	9.47	1314
St6	10.41	1417

Entre la station 3 et 4 se trouve le barrage de Vinça. Ce barrage, d'une capacité de $24.6 Mm^3$, fut construit à la fin des années 1970. Ses rôles principaux sont de réguler le débit du fleuve pendant les crues et de constituer une réserve en eau pour soutenir l'étiage (Courtois *et al.*, 2001).

METHODES

Les échantillons prélevés ont été filtrés sur des filtres GF/F Whatman d'une porosité de $0.7 \mu m$ environ. Les filtres sont passés à $450^\circ C$ pendant 4 h, puis refroidis dans un dessiccateur et pesés. Une fois l'eau filtrée, les filtres sont séchés dans une étuve à $40^\circ C$ pendant 24 h et repesés (Petelet, 1998). La concentration en MES est le résultat du rapport entre la différence de poids des filtres et le volume filtré. Pour calculer les flux de MES, des relations empiriques entre la concentration de MES et le débit

Tableau 2 Concentrations de MES, % de CP, % d'azote particulaire (NP) et rapport C/N pour les six stations.

Station	Nombre de données		MES (mg l ⁻¹)	%CP	%NP	C/N
St1	63	\bar{x} ^a	2.50	22.13	1.79	12.87
		σ ^b	2.04	3.47	0.49	2.54
St2	63	\bar{x}	7.14	17.97	1.74	10.74
		σ	14.33	4.18	0.60	1.65
St3	65	\bar{x}	21.20	14.86	1.56	9.96
		σ	70.57	3.03	0.49	2.15
St4	64	\bar{x}	10.57	9.55	1.45	7.85
		σ	13.80	2.91	0.82	2.68
St5	95	\bar{x}	188.80	7.21	0.99	8.13
		σ	370.69	4.03	0.63	1.58
St6	64	\bar{x}	65.74	11.62	1.61	7.74
		σ	233.46	5.00	0.91	1.30

^a valeur moyenne ^b écart-type

Tableau 3 Equations empiriques pour l'estimation des concentrations journalières de MES.

Station	Equation polynomiale d'ordre 2	R ^{2a}	n ^b
En amont	$\log(\text{MES}) = 0.5171(\log Q_i)^2 + 0.2284(\log Q_i) + 0.2704$	0.4644	180
Après le barrage	$\log(\text{MES}) = 0.746(\log Q_i)^2 - 1.3374(\log Q_i) + 1.3993$	0.3267	61
En aval	$\log(\text{MES}) = 0.3401(\log Q_i)^2 + 0.0728(\log Q_i) + 0.8207$	0.7626	153

^a coefficient de régression ^b nombre de données

instantané ont été établies. Les débits ont été fournis par la banque nationale de données HYDRO. Pour l'ensemble des données, des relations polynomiales d'ordre 2 entre le logarithme de la concentration de MES (Tableau 2) et le logarithme du débit sont observées (Tableau 3). Pour les trois premières stations, en amont du barrage, les relations entre elles ne sont pas significativement différentes, ce qui nous a conduit à regrouper leurs données pour déterminer une seule relation (pour ces trois stations). Une relation individuelle pour la station 4 (après le barrage) a été établie du fait de l'intérêt de cette station pour calculer la rétention de MES et de carbone dans le barrage. Les échantillons des deux dernières stations (station 5 et 6) ont été regroupés pour établir une seule relation en aval du barrage (Tableau 3) car leur comportement est similaire. Ces relations ont ensuite été appliquées à des séries de débits journaliers pour l'année d'étude (sept 2000–sept 2001) et pour une période de 20 ans (1980-1999).

Afin de calculer le flux de MES, les formules suivantes ont été utilisées :

$$\text{pour l'année d'étude: } Flux [t \text{ an}^{-1}] = \sum_{i=1}^{365} (C_i Q_i) \quad (1)$$

$$\text{pour 20 ans: } Flux [t \text{ an}^{-1}] = \frac{\sum_{1980}^{1999} \left[\sum_{i=1}^{365} (C_i Q_i) \right]}{20} \quad (2)$$

où Q_i = débit journalier (m³ jour⁻¹) et C_i = concentration journalière de MES (g m⁻³).

Les relations log-log ont été corrigées selon la méthode de Ferguson (1987). Le CP a été dosé par un analyseur LECO CN-2000 sur les filtres utilisés pour calculer la

MES. Navarro (2000) a montré que même si, dans certains cas, les teneurs en carbonates (CIP) pouvaient atteindre 10% du CP, dans la plupart des cas les teneurs en carbonates sont inférieures à 5%. Par conséquent, les valeurs CP peuvent être considérées comme représentatives des valeurs de Carbone organique particulaire, COP, (CP = COP + CIP). Pour les six stations, le pourcentage de CP décroît de manière régulière avec l'augmentation des concentrations en MES selon une relation de puissances (Tableau 4). Nous avons appliqué ces relations aux concentrations moyennes journalières de MES, qui résultent de nos relations empiriques pour déterminer le flux de MES (Tableau 3 et 4), afin de calculer les flux de CP.

Tableau 4 Equations empiriques pour l'estimation des concentrations journalières de CP.

Station	Relations de Puissances	R ² ^a	n ^b
St1	%CP = 24.752(MES) ^{-0.1616}	0.2073	63
St2	%CP = 23.942(MES) ^{-0.2233}	0.4507	63
St3	%CP = 20.619(MES) ^{-0.2014}	0.4556	61
St4	%CP = 14.985(MES) ^{-0.2438}	0.2442	64
St5	%CP = 18.741(MES) ^{-0.3403}	0.8155	95
St6	%CP = 21.821(MES) ^{-0.28}	0.461	64

^a coefficient de régression

^b nombre de données

RESULTATS ET DISCUSSION

Les flux moyens de MES et CP pour l'année d'étude et sur les 20 ans sont montrés dans le Tableau 5. Les flux spécifiques bruts et nets correspondants sont montrés dans les Tableaux 6 et 7. Le flux spécifique brut a été calculé en faisant le rapport entre les flux estimés et la superficie du bassin versant à la station concernée; le flux spécifique net se calcule avec le rapport, entre la différence de flux d'une station et la station en amont, et la différence des superficies des deux stations. En moyenne sur 20 ans les flux de MES dans le bassin de la Têt sont estimés à environ 70 000 t an⁻¹ à l'exutoire du bassin et à environ 30 000 t an⁻¹ en amont du barrage. Ces valeurs sont en accord avec celles de Serrat *et al* (2001) qui ont utilisé une compilation de données qui couvrent une période plus large et des événements hydrologiques plus extrêmes. Ceci indique que les relations établies dans cette étude sont assez représentatives du transport de MES dans la Têt, même si les flux à l'exutoire pour la période d'étude, ne font que 27% de la moyenne sur 20 ans. Pour le CP, les flux moyens sur 20 ans représentent environ 1700 t an⁻¹ à l'exutoire et 2100 t an⁻¹ en amont du barrage. Pendant l'année d'étude, seuls 56% de ces flux de CP calculés sur 20 ans, ont été transportés à l'exutoire du bassin. Les flux calculés dans les stations 3 et 4 (Tableau 5) peuvent être utilisés pour déterminer la rétention dans le barrage car le flux d'eau qui entre dans le barrage est proche du flux d'eau sortant (le remplissage du barrage s'effectue de janvier à juin et il déstocke ensuite à partir de juillet pour être vide fin octobre). Ainsi la rétention est estimée à 84% pour les MES et à 85% pour le CP en moyenne sur 20 ans. Ces valeurs sont en accord avec la méthode de Vörösmarty *et al* (1997) qui estime la rétention de MES en fonction du temps de résidence de l'eau dans le barrage. Appliquée au barrage de Vinça cette méthode donne une rétention de 81%

Tableau 5 Flux moyens de MES et CP en t an⁻¹.

Station	A 20 ans (MES)	Année d'étude (MES)	A 20 ans (CP)	Année d'étude (CP)
St1	dpd ^a	116	dpd	23
St2	2178	919	273	148
St3	28907	2947	2130	416
St4	4714	2181	327	186
St5	68374	18213	1625	560
St6	71372	19296	1726	971

^a Les débits ne sont pas disponibles

Tableau 6 Flux spécifiques moyens de MES en t km⁻² an⁻¹.

Station	Surface du BV ^o (km ²)	Surface du sous-bassin (km ²) [†]	F1 ^a	F2 ^b	F3 ^c	F4 ^d
St1	56	56	dpd [*]	dpd	2.08	2.08
St2	426	370	5.12	dpd	2.16	2.17
St3	842	416	34.33	64.25	3.50	4.88
St4	1012	170	4.66	-142.31 ^{**}	2.16	-4.50
St5	1314	302	52.04	210.79	13.86	53.08
St6	1417	103	50.37	29.11	13.62	10.51

^a flux brut sur 20 ans ^b flux net sur 20 ans ^c flux brut pour l'année d'étude

^d flux net pour l'année d'étude

^{*} les débits ne sont pas disponibles ^{**} le signe (-) indique une rétention ^o bassin versant

[†] partie de surface entre deux stations

Tableau 7 Flux spécifiques moyens de CP en t km⁻² an⁻¹.

Station	Surface du BV (km ²)	Surface du sous-bassin (km ²)	F5 ^a	F6 ⁱ	F7 ^e	F8 ^h
St1	56	56	dpd [*]	dpd	0.42	0.42
St2	426	370	0.64	dpd	0.35	0.34
St3	842	416	2.53	4.46	0.50	0.64
St4	1012	170	0.32	-10.61	0.18	-1.35
St5	1314	302	1.24	4.30	0.43	1.24
St6	1417	103	1.22	0.98	0.69	3.99

^a flux brut sur 20 ans ⁱ flux net sur 20 ans ^e flux brut pour l'année d'étude

^h flux net pour l'année d'étude ^{*} les débits ne sont pas disponibles

environ. Il est intéressant de souligner que les flux spécifiques de MES et de CP augmentent considérablement entre les stations 4 et 5. Après le barrage le flux spécifique brut de MES atteint 50 t km⁻² an⁻¹ environ, soit 10 fois la valeur de la station 4. Le même comportement est observé pour le CP. En effet, après un flux spécifique brut de CP de 0.32 t km⁻² an⁻¹ à la station 4 (Tableau 7), le flux atteint 1.2 t km⁻² an⁻¹ environ à la station 5 en moyenne sur 20 ans, soit presque 4 fois plus qu'à la station précédente. Ces valeurs indiquent une forte érosion au niveau de la plaine (entre la station 4 et l'exutoire). Ce phénomène peut-être expliqué par la présence des roches relativement tendres et d'un climat plus agressif (Ludwig *et al.*, 2002). Ce phénomène est encore plus visible lorsqu'on regarde les flux spécifiques nets. Les flux spécifiques nets de MES et de CP de la station 5 sont respectivement 210 t km⁻² an⁻¹ et

4.3 t km⁻² an⁻¹. Pour la MES la valeur, nettement plus élevée que pour les autres stations en amont (Tableau 6), indique une forte érosion dans le sous bassin de la station 5. Pour le CP, la situation est un peu différente. Ici, les flux spécifiques nets avant barrage (station 3) et à la station 5 sont pratiquement le même (4.46 contre 4.3 t km⁻² an⁻¹). La qualité du MES diffère spatialement avec un matériel particulaire en amont plus riche en carbone qu'en aval. La forte érodabilité des sols dans la plaine arrive donc à entraîner suffisamment de carbone de manière à retrouver les flux spécifiques nets de carbone observés en amont du barrage.

REFERENCES

- Courtois, N., Le Strat, P. & Marchal, J. P. (2001) Synthèse hydrogéologique de la vallée de la Têt (Pyrénées-Orientales). *BRGM/RP-51321-FR*.
- Ferguson, R. I. (1987) Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth Surf. Processes Landf.* **12**, 95–104.
- Ludwig, W., Serrat, P., Cesmat, L. & Garcia, J. (2002) Evaluating the impact of rising temperatures on the hydrology of the Têt river (Southern France). Submitted to *J. Hydrol.*
- Meddi, M. (1999) Etude du transport solide dans le bassin versant de l'oued Ebda (Algérie). *Z. Geomorphol.* **43**(2), 167–183.
- Navarro, B. (2000) La Têt en Roussillon: Qualité de l'eau et transport de matière de son bassin versant à la Méditerranée. *Rapport de DEA*. Université d'Aix Marseille III, INPL, Toulouse III, France.
- Petelet, E. (1998) Application de la géochimie à l'étude des mouvements d'eaux à moyenne et petite échelle: les bassins versants de l'Hérault et de la Peyne (sud de la France). Thèse, Université Montpellier II, France.
- Serrat, P., Ludwig, W., Navarro, B. & Blazi, J. L. (2001) Variabilité spatio-temporelle des flux de matières en suspension d'un fleuve côtier méditerranéen: la Têt (France). *C.R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la Terre et des Planète.* **333**, 389–397.
- Vörösmarty, C. J., Meybeck, M., Fekete, B. & Sharma, K. (1997) The potential impact of neocastorization on sediment transport by the global network of rivers. In: *Human Impact on Erosion and Sedimentation* (ed. by D. E. Walling & J.-L. Probst) (Proc. Rabat Symp., May 1997), 261–273. IAHS Publ. no. 245.