

**CARAC**

**TERIS**

**TIQUES ET**

**GOLFE DE GASCOGNE**

**ÉTAT**

**ÉCOLO**

**GIQUE**

# CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

## GOLFE DE GASCOGNE

JUIN 2012

### ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE Caractéristiques physiques Turbidité

Florence Cayocca  
(Ifremer, Brest).



## 1. INTRODUCTION

### 1.1. DÉFINITION ET MESURE DE LA TURBIDITÉ

La turbidité constitue l'un des paramètres physiques descriptifs de la colonne d'eau. On entend ici par « turbidité » l'obstruction à la pénétration de la lumière dans l'eau, due à la présence de particules solides en suspension dans l'eau. Elle est reliée à la concentration massique de ces particules en suspension, communément appelées « matières en suspension » (MES), exprimée en grammes par litre ( $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Hormis lorsque des filtrations d'eau prélevée *in situ* sont effectuées – ce qui conduit, par pesée, à l'estimation de ces MES –, la mesure de turbidité se fait de manière indirecte, au moyen de capteurs acoustiques ou optiques. La mesure obtenue, exprimée en unités normalisées – le plus communément Nephelometric Turbidity Unit (NTU) ou Formazin Nephelometric Unit (FNU) –, ne peut être transformée en grammes par litre qu'à la suite d'une calibration, qui requiert systématiquement des prélèvements d'eau *in situ*.

Si les observations satellitaires, désormais systématiques, permettent de reconstituer une climatologie de la turbidité de surface, elles ne renseignent pas sur la turbidité dans la colonne d'eau, ni au fond. Cette turbidité est due, d'une part, aux apports terrigènes et, d'autre part, à la remise en suspension par les vagues et les courants, ainsi qu'à la contribution de particules organiques. Du fait de l'atténuation de la pénétration de la lumière qu'elle induit, la turbidité impacte la production primaire, et donc structure la disponibilité de nourriture pour les espèces supérieures de la chaîne trophique, mais aussi la croissance d'espèces végétales benthiques ; les particules en suspension modifient quant à elles les capacités de filtration des bivalves et la répartition des espèces pélagiques, particulièrement des juvéniles. Une analyse plus détaillée des causes et conséquences de la modification de la turbidité est disponible dans la contribution thématique « Modifications de la nature du fond et de la turbidité » du volet consacré aux pressions et impacts.

### 1.2. ACCÈS À LA CONNAISSANCE DE LA TURBIDITÉ DANS LES SOUS-RÉGIONS MARINES

À la différence de paramètres hydrologiques « classiques » mesurés en océanographie depuis des décennies, par exemple température et salinité, les mesures de turbidité à l'échelle régionale sont encore rares, et n'ont jamais fait l'objet de stratégie d'acquisition systématique. Les zones côtières ont en revanche été instrumentées depuis quelques années, particulièrement en zone estuarienne où des mesures en continu sont effectuées, et sur les points des réseaux de surveillance échantillonnés à basse fréquence. Une synthèse des données disponibles a ainsi identifié les mesures effectuées par le REPHY, le ROCCH, (ex RNO), le réseau environnemental SRN (réseau de Suivi Régional des Nutriments), et le RSL (Réseau de Suivi Lagunaire). Ces données sont pour la plupart archivées dans la base de données nationale Quadrigé<sup>2</sup>. Les stations du réseau SOMLIT produisent également des données. Des campagnes à la mer et des travaux de modélisation numérique ont été menés lors de thèses de doctorat, à l'échelle des panaches des grands fleuves français [1] [2] [3] ou à échelle plus régionale [4] [5] [6] [7] mais ces travaux requerraient aujourd'hui une phase de consolidation et d'analyse systématique des résultats aux échelles saisonnières et pluriannuelles afin de décrire correctement la moyenne et la variabilité de la turbidité dans les sous-régions marines françaises.

Cette section s'appuie donc sur la collecte des données de turbidité disponibles auprès des instituts de recherche, universités, autorités locales ou régionales, et sur l'analyse de la bibliographie disponible – publications scientifiques et thèses de doctorat –, afin de proposer une description de l'état des connaissances. À l'exception des informations surfaciques accessibles par télédétection, et qui ont permis d'établir une climatologie, il ne s'agit pas d'une vision synoptique de la turbidité des masses d'eau des sous-régions marines et de leur variabilité, qui n'existe pas encore.

## 2. ANALYSE DES DONNÉES

### 2.1. APPORTS FLUVIAUX

Le bilan dressé par Jouanneau *et al.* [8] permet de hiérarchiser l'importance relative des apports des grands estuaires atlantiques français sur le plateau continental. En moyenne annuelle, ces apports étaient estimés à  $2,5\cdot 10^6$  tonnes de MES par an, dont 60 % apportés uniquement par la Gironde. La Loire contribue en moyenne pour 24 % ( $0,6\cdot 10^6$  t $\cdot$ an<sup>-1</sup>), puis l'Adour pour 8 % ( $0,2\cdot 10^6$  t $\cdot$ an<sup>-1</sup>). La Vilaine et la Charente auraient des flux comparables, d'environ  $0,1\cdot 10^6$  t $\cdot$ an<sup>-1</sup>, et chaque estuaire représente 4 % du flux total.

Une étude de Maneux *et al.* [9] propose pour l'Adour un flux moyen de  $0,4 \cdot 10^6$  t·an<sup>-1</sup> de MES, soit le double de l'estimation antérieure. Cette étude établit surtout que le flux de MES de l'ensemble des petites rivières de la côte basque espagnole peut atteindre en moyenne  $1,9 \cdot 10^6$  t·an<sup>-1</sup>, soit l'équivalent de la Gironde et de l'Adour réunis. Toutefois, les apports de ces rivières semblent ne pas contribuer de manière significative à la turbidité du plateau continental.

Le régime de turbidité des grands estuaires (Loire et Gironde) fait l'objet d'acquisition de mesures pérennes. L'estuaire de la Gironde est en particulier doté depuis 2005 d'un réseau de mesures à haute fréquence (MAGEST), qui complète les stations de suivi mensuel du réseau SOMLIT en place depuis 1995. Ces mesures, accompagnées du traitement à haute résolution d'imagerie MODIS Terra et MODIS Aqua [10], contribuent à la compréhension et la quantification des processus qui régissent l'estuaire. Elles montrent en particulier une variabilité saisonnière fortement liée aux débits fluviaux, modulée par les cycles de morte-eau / vive-eau. Le bouchon vaseux se déplace vers l'aval de l'estuaire en crue, situation où les concentrations de surface excèdent  $500$  mg·l<sup>-1</sup> dans la majeure partie de l'estuaire et peuvent excéder  $3$  g·l<sup>-1</sup> le long de la rive gauche, tandis qu'elles sont de l'ordre de  $100$  mg·l<sup>-1</sup> en étiage. L'analyse des séries temporelles à basse fréquence du réseau SOMLIT ne montre pas de tendance d'évolution de la turbidité de fond à long terme dans l'estuaire interne [11].

Pour l'estuaire de la Loire, le GIP Loire Estuaire a mis en place un réseau de 5 stations de mesure en continu entre Nantes et Paimboeuf. La turbidité de l'estuaire dépend classiquement des conditions hydrologiques et des caractéristiques de la marée. Le centre de gravité du bouchon vaseux se déplace ainsi vers l'aval en période de crue (et oscille avec la marée), avec des turbidités dans l'estuaire aval, au niveau de Paimboeuf, qui peuvent varier de 100 à 1 800 NTU. En régime de crue, les masses turbides peuvent être expulsées de l'estuaire, avec des concentrations de plus de  $200$  mg·l<sup>-1</sup> mesurées dans l'embouchure [12].

Les aménagements de la Loire au cours du XX<sup>e</sup> siècle ont fortement modifié la propagation de la marée dans l'estuaire et la position du bouchon vaseux ; ces altérations impactent le maintien de certaines structures construites sur les berges, ce qui a motivé des études destinées à rétablir un régime hydraulique compatible avec les aménagements existants.

Par ailleurs, des travaux de simulation de la quantification des flux de matières en suspension alimentant la sous-région ont été effectués : il s'agit de la modélisation PEGASE pilotée par les Agences de l'eau Adour-Garonne et Loire Bretagne. Les résultats montrent que les apports de matières en suspension sont directement influencés par les variations brusques des débits de certains cours d'eau. Cela explique les pics observés en 2000 et 2007, années de débit important et de crues pour la Garonne (volet Pressions et impacts, contribution thématique « Apports fluviaux en nutriments et matière organique », figure 5). Le flux de matières en suspension a diminué de 30 % en 2008 après avoir triplé entre 2005 et 2007, alors que le débit liquide n'avait pourtant que peu diminué. En 2009, le flux se maintient au même niveau qu'en 2008 malgré une diminution du débit, ce qui suggère un enrichissement en matières en suspension en 2009.

## 2.2. TURBIDITÉ SUR LE PLATEAU

### 2.2.1. Régimes de turbidité selon la saison

La turbidité côtière est fortement dépendante de la nature du fond, de la production phytoplanctonique et des conditions d'agitation.

En conditions printanières et estivales, une part importante de la turbidité est d'origine organique vivante – elle reflète alors l'intensité des efflorescences algales – et détritique – elle est alors constituée de particules organiques mortes qui chutent et alimentent les couches néphéloïdes<sup>1</sup> de fond. En cette saison, la structure verticale de turbidité dépend des conditions de stratification de la colonne d'eau : la turbidité d'origine organique vivante se concentre à la base de la pycnocline<sup>2</sup>, tandis que la turbidité liée à la remise en suspension du fond (par les courants ou les vagues) ou à la chute de matières détritiques est confinée dans la partie inférieure de la colonne d'eau.

1 Couche de fond où la concentration de particules en suspension est élevée.

2 Couche de surface moins dense que les eaux sous-jacentes, essentiellement du fait de sa température plus élevée que celle des eaux plus profondes en été.

En automne, l'apparition des premiers coups de vent et la faiblesse des débits fluviaux provoquent l'approfondissement de la couche de mélange, jusqu'à la destruction de la stratification en zones peu profondes. La remise en suspension des sédiments et des dépôts détritiques est favorisée par les premières tempêtes, augmentant la turbidité au fond, puis sur toute la colonne d'eau.

En hiver, les vagues sont en mesure de remettre en suspension les sédiments du fond, ce qui contribue à augmenter la turbidité de toute la colonne d'eau, jusqu'à des profondeurs d'une centaine de mètres.

## 2.2.2. Ordre de grandeur des turbidités mesurées

On dispose de quelques données issues de campagnes de mesures (essentiellement optiques) et/ou de prélèvements sur le plateau au cours des 20 dernières années, dont quelques-unes ont eu lieu en période hivernale.

### 2.2.2.1. Région Bretagne Sud et estuaire de la Loire

En période printanière et estivale, en dehors des panaches, les concentrations de surface mesurées en Bretagne Sud sont de l'ordre de 1 à 3 mg·l<sup>-1</sup> (conditions d'agitation moyenne), et les concentrations au fond peuvent atteindre 10 à 20 mg·l<sup>-1</sup> ; ces valeurs relativement élevées au fond sont interprétées comme résultant de la matière organique détritique.

En hiver, des mouillages au point fixe (Bretagne Sud) ont montré que la turbidité – essentiellement d'origine minérale cette fois – peut atteindre 50 à 100 mg·l<sup>-1</sup> au fond par 20 à 30 m lors des tempêtes, et plusieurs dizaines de mg·l<sup>-1</sup> en surface.

### 2.2.2.2. Large de l'embouchure de la Gironde

La dispersion des matières en suspension issues de la Gironde s'effectue sous l'influence des courants de marée dans la zone côtière et des courants généraux plus au large [13]. À chaque jusant, deux nappes d'advection d'eaux saumâtres et turbides sont évacuées sur le plateau, à l'embouchure de la Gironde et au Pertuis de Maumusson. Les eaux de la Gironde peuvent progresser vers l'ouest, mais la majeure partie des suspensions est déplacée en masse vers le nord durant le flot suivant en direction de l'île d'Oléron. L'eau expulsée de l'estuaire forme un panache turbide de surface, identifiable jusqu'à 50 km des côtes, et une couche néphéloïde benthique. Après de forts débits fluviaux, la couche néphéloïde de fond dépassant 1 FTU atteint le bord du plateau continental, tandis qu'elle s'interrompt au milieu du plateau par faibles débits.

En période printanière et estivale, devant l'embouchure de la Gironde, les concentrations de surface sont comprises entre 1,5 et 5 mg·l<sup>-1</sup> hors du panache, et même si on observe une stratification, les mesures n'indiquent pas de turbidité très élevée au fond. En hiver, les mesures montrent une colonne d'eau mélangée, avec des turbidités de l'ordre de 9 mg·l<sup>-1</sup> même au-delà de 35 m de fond.

## 2.3. TURBIDITÉ DE SURFACE

La chlorophylle-*a* et la turbidité sont deux paramètres environnementaux issus des capteurs satellitaires dits de la Couleur de l'Eau. La technique de mesure est dite passive, par opposition aux radars, et est sensible aux nuages. Le principe de base consiste à mesurer le signal (radiance) réémis par la couche de surface océanique après absorption et diffusion de la lumière solaire (irradiance). Dans les eaux côtières, le milieu est optiquement complexe car les matières minérales remises en suspension par le courant de marée et les tempêtes, ainsi que les substances organiques dissoutes colorées véhiculées dans le panache des fleuves vont ajouter leurs effets à l'eau pure et au phytoplancton. Si la chlorophylle est estimée par une technique empirique dérivée du rapport des réflectances Bleu/Vert, les matières en suspension (MES) sont déduites d'un algorithme semi-analytique faisant intervenir les propriétés optiques inhérentes du milieu, l'absorption et la rétrodiffusion. La turbidité est ensuite calculée, à partir de la concentration en chlorophylle (biomasse du phytoplancton) et de la concentration des MES minérales.

Des atlas de turbidité moyenne mensuelle ont ainsi été réalisés à partir des données satellitaires entre 2003 et 2009, après validation grâce à des mesures *in situ* prises le long du littoral, principalement par des réseaux pérennes comme le SOMLIT et le REPHY. Ils reflètent la forte variabilité saisonnière de la turbidité minérale, essentiellement liée à la remise en suspension des sédiments par les vagues en période hivernale (figure 1).

### 3. CONCLUSIONS

Hormis l'information surfacique issue de l'imagerie satellitaire – dont les algorithmes de traitement pour obtenir une information sur les matières en suspension demandent toujours à être perfectionnés, on ne dispose pas de suffisamment de données pour décrire l'état initial de la turbidité à l'échelle régionale. La mise en place de mesures systématiques lors des campagnes récurrentes (comme les campagnes halieutique), couplée à l'installation de réseaux de mesures en continu à haute fréquence, en particulier devant les grands estuaires, devront pallier ce manque de données. Parallèlement, la mise en place de modèles numériques simulant la turbidité et les transferts sédimentaires, au même titre que sont simulés la température, la salinité, les courants ou les vagues, devra permettre de mieux connaître la dynamique de la turbidité à échelle régionale, et de prévoir ses évolutions.

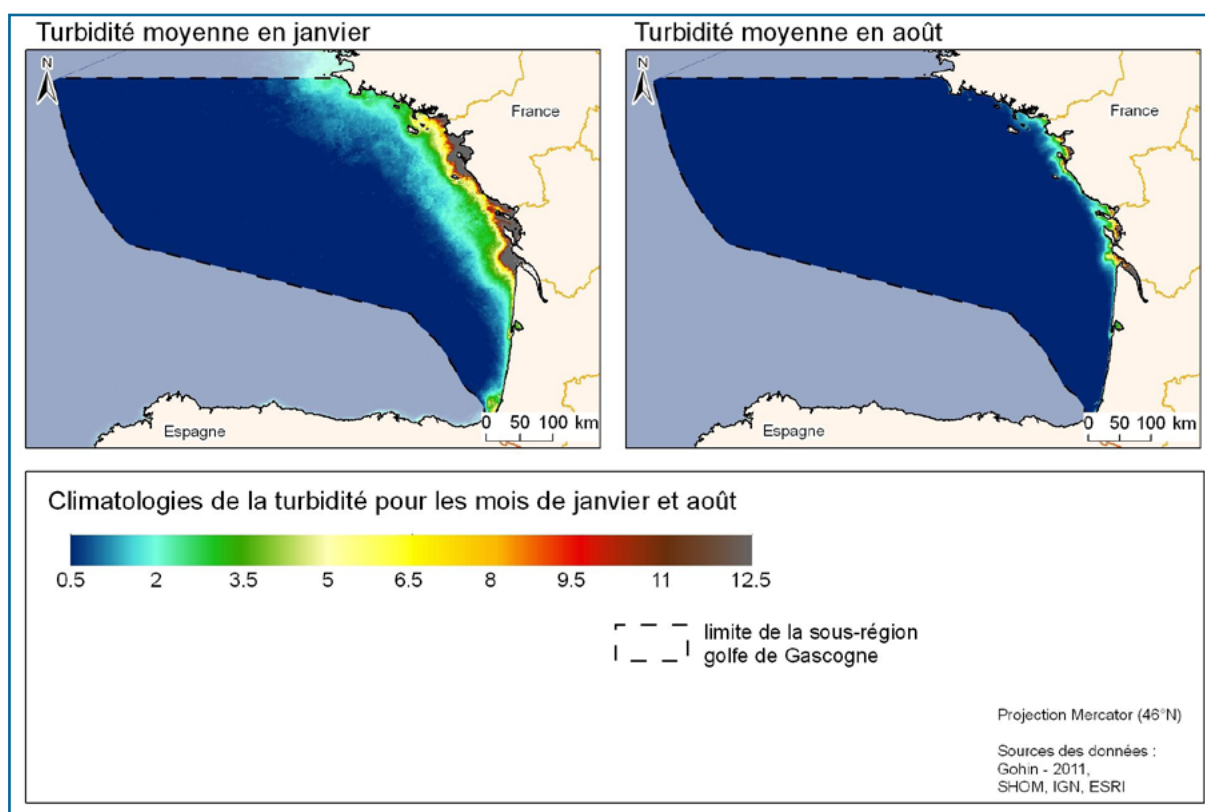


Figure 1 : Climatologies de la turbidité pour les mois de janvier et août (12)  
(Sources : Gohin, SHOM, IGN, ESRI, 2011).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Brenon I., 1997. Modélisation de la dynamique des sédiments fins dans l'estuaire de la Seine, Thèse de doctorat, Université Bretagne Occidentale.
- [2] Waeles B., 2005. Modélisation morphodynamique de l'embouchure de la seine, Ph.D. Thesis, Université Caen Basse Normandie.
- [3] Dufois F., 2008. Modélisation du transport particulaire dans le Golfe du Lion en vue d'une application au devenir des traceurs radioactifs issus du Rhône. PhD Thesis, Université du Sud Toulon-Var.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6308/>
- [4] Tessier C., 2006. Caractérisation et dynamique des turbidités en zone côtière : l'exemple de la région marine Bretagne Sud. PhD Thesis, Université de Bordeaux 1.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2325/>
- [5] Ferré B., 2004. Comparaison de l'effet des tempêtes et du chalutage sur la resuspension et le transport de matières particulaires dans le Golfe du Lion, Thèse de doctorat, CEFREM
- [6] Ulsès C., 2005. Dynamique océanique et transport de la matière particulaire dans le Golfe du Lion : crue, tempête et période hivernale, thèses Laboratoire Aérologie
- [7] Guillou N., 2007. Rôles de l'hétérogénéité des sédiments de fond et des interactions houle-courant sur l'hydrodynamique et la dynamique sédimentaire en zone subtidale - applications en Manche orientale et à la pointe de la Bretagne, Université Bretagne Occidentale.
- [8] Lesourd S., 2000. Processus d'envasement d'un estuaire macro-tidal : zoom temporel du siècle à l'heure ; application à l'estuaire de la Seine, thèse de doctorat, Université de Caen.
- [9] Lafite R., Shimwell S., Grochowski N., Dupont J.P., Nash L., Salomon J.C., Cabioch L., Collins M. et Gao S., 2000. Suspended particulate matter fluxes through the Straits of Dover, English Channel : observations and modelling.  
*Oceanologica Acta*, 23, 6, 687699.
- [10] Rivier A., Gohin F., Bryère P., Pétus C., Guillou N., Chapalain G., 2011. Observed variability of the Suspended Particulate Matter concentration in the English Channel in relation to tide and waves, submitted to Geo-Marine Letters.
- [11] Velegarakis A.F., Bishop C., Lafite R., Oikonomou E.K., Lecouturier M. et Collins M.B., 1996. Investigation of meso- and macroscale sediment transport. Hydrodynamics and biogeochemical processes and fluxes in the Channel, Fluxmanche II, Final Report, MAST II, MAS2CT940089, 128-143.
- [12] Gohin F., 2011. Atlas de la Température, de la concentration en Chlorophylle et de la Turbidité de surface du plateau continental français et de ses abords de l'Ouest européen, Rapport Ifremer pour la DCSMM.