Le bilan sédimentaire, un outil pour la conception d'un plan de gestion des sédiments du littoral du Languedoc-Roussillon

**Olivier RAYNAL¹, Cédric BRUNEL¹, Raphaël CERTAIN¹, Nicolas ALEMAN¹,
Nicolas ROBIN¹, François SABATIER²**

1. Laboratoire CEFREM, Université de Perpignan Via Domitia,

52 avenue Paul Alduy, 66 860 Perpignan cedex 9, France.

olivier.raynal@univ-perp.fr ; cedric.brunel@univ-perp.fr

2. CEREGE, UMR 6635 CNRS, Centre Européen de Recherche et de l'Environnement,

Europôle Méditerranéen de l'Arbois, 13 545 Aix en Provence, Cedex 4, France.

Résumé :

Un plan de gestion des sédiments à l'échelle régionale du Languedoc-Roussillon est en voie de réalisation (DREAL LR/CPER 2007-2013). Il naît du constat que les différentes actions menées sur le littoral, de manières ponctuelles, n'ont pas amené des solutions satisfaisantes: l'érosion des plages est toujours croissante et entraîne un risque socio-économique important. De plus, les gestionnaires du littoral ont pour but de mettre en place une Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) et de s'adapter au mieux à l'impact des changements climatiques à venir. Afin de bien contraindre les variations du disponible sédimentaire, l'utilisation des nouvelles données LIDAR acquises en 2009 sur toute la frange littorale du Languedoc-Roussillon, confrontées à des bathymétries de 1984 extraites de la base HistoLitt (IGN-SHOM), nous permet d'évaluer les bilans sédimentaires des cellules littorales ainsi que les transits supposés entre ces cellules. Ces résultats constituent aujourd'hui la base scientifique la plus solide et deviennent le principal outil pour la gestion des sédiments littoraux. Ils présentent, cependant, des limites méthodologiques et des incertitudes. Le but de ce travail est de mener une réflexion sur la méthode des bilans sédimentaires à l'échelle d'un littoral sableux partiellement artificialisé et de définir leurs utilisations dans des actions de gestion concrètes. Cette réflexion implique la comparaison entre les données scientifiques et les travaux de gestion réalisés dans le passé tels que la construction de ports, les rechargements artificiels et les dragages sableux d'avant-ports. Elle met en évidence l'impact de ces travaux sur le continuum sédimentaire bassin versant/littoral.

Mots-clés :

Bilans sédimentaires – Gestion des sédiments – Languedoc-Roussillon – GIZC

1. Introduction

En Languedoc-Roussillon, les risques littoraux menacent une grande partie de la population de la région, des voies de communication, des secteurs économiques et l'écosystème du littoral. Actuellement, le constat montrant que les actions qui ont été

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

menées sur le littoral sont peu satisfaisantes (RAYNAL *et al.*, 2010), pousse les gestionnaires à développer un plan de gestion des sédiments à l'échelle régionale, à court et moyen terme.

Ce Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon (PGSLR) a pour but de proposer des solutions de gestion durable du littoral, en accord avec le projet "Gérer durablement le littoral" du CPER 2007-2013. Ce plan de gestion passe par la connaissance de la dynamique sédimentaire du littoral. Dans ce but, l'utilisation des nouvelles données LIDAR acquises en 2009 sur toute la frange littorale du Languedoc-Roussillon, confrontées à une bathymétrie de 1984 extraite de la base HistoLitt (IGN-SHOM), nous permet d'évaluer les bilans sédimentaires de chaque cellule littorale ainsi que les transits supposés entre ces cellules.

Nous nous proposons ici de discuter de l'utilisation de cette méthodologie afin de mener une réflexion sur les différents aspects de gestion du littoral.

2. Contexte général

La zone d'étude s'étend sur environ 200 km de littoral entre les villes d'Argelès/mer au sud et le Grau du Roi au Nord (voir figure 1). Ce linéaire côtier, d'environnement micro-tidal, est constitué d'une succession de cordons littoraux sableux, entrecoupés par des caps rocheux (Cap Leucate, Cap d'Agde, Sète). Sous l'effet de la dérive littorale (voir figure 1), estimée aujourd'hui entre 10000 et 40000 m³/an selon les secteurs (DURAND, 1999 ; CERTAIN, 2002 ; LNH/SOGREAH, 1984), les cordons littoraux ont isolé de nombreuses lagunes. Les sédiments qui composent les cordons littoraux proviennent principalement du Rhône et des fleuves côtiers: le Tech, la Têt, l'Agly, l'Aude, l'Orb et l'Hérault (ALOISI & CHARLET, 1975 ; RIVIERE & VERNET, 1966 ; MONACO, 1971 ; LCHF, 1984 ; AMBERT, 1987). Les fleuves côtiers sont caractérisés par un fonctionnement en régime de crues durant lesquelles d'importantes quantités de sédiments sont fournies au littoral (PARDE, 1941).

A partir des années 60, le littoral du Languedoc-Roussillon a été équipé d'aménagements côtiers avec la construction *ex nihilo* de 13 stations balnéaires construites autour de ports de plaisance. Aujourd'hui, plus de 30% de la ligne côtière du Languedoc-Roussillon est équipée de structures de protection (IFEN, 2007). Depuis les années 1980-90, les gestionnaires du littoral procèdent à des rechargements artificiels en sables afin de compenser les phénomènes d'érosion du littoral. Le rechargement le plus important de la région a été réalisé sur les plages du Golfe d'Aigues-Mortes. Il représente un total de 1.1 M de m³ de sédiments, soit environ 42% du volume total des rechargements régionaux (VANROYE, 2009). Le reste des rechargements correspond à des volumes de 100 à 100000 m³, dont les sédiments sont issus de dragages autour d'épis et de jetées de ports qui piègent une partie du flux sédimentaire longitudinal à la côte.

Figure 1. Carte de localisation du site d'étude et représentation des 5 compartiments littoraux du Golfe du Lion. Dans ce travail, nous ne traiterons pas du littoral du delta du Rhône (Camargue), bien que le flux entrant dans le littoral régional soit pris en compte.

3. Données et méthodes

Afin de quantifier l'évolution bathymétrique de l'avant côte du Languedoc-Roussillon, deux jeux de sondes ont été analysés (voir tableau 1). Selon le SHOM la marge d'erreur verticale des sondes de 1984 réalisées au sondeur à ultrasons est de ± 0.2 m et selon FUGRO (2010) la marge d'erreur verticale des sondes LIDAR de 2009 est de ± 0.3 m. Pour chaque date (1984 et 2009), un MMT est calculé par triangulation. Les différentiels sédimentaires sont obtenus par la différence entre les deux MNT. En accord avec les marges d'erreurs des données, une valeur de ± 0.5 m a été retenue comme seuil à partir duquel les variations bathymétriques peuvent être considérées comme significatives. Ainsi, seuls les mouvements supérieurs à $+0.5$ m et inférieurs à -0.5 sont pris en compte dans les volumes annoncés. Les mouvements observés dans la marge d'erreur de ± 0.5 m sont utilisés pour calculer la marge d'erreur des volumes obtenus.

Une limite commune à -12m au large est prise pour délimiter les différentiels. Cette limite est sensée intégrer l'ensemble des mouvements de l'avant côte, puisque la profondeur de fermeture, limite au-delà de laquelle on n'observe plus de mouvements significatifs du fond, se situe entre 6 et 10 m selon SABATIER *et al.* (2004).

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

La plage aérienne n'est pas prise en compte dans les différentiels. Cependant les études précédentes ont montré que la plage aérienne ne représente qu'une part limitée du stock sédimentaire total du profil de plage (CERTAIN, 2002).

Les données de travaux réalisés sur le littoral du Languedoc-Roussillon (rechargements, dragages et construction d'ouvrages) sont issues de la base de données de la DREAL-LR et d'une revue bibliographique. L'ensemble de ces données est recensé dans le rapport de *phase B* du PGSLR (RAYNAL *et al.*, 2011). Ces informations concernant le littoral sont complétées par des données sédimentaires au niveau des fleuves (flux, extraction) issues de la bibliographie.

Tableau 1. Jeux de données bathymétriques utilisées au cours de cette étude.

Date	Type de données	Source	Zone	Densité	Marge d'erreur verticale (m)
1984	Sondes	SHOM	régionale	1 pt / 25 m	+/-0.20
2009	LIDAR	FUGRO/DREAL LR	régionale	1 pt / 10 m	+/-0.30

4. Résultats et discussion

4.1 Budget sédimentaire de l'avant côte du Languedoc-Roussillon (1984/2009)

Le budget sédimentaire de l'avant côte du Languedoc-Roussillon est significativement négatif de 1984 à 2009 ($- 30.2 \text{ M m}^3 \pm 4.2$) (voir figure 2). Spatialement, on observe à l'échelle du Languedoc-Roussillon une situation d'érosion généralisée pour l'avant côte avec du nord au sud : $-4.8 \text{ M de m}^3 \pm 0.8$ de sédiments perdus pour le compartiment du Golfe d'aigues Mortes, $-3.2 \text{ M de m}^3 \pm 0.2$ pour le compartiment Hérault, $-15.7 \text{ M de m}^3 \pm 1.6$ pour le compartiment du Narbonnais et $-6.3 \text{ M de m}^3 \pm 1.5$ pour le compartiment du Roussillon.

Malgré l'avancée considérable pour les plans de gestion des sédiments que représente l'utilisation de ces différentiels bathymétriques, elle comporte une limite majeure: la perte de sédiments au large qui semble avérée reste inconnue.

Un travail préliminaire tend à évaluer ces pertes de sédiments. En effet, alors que de précédentes études de la dynamique littorale du Languedoc-Roussillon s'accordent sur des valeurs de transits sédimentaires longitudinaux estimées entre 10000 et 40000 m^3/an (MONACO, 1971 ; L.C.H.F., 1984 ; SOGREAH, 1983 ; DURAND, 1999), le bilan sédimentaire par cellules calculé par BRUNEL (2010) indique des pertes comprises entre 10000 et 100000 m^3/an . En comparant ces valeurs et en partant du principe que plus le déficit sédimentaire, par cellule, est important par rapport aux valeurs de transits longitudinaux, plus les pertes au large (transversales) sont importantes, on obtient une

première estimation. Il semblerait qu'une majorité des sables érodés soit entraînée au large (au-delà de notre zone d'étude qui s'étend jusqu'à -12 m de profondeur), vraisemblablement perdue pour le prisme littoral sableux puisque transportée au-delà de la profondeur d'action des vagues sur le fond.

Figure 2. Tendence d'évolution de la dynamique sédimentaire de l'avant côte du Golfe du Lion entre 1984 et 2009.

4.2 Efficacité des rechargements

La comparaison des volumes utilisés pour les rechargements artificiels (RAYNAL *et al.*, 2011) avec les bilans sédimentaires met en évidence un important problème d'échelle. En effet, à l'échelle du Languedoc-Roussillon et des 25 dernières années, le rapport volume érodé/volume rechargé est extrêmement déséquilibré. Ainsi, le bilan sédimentaire global est de -30.2 M m³ (+/-4.2) alors que le volume des rechargements n'est que de 1.1 M de m³. Il faudrait donc un volume environ 27 fois plus important de rechargements pour compenser en totalité l'érosion actuelle. Ce constat soulève dès aujourd'hui la question de la localisation de sources sédimentaires disponibles et exploitables. L'autre point important est la question de l'investissement matériel et financier à fournir au vu des volumes annoncés et des coûts associés. Les phénomènes d'érosion ne pourront certainement pas tous être résorbés et il apparaît que des reculs stratégiques locaux seront inévitables.

4.3 Morphodynamique naturelle et gestion portuaire des sédiments, le cas de Port- la - Nouvelle

Le secteur de Port-La-Nouvelle se situe au Sud de la convergence de deux dérives littorales dans le Narbonnais (DURAND, 1999 ; CERTAIN, 2002). Au contact direct

des jetées du port de Port-la-Nouvelle, on observe, au Nord du port, une encoche d'érosion sur 750 m de linéaire côtier qui entraîne un décalage vers la terre du trait de côte de 300 m par rapport au trait de côte situé au Sud du Port. Ce schéma illustre les effets du blocage de la dérive littorale Sud-Nord par les jetées du Port (voir figure 3).

Figure 3. Photographie aérienne du trait de côte et différentiel bathymétrique 1984/2009 au droit du port de Port-la-Nouvelle.

Au sud du port les transferts sont alimentés par les apports des trois fleuves côtiers (Tech, Têt, Agly) ainsi que par l'érosion de cellules sédimentaires en amont-dérive. Ces transferts sont estimés entre 20000 m³/an (LNH/SOGREAH, 1984, DURAND, 1999) et 12000 m³/an (SOGREAH, 1978) et se poursuivent vers le Nord du cap Leucate qui est partiellement contourné. Dans la partie nord de Port-la-Nouvelle, les transferts longitudinaux vont vers le Sud en s'accroissant depuis le Cap d'Agde jusqu'à l'embouchure de l'Aude, où ils atteignent un maximum de 40000 m³/an, avant de décroître progressivement en direction du Grau de la Vieille-Nouvelle (10000 à 20000 m³/an) (DURAND, 1999). La convergence de ces deux dérives explique la relative stabilité de ce linéaire côtier (+/-10 m).

Pour des raisons d'accessibilité au port, de 2005 à 2009, 765700 m³ (153000 m³/an) de sédiments (sables et vases) ont été dragués tous secteurs du port confondus. Le volume dragué dans le chenal d'accès de 2005 à 2009 représente 191 500 m³, composés en majorité de sables (98%), soit environ 38000 m³/an. L'ensemble de ces sédiments sont

déposés en mer à 20 m de profondeur. De par la localisation de leur zone de dépôt, ces sédiments ne sont pas remobilisables par la dynamique littorale. L'estimation du budget sédimentaire de l'avant-port par différentiels bathymétriques (voir figure 3) de 1984 à 2009 corrobore les volumes dragués annoncés avec un budget sédimentaire de: $-850000 \text{ m}^3 (+/-3000)$, soit $-34000 \text{ m}^3/\text{an}$.

Dans l'avant côte de Port-La Nouvelle, il existe donc une concordance entre les volumes fournis par les dérives littorales ($20000 \text{ m}^3/\text{an}$ depuis le sud et entre 10000 et $20000 \text{ m}^3/\text{an}$ depuis le nord) soit entre 30000 et $40000 \text{ m}^3/\text{an}$, les volumes dragués dans le chenal d'accès ($38000 \text{ m}^3/\text{an}$ de 2005 à 2009), et les volumes déduits des différentiels bathymétriques de 1984 à 2009 ($-34000 \text{ m}^3/\text{an}$). On en déduit que le port et les pratiques actuelles retiennent la quasi totalité du transit sédimentaire.

Il apparaît ici clairement que la gestion d'un port peut avoir une influence directe sur la dynamique et sur le bilan sédimentaire d'un littoral. Dans cet exemple, les volumes de sédiments perdus par dragage (1.5 M m^3 depuis 1970) par le système littoral représentent une part importante du budget sédimentaire global. Surtout lorsqu'on considère les volumes mis en œuvre au cours des rechargements artificiels au niveau régional (environ 2.6 M de m^3 depuis 1970).

Pour une meilleure gestion des sédiments, il paraît raisonnable de proposer: 1) d'arrêter de déposer les sables dragués au-delà de la profondeur d'action des houles ($6/10 \text{ m}$ de profondeur) et d'utiliser ces sables au profit de rechargements artificiels de plages dans des secteurs en érosion. 2) de mettre en œuvre un by-pass des sables d'une capacité d'au moins $20000 \text{ m}^3/\text{an}$, afin de limiter l'ensablement du port et de maintenir l'équilibre du secteur Nord du Port, entre Port-La-Nouvelle et Gruissan.

4.4 Apports des sédiments des fleuves à la mer

Dans l'optique d'une gestion intégrée des sédiments côtiers, il est nécessaire d'estimer le rôle des fleuves côtiers sur l'évolution de l'avant côte. En particulier dans le contexte actuel de déclin général du transport sédimentaire des rivières (PICHARD, 1995 ; PONT *et al.*, 2002 ; WALLING & FANG, 2003). Durant la période 1984-2009, l'ensemble des embouchures du Roussillon sont en érosion. Ainsi, même si les fleuves distribuent toujours des sédiments à la mer, leurs apports semblent insuffisants pour compenser l'érosion marine. Cette hypothèse est renforcée par l'estimation, faite à partir de données bibliographiques, du volume total de sédiments fournis par les fleuves à la mer sur la même période (entre 6.5 et 8.9 M de m^3) et du bilan sédimentaire de l'avant côte des compartiments alimentés par ces fleuves (-22.1 M de $\text{m}^3 +/-3.1$). On constate que la charge de fond des fleuves devrait être environ 2.5 à 3.5 fois supérieure pour compenser l'érosion de l'avant côte. Même une crue exceptionnelle, comparable à celle de 1940 (9 à 13.5 M de m^3 fournis à la mer en quelques heures d'après PARDE, 1941), ne compenserait que partiellement l'érosion pluri-décennale de ces compartiments. Pour

des raisons climatiques et anthropiques (barrages écrêteurs de crues et pièges à sédiment grossiers), un tel type de crue conserve un caractère plus qu'exceptionnel.

On en déduit que les rivières ne peuvent plus compenser l'érosion des plages, qui constituent en fait un réajustement du système. Il est très difficile de distinguer les effets naturels de l'influence anthropique sur la diminution de la charge solide des fleuves côtiers, mais cette réduction a été significativement renforcée par les activités humaines avec la construction de barrages et l'exploitation des lits des rivières qui sont reconnus comme facteurs d'érosion côtière (GUILLEN & PALANQUES, 1993 ; MILLIMAN, 1997 ; PONT *et al.*, 2002). Dans le Languedoc-Roussillon, depuis la construction des barrages sur les fleuves (1980), les débits maximaux sont réduits d'un facteur 20 et on ne mesure plus une seule crue importante. Ce qui a pour conséquence de diminuer la compétence des fleuves sur les sédiments situés dans le lit des rivières en aval des barrages. De plus, entre ces barrages et la mer, le volume de sédiments prélevés dans le lit des rivières entre 1971 et 1992 (7 M de m³) représente environ un quart du déficit du Roussillon de 1984 à 2009. Il est clair que le rôle de l'anthropisation des fleuves sur la diminution des apports en sédiments sur le littoral n'est pas négligeable. Dans ces conditions, on peut s'attendre à une poursuite et une accélération de l'érosion de l'avant côte du Roussillon, plus particulièrement pour les secteurs proches des embouchures, où se localisent d'importants enjeux socio-économiques.

Afin de reconstituer partiellement le continuum sédimentaire bassin versant/littoral et donc de rétablir une par des apports sédimentaires du littoral pour lutter contre son érosion, il est primordial d'établir une gestion concertée sur l'ensemble de ce continuum. Cette gestion doit permettre de restaurer le plus possible les flux sédimentaires naturels sur les bassins versants et mieux gérer les sédiments bloqués dans les retenues (barrages et seuils).

5. Conclusion

L'utilisation de différentiels bathymétriques et en particulier le développement du LIDAR, nous permet d'améliorer les connaissances de la dynamique sédimentaire littorale mais amène également un nouvel éclairage sur la gestion passée et les défis futurs à relever. En effet, nous avons vu que la confrontation de cet outil avec les données de gestion des sédiments du littoral, des ports ou encore des fleuves, doit nous permettre d'optimiser les préconisations de gestion du PGSLR.

D'un point de vue méthodologique, des améliorations sont à apporter sur la quantification des flux du bassin versant et la qualité des calculs des bilans sédimentaires via des levés LIDAR offrant une meilleure précision verticale ainsi qu'une couverture spatiale plus étendue vers le large afin de pouvoir localiser et quantifier les phénomènes de pertes de sédiments vers le large.

6. Références bibliographiques

- ALOISI J.-C., CHARLET J.M. (1975). *Intérêt de la thermoluminescence dans l'étude de l'alimentation en quartz du golfe du Lion*. Revue de géographie Physique de Géologie Dynamique, Vol XVII, fasc. 1, pp 23-38.
- AMBERT P. (1987). *Modifications historiques des paysages littoraux en Languedoc central : état actuel des connaissances*. Actes du colloque international CNRS "Déplacement des lignes de rivages en Méditerranée", Ed. du C.N.R.S, Paris, pp 35-43.
- BRUNEL C. (2010). *Evolution séculaire de l'avant-cote de la méditerranée française, Impact de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes*. Thèse de 3^{ème} cycle. Université d'Aix en Provence. 470 p.
- CERTAIN R. (2002). *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon)*. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 209 p.
- DURAND P. (1999). *Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Argelès-Plage à Saint-Cyprien (Roussillon, France)*. Géomorphologie : relief, processus, environnement, n° 2, pp 155-166.
- FUGRO (2010). *Languedoc-Roussillon Topo-Bathymetric Survey*. 154 p.
- GUILLEN J. Y., PALANQUES A. (1993). *Factors controlling sediment budget in the lower Ebro River*. Annales Geophysicae. suppl. II to vol. 11. p.1993, C 257.
- IFEN (2007). Institut Français de l'environnement n°120, 4 p.
- L.C.H.F. (1984). *Catalogue sédimentologique des côtes de France*. Tome 7 : la côte méditerranéenne, de la frontière espagnole à la frontière italienne, 426 p.
- LNH/SOGREAH (1984). *Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée*. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, N°52 Eyrolles, 426 p.
- MILLIMAN J.D. (1997). *Blessed dams or damned dams?* Nature 386, 325–327.
- MONACO A. (1971). *Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de plateau continental du Roussillon (Golfe du Lion)*. Thèse d'état, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 285 p.
- PARDE M. (1941). *La formidable crue d'octobre 1940 dans les Pyrénées-Orientales*. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, pp 237-279.
- PICHARD G. (1995). *Les crues sur le bas Rhône de 1500 à nos jours. Pour une histoire hydro-climatique*. Méditerranée, n°3-4, pp 105-116.
- PONT D., SIMMONNET 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, v. 54, pp 1-18. doi:10.1006/ecss.2001.0829

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

- RAYNAL O., CERTAIN R., VANROYE C. (2010). *Les pratiques de gestion des sédiments dans le Languedoc-Roussillon*. Rapport de tâche A1 du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon, DREAL LR & UPVD, 49 p.
- RAYNAL O., CERTAIN R., GUERINEL B. (2011). *Identification des données topobathymétriques et sédimentologiques nécessaires au PGSLR*. Rapport de tâche B du Plan de Gestion des Sédiments du Languedoc-Roussillon, DREAL LR & UPVD, 36 p.
- RIVIERE A., VERNET S. (1966). *Etudes littorales, contribution à l'étude des rivages du golfe du Lion, signification sédimentologique des radioactivités naturelles*. Cahiers océanographiques, t. XVIII, 10, 122-138.
- SABATIER F., STIVE M., PONS F. (2004). *Longshore variation of depth of closure on a micro-tidal wave-dominated coast*. International Conference of Coastal Engineering 2004, American Society of Civil Engineering, Lisboa, pp 2329-2339.
- SOGREAH (1978). *Etude sur modèle réduit des extensions du port - Synthèse des données naturelles*. Ministère de l'équipement - Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon -Port la Nouvelle, R35 0738-A.
- SOGREAH (1983). *Protection du littoral nord de Port-Barcarès. Rapport pour la commune de Port-Barcarès*, 48 p.
- VANROYE C. (2009). *La protection du littoral du Golfe d'Aigues-Mortes*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc-Roussillon, 10 p.
- WALLING D.E., FANG D. (2003). *Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers*. *Globe* 39, pp 111-126.