



Les mouvements

La marée dynamique

Les amplitudes de l'onde de marée

Les amplitudes de l'onde de marée

Résumé

Les ondes de marées sélectionnées suivant des situations hydrologiques précises se caractérisent depuis plusieurs années par la permanence de leurs amplitudes. Marnage, distance de propagation, lieux géométriques des basses mers et localisation du point caractéristique varient dans des proportions négligeables ou se reproduisent de manière identique.

Le manque d'occurrence des situations de référence certaines années et le défaut fréquent de données limnigraphiques ne permettent qu'une analyse partielle de l'évolution de ces paramètres. Cependant, sont apparues en 2000 des modifications du lieu géométrique des basses mers de vives eaux entre Mauves et Nantes, qu'il est impossible d'attribuer en l'état à des remaniements sédimentaires ou à des défaillances des limnigraphes.



Objectif définition

Pour suivre l'équilibre dynamique de l'estuaire entre les influences marine et fluviale, l'indicateur porte tous les ans sur les amplitudes d'ondes de marée illustrant quatre situations hydrologiques, deux situations de référence prédéterminées et deux situations extrêmes dont les paramètres pris en compte sont :

- **l'amplitude verticale**, différence entre le niveau maximum et le niveau minimum atteint par l'eau

au cours de la marée haute et la marée basse suivante, mesurée au niveau des 13 marégraphes et limnigraphes de Saint-Gildas à Ancenis ;

- **l'amplitude longitudinale** caractérisée par la localisation du point de rencontre du lieu géométrique de pleine mer et du lieu géométrique de basse mer. Le lieu géométrique est la ligne fictive qui joint les points atteints par l'eau dont

TABLEAU L1 A1-1

Situations de référence

N°	Libellé	Coefficient de marée	Débit à Montjean (m ³ /s)	Extension
1	Vives eaux et étiage	90 < coef. < 100	240 < Q < 260	Saint-Gildas/Saint-Florent
5	Mortes eaux et hautes eaux	40 < coef. < 50	1450 < Q < 1550	Saint-Gildas/Saint-Florent
11	Vives eaux extrêmes	le plus fort de l'année	quelconque	Saint-Gildas/Saint-Florent
12	Mortes eaux extrêmes	le plus faible de l'année	quelconque	Saint-Gildas/Saint-Florent

Source : CMB

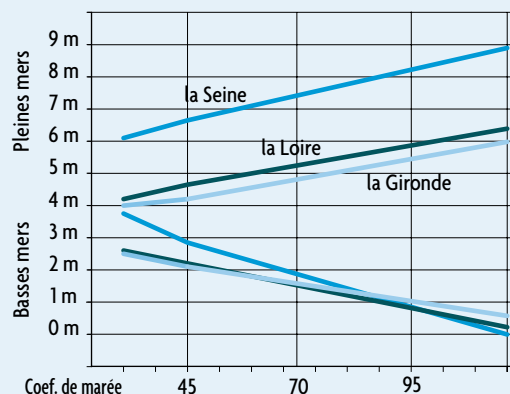
L'évolution de ces paramètres est complétée, sur la période 1996-2001, par l'évolution de la position du point caractéristique.

D'origine astronomique, l'onde de marée est une oscillation du niveau marin, de période de l'ordre de la demi-journée et d'une amplitude verticale de plusieurs mètres sur la façade atlantique. Cette amplitude verticale dite aussi marnage correspond à la différence de niveaux du plan d'eau à pleine mer et à basse mer. Elle est influencée par la morphologie littorale et dépend des coordonnées du point considéré. Elle est donc différente en Seine, en Loire et en Gironde.

L'onde de marée se transmet à la masse d'eau de la partie la plus aval des fleuves, lui communiquant son énergie. Mais confrontée à des frottements croissants dus au débit fluvial et à la diminution des profondeurs, elle se déforme, s'amortit et s'épuise jusqu'à disparaître en un point où les variations du niveau de l'eau ne sont plus dictées que par la seule influence fluviale. Ainsi se définit l'amplitude longitudinale de la

GRAPHIQUE L1 A1-1

Marnage en Seine, Loire et Gironde



	Mortes eaux moyenne	Moyennes eaux moyenne	Vives eaux moyenne
la Seine	3,75	5,23	6,7
la Loire	2,45	3,75	5
la Gironde	2,1	3,1	4,1

Sources : EPSHOM/CMB

marée : longueur de la propagation de l'onde de marée dans la partie basse d'un fleuve, notion qui fonde la définition hydrodynamique des estuaires.

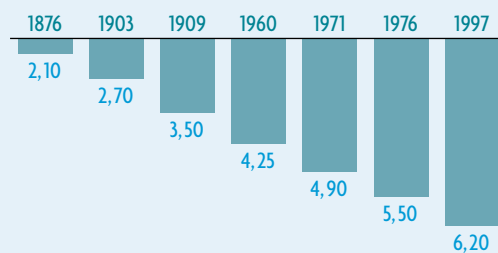
En tout point de l'estuaire, les amplitudes de l'onde de marée dépendent du coefficient de marée, de l'éloignement par rapport à l'embouchure, du débit fluvial et des conditions météorologiques. La géométrie de l'estuaire intervient également pour une large part : forme générale ouverte sur l'océan et profondeurs favorisent la conservation de l'énergie de l'onde.

Tout l'aménagement des estuaires au cours du 20^{ème} siècle a eu pour but d'augmenter progressivement l'influence marine, notamment par abaissement des lignes d'eau de basse mer. Par exemple, le marnage qui n'était à Nantes en vives eaux que de 2,70 m en 1903 est actuellement supérieur à 6 m.

Le point caractéristique, au croisement des lieux géométriques de basse mer de vives eaux (BMVE) et de basse mer de mortes eaux (BMME) à débit fluvial constant, marque la séparation des domaines estuariens d'après leur degré de soumission à l'influence marine en aval et à l'influence fluviale à l'amont.

GRAPHIQUE L1 A1-2

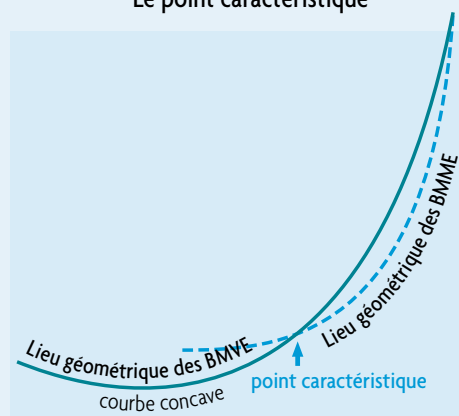
Évolution du marnage à Nantes en m



Sources : SAR/APEEL/CMB

FIGURE L1 A1-1

Le point caractéristique



Source : CMB

Interprétation

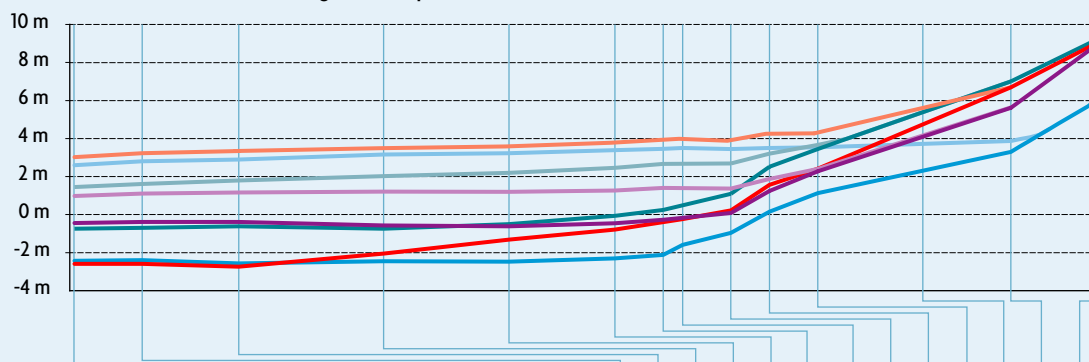
Stabilité et permanence

La forme générale des lieux géométriques, tant en vives eaux qu'en mortes eaux, est typique d'un estuaire aménagé pour la navigation avec

un gonflement de la masse d'eau : concavité des lieux géométriques de basse mer et convexité des lieux géométriques de pleine mer.

GRAPHIQUE L1 A1-3

Lieux géométriques des Pleines et Basses Mers en 1999-2000



Marnages				Saint-Gildas	Saint-Nazaire	Donges	Cordemais	Le Pellerin	Chantenay	Pt Anne-de-Bretagne	Saint-Félix	Sainte-Luce	Thouaré	Mauves	Oudon	Ancenis	Saint-Florent	
PM BM	Vives eaux et étiage	91	241	26/09/00	5	5,2	5,5	5,6	5,7	5,7	5,6	5,1	4,4	3,4	2,4	?	0,6	0
PM BM	Mortes eaux et hautes eaux	44	1550	25/04/00	2,2	2,3	2,4	2,8	2,7	2,5	2,4	?	1,6	0,7	0,2	?	0	0
PM BM	Vives eaux extrêmes de l'année	110	851	26/10/00	5,5	5,8	6,1	5,5	4,9	4,6	?	4,2	3,7	2,7	1,9	?	0,1	0
PM BM	Mortes eaux extrêmes de l'année	28	827	29/03/00	1,4	1,5	1,6	1,8	1,8	1,7	?	1,3	0,6	0,1	?	?	0	0

Sources : SMN/PANSN/CMB

Les résultats de l'année hydrologique 1999-2000 montrent qu'en situations de référence :

- le marnage à Saint-Gildas est inférieur à celui à Saint-Nazaire, d'environ 5 %, quelle que soit la situation hydrologique. Alors que les basses mers sont sur la même horizontale, les pleines mers gagnent en altitude au niveau du goulet Saint-Nazaire-Mindin.
- en vives eaux (coef. 91) et étiage (241 m³/s), la partie d'estuaire soumise à un marnage au moins égal à celui de Saint-Nazaire, s'étend jusqu'au pont Anne-de-Bretagne à Nantes. Le maximum se trouve au Pellerin et à Chantenay. La longueur de fleuve soumise à la marée est de 93 km à partir de Saint-Nazaire.
- en mortes eaux (coef. 44) et hautes eaux fluviales (1550 m³/s), le pont Anne-de-Bretagne marque également la limite du marnage conservé au moins égal à celui de Saint-Nazaire. Le maximum se situe à Cordemais et l'onde de marée s'étend jusqu'au PK 72, légèrement en amont de Mauves.

Lors des deux situations extrêmes de l'année qui ont eu lieu avec des débits fluviaux de l'ordre du module (850 m³/s) :

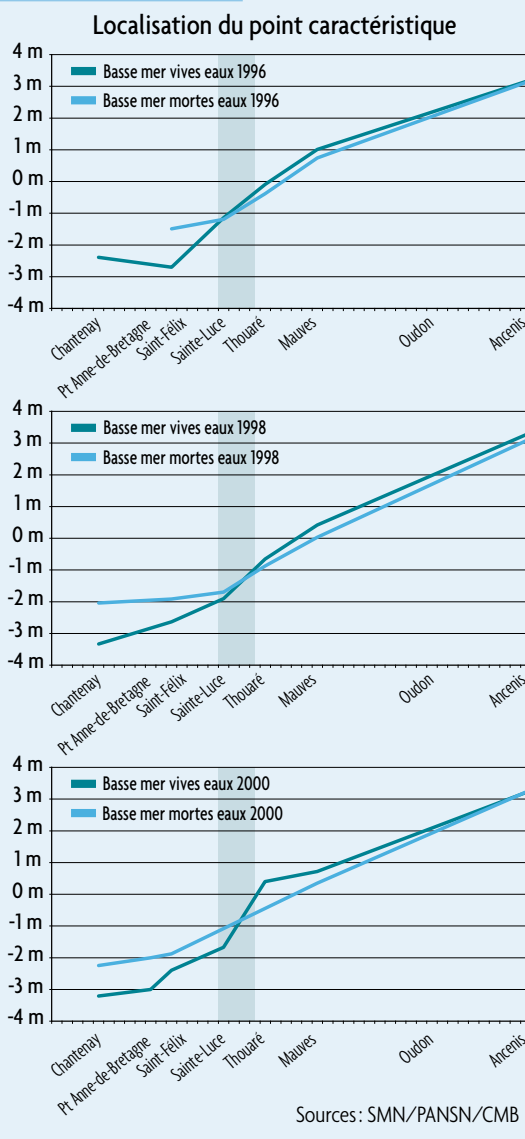
- en vives eaux (coef. 110), le marnage maximum est à Donges tandis qu'il est déjà moins fort à Cordemais qu'à Saint-Nazaire ;
- en mortes eaux (coef. 28), le marnage maximum est au Pellerin tandis qu'il est encore supérieur à celui de Saint-Nazaire au pont Anne-de-Bretagne.

Sur les 6 dernières années, il y a stabilité du point de marnage maximum en vives eaux et étiage, situé entre Le Pellerin et Chantenay, et à Donges en vives eaux extrêmes quel que soit le débit fluvial.

Cette stabilité se retrouve pour le marnage maximum en marée de mortes eaux et hautes eaux du fleuve, toujours situé à Cordemais. Par contre, en situation de mortes eaux extrêmes, la localisation du maximum est influencée par le débit fluvial. Pour un débit de 250 m³/s, le maximum est au niveau de l'agglomération nantaise et pour un débit de 800 m³/s au Pellerin.

Dans la limite des données disponibles, il apparaît que les lieux géométriques des basses mers ont en général peu varié, tant en vives eaux depuis 1997, qu'en mortes eaux en 2000 et 2001.

GRAPHIQUE L1 A1-4



Toutefois, la courbe des BMVE de 2000 présente des irrégularités entre Mauves et le pont Anne-de-Bretagne, que le défaut de données postérieures ne permet d'infirmer ou de confirmer.

Par ailleurs, le point caractéristique au croisement des lieux géométriques de basse mer de vives eaux et de basse mer de mortes eaux, pour un débit fluvial proche de l'étiage, se trouve invariablement situé autour du PK 63, c'est à dire légèrement en amont de Sainte-Luce.



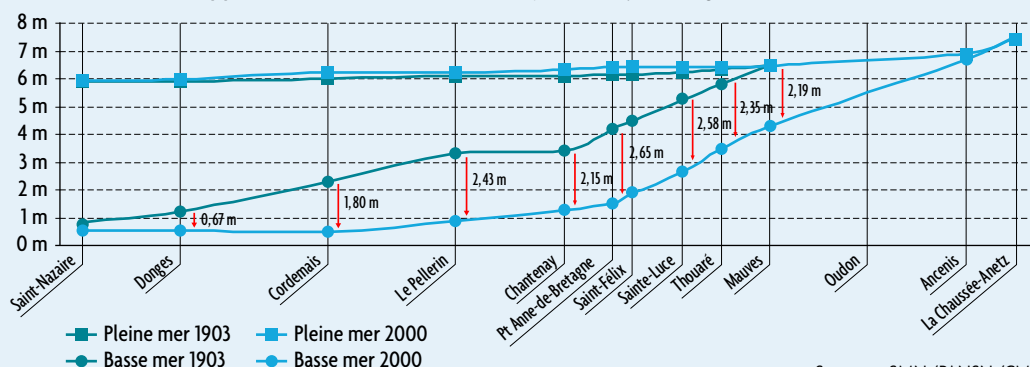
Un siècle d'abaissement des basses mers

Les aménagements effectués depuis le début du 20^{ème} siècle, dans l'objectif d'une navigation maritime jusqu'aux quais de

Nantes, ont profondément modifié, par adaptation successive de la géométrie de l'estuaire, les paramètres de l'onde de marée.

GRAPHIQUE L1 A1-5

Enveloppes d'une marée de vives eaux (Coef. 102) et étiage en 1903 et en 2000



Sources : SMN/PANSN/CMB

Suivant la doctrine d'aménagement mise en œuvre lors du programme de 1903, il s'agissait de conserver à l'onde de marée son énergie le plus loin possible vers l'amont. Trois actions devaient se conjuguer pour éviter la perte d'énergie : favoriser la pénétration de l'onde par une forme en entonnoir, creuser le chenal pour limiter les frottements sur le fond et réaliser un bassin de marée en amont de Nantes.

L'indicateur de réussite de l'adaptation de l'estuaire à la navigation était l'horizontalité des niveaux de basse mer de vives eaux à Saint-Nazaire et à Nantes, ce qui fut constaté pour la première fois en août 1989.

Pour Nantes devint "port maritime", il fallait que la mer remontât jusqu'à ses quais.

Sources & Méthodes

Pour être comparées, les amplitudes de l'onde de marée se réfèrent à des situations hydrologiques précises. Les dates d'occurrence de ces situations sont obtenues par croisement automatique des tables de coefficients de marée fournies par l'EPSHOM et des chroniques des débits moyens journaliers à Montjean de la banque Hydro du ministère chargé de l'Environnement.

Les hauteurs d'eau (cotes) aux dates et heures d'occurrence des situations de référence sont obtenues à partir des enregistrements en continu du Port Autonome de Nantes Saint-Nazaire pour les marégraphes de Saint-Gildas à Chantenay, et du Service Maritime et de Navigation pour les limnigraphes entre Nantes - Pont Anne-de-Bretagne et Saint-Florent. En ce dernier point, la moyenne journalière de hauteur d'eau est soit fournie par le SMN, soit calculée à partir des données instantanées. Toutes les cotes sont ramenées à un niveau unique de référence altimétrique (IGN 1969) qui se trouve à 3,16 m au-dessus du 0 des marégraphes (0 CM après 1996).

Les valeurs sélectionnées sont ensuite corrigées pour les paramètres vent et pression extraits de

la banque Colchique de Météo France pour les stations de Montoir (partie aval de l'estuaire y compris Cordemais) et de Bouguenais (en amont).

La correction due à la pression barométrique mesurée au plus près de l'heure de la pleine et de la basse mer, est appliquée suivant l'équivalence : 1 Hectopascal = 0,01m de surcote quand $(P_{inst} - 1013) < 0$ et de décote quand $(P_{inst} - 1013) > 0$.

La correction due au vent dépend de sa direction et de sa force rassemblées dans la formule : $dH = (V^2/900) \cos a$, où V est la vitesse en m/s et a la direction par rapport à l'axe de l'estuaire. La direction n'est prise en compte que quand $\cos a = 1$ c'est à dire a compris entre 225 et 315° (secteur Ouest).

En l'absence d'étude sur l'influence de la force du vent sur les niveaux d'eau en amont de Nantes, les valeurs de surcote entre Nantes Saint-Félix et Ancenis sont affectées d'un coefficient dégressif de 1 à 0,30.

Des références

C. Migniot, P. Le Hir, Rapport de synthèse I de l'APEEL, Hydrosédimentaire, avril 1997.
Rapport de synthèse du CSEEL 1984.

Rapports de la modélisation prospective de la Loire estuarienne, phase 1 et 2 - AELB.

