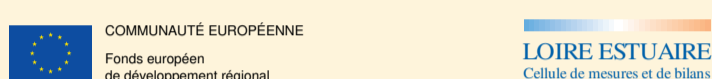


Atlas environnemental de Loire Estuaire

Planche N°1 février 2000

Les mouvements

LA LOIRE ET SON ESTUAIRE QUEL FONCTIONNEMENT AUJOURD'HUI ?



PRESENTATION DE L'ATLAS ENVIRONNEMENTAL

L'atlas environnemental de Loire Estuaire est une publication particulière constituée d'une série de "planches" thématiques qui seront éditées régulièrement sur une période de 6 ans.

- 1. Les mouvements
2. La dynamique de la vie
3. L'environnement humain

Ces planches contribuent à donner une vision synthétique originale du milieu et de son évolution. Ce sont des outils d'explication, d'information et de sensibilisation inspirés dans leur forme et leur conception de posters édités au Canada dans le cadre du "Plan d'action Saint Laurent".

La Planche n° 1 se rattache à la lecture 1 "Les mouvements". En 6 modules, au travers de grandes définitions et des références communes, elle rassemble des éléments simples de compréhension du fonctionnement de la Loire et de son estuaire :

- La géologie et la géographie : MODULE 1 = UNE GEOMETRIE CONTRAINTE
La transformation depuis un siècle : MODULE 2 = UNE GEOMETRIE SIMPLIFIEE
Les conditions hydrauliques et sédimentaires à l'amont : MODULE 3 = LA FLEUVE
Les conditions marines à l'aval : MODULE 4 = L'OCEAN
Le module 5 = NI FLEUVE NI OCEAN : L'ESTUAIRE, expose les grands champs de variabilités indaites par les conditions précédentes. Qu'elles soient contraintes ou spontanées, leurs conjuguations portent à un point extrême la complexité des phénomènes estuariens.
Le module 6 = LE REEQUILIBRAGE NECESSAIRE, porte le questionnement de la Loire et de son estuaire : Quel fonctionnement demain ?

LA LOIRE ET LES AUTRES...

Si la modestie de l'altitude de la source de la Loire la place derrière la Garonne, la longueur de son cours en fait le plus long fleuve de France. Son bassin couvre le cinquième du territoire national. Placée en position intermédiaire sur la façade atlantique, l'embouchure de la Loire n'offre pas à l'onde de marée, malgré son amplitude, les facilités de pénétration existantes en Seine et en Garonne. Quelles que soient leurs caractéristiques géométriques, ces estuaires sont dits macrotidaux au vu de l'amplitude de la marée à leur embouchure.

Table with 5 columns: Altitude de la source, Longueur, Superficie du bassin versant, Amplitude de la marée, Extension de la marée. Rows include Loire, Garonne, and Seine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

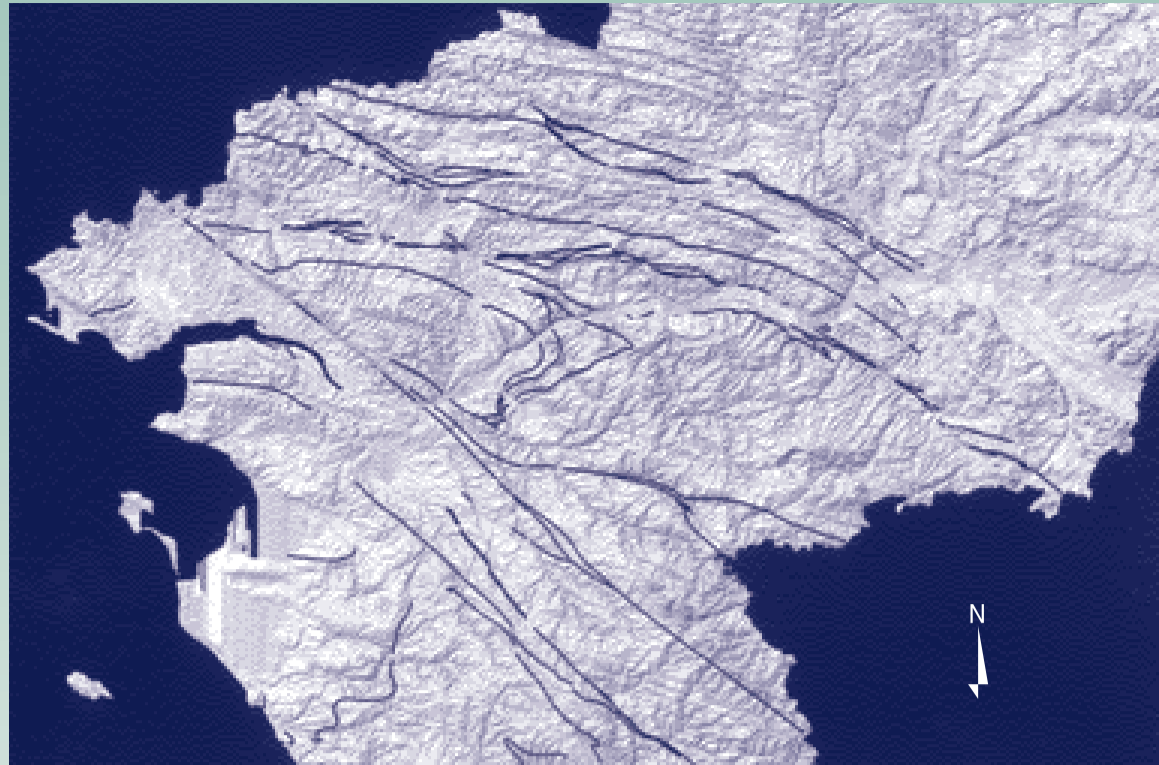
Pour établir cette planche, de nombreux ouvrages ont été consultés, parmi lesquels : Anonyme, 1900 ; BÉCOUM et DILL, 1908 ; BELLISSORT B. et MIGNOT C., 1983 ; BERNARD J., 1996 ; CUSNI et LEFORT, 1901 ; DIGNÉ R., 1934 ; DREN de bassin Loire Bretagne, 1998 ; GALLESSE B., 1974 ; GIBERT, 1940 ; GORENBOV V., 1981 ; JOLY G., 1897 ; KAUFMANN, 1915 ; LE DOUARIC R., 1978 ; MANICKAM S., 1983 ; MIGNOT C., 1993 ; MORZADÉC-KEFFOURN M.T., 1974 ; OTTMANN E., ALIX Y., LIMASSET O., 1968 ; PANIN, 1999 ; SABLIERES ANGEVINIS REUNIS, 1993 ; SCHULE C. A., 1993 ; SHOM, 1999 ; VOLMET, 1925. Par ailleurs doivent être remerciés de leur collaboration : Messieurs RABU (BRGM), FAVRIAU (Service de Bassin, DIREN Centre), DELOMNEAU (SMN), LOUINEAU (Laboratoire de Planéologie de l'Université de Nantes), OTTMANN, LABROSSE (DII) et le service hydrographique de Port Atlantique.

EDITION, CONCEPTION ET REDACTION

Edition, conception et rédaction : Cellule de Mesures et de Bilans 22 rue de La Tour d'Auvergne 44 200 Nantes TEL : 02 51 72 93 65 - FAX : 02 51 82 35 67 MEL : CELL.LOIRE@nantes.fr Cartographie, infographie : Bossard Studio, BRGM, Laboratoire de Planéologie de l'Université de Nantes, CMB Mise en page et présentation : Ponctionnat Crédit photos : © Manuel de Ruzo, © André Bécouq, Le Monde Illustré, Dominique Macel-Ville de Saint Nazaire, © Doucet, © Wilfried Guyot. Tirage : 1 000 exemplaires ISSN : en cours

1 UNE GEOMETRIE CONTRAINTE

RELIEF ET GRANDES FAILLES GEOLOGIQUES



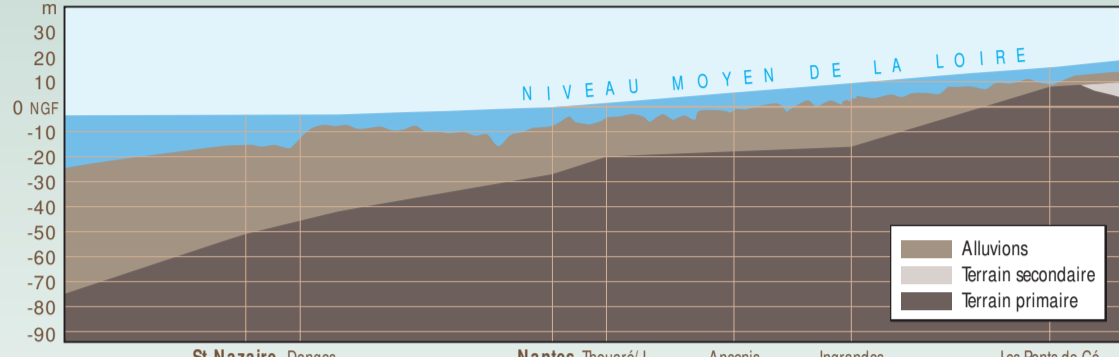
Source : BRGM

Quand la Loire atteint Angers et le Massif Armoricain, elle a déjà parcouru 860 km à travers le Massif Central et le Bassin Parisien. Jusqu'à la mer, sur 140 km, elle coule à la surface d'une plaine sédimentaire constituée d'alluvions qui ont colmaté son ancien lit rocheux sur des épaisseurs croissantes vers l'aval : 8 m à Angers, 27 m à Nantes, 50 m devant Saint-

Nazaire. La forme de la vallée est dictée par la nature plus ou moins dure des roches et l'orientation des accidents tectoniques tels que failles et voussures, suivant trois séquences :

- Des Ponts de Cé au Pellerin, s'enchaîne une succession d'élargissements dont les noms, valls et varennes, rappellent la Loire tournaing, et de resserrements aux parois parfois

PALEOLIT ET REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE



Sources : OTTMANN, ALIX, LIMASSET, CMB

2 UNE GEOMETRIE SIMPLIFIEE

Le type "estuaire à barre" qu'illustrait la Loire jusqu'en 1890 se caractérise par les déplacements imprévisibles des sables poussés par les crues et les disettes d'eau pendant l'étiage, formant autant de pièges.

Navigation délicate aussi en Loire fluviale où les déplacements imprévisibles des sables poussés par les crues et les disettes d'eau pendant l'étiage, formant autant de pièges.

Le 20 siècle verra se réaliser des travaux considérables, après l'échec du canal latéral dit de la Martinière, transformant radicalement la géométrie du fleuve en supprimant tout ce qui pouvait entraver la pénétration de la marée, doctrine nécessitant l'abaissement du niveau des basses mers et de l'étiage.

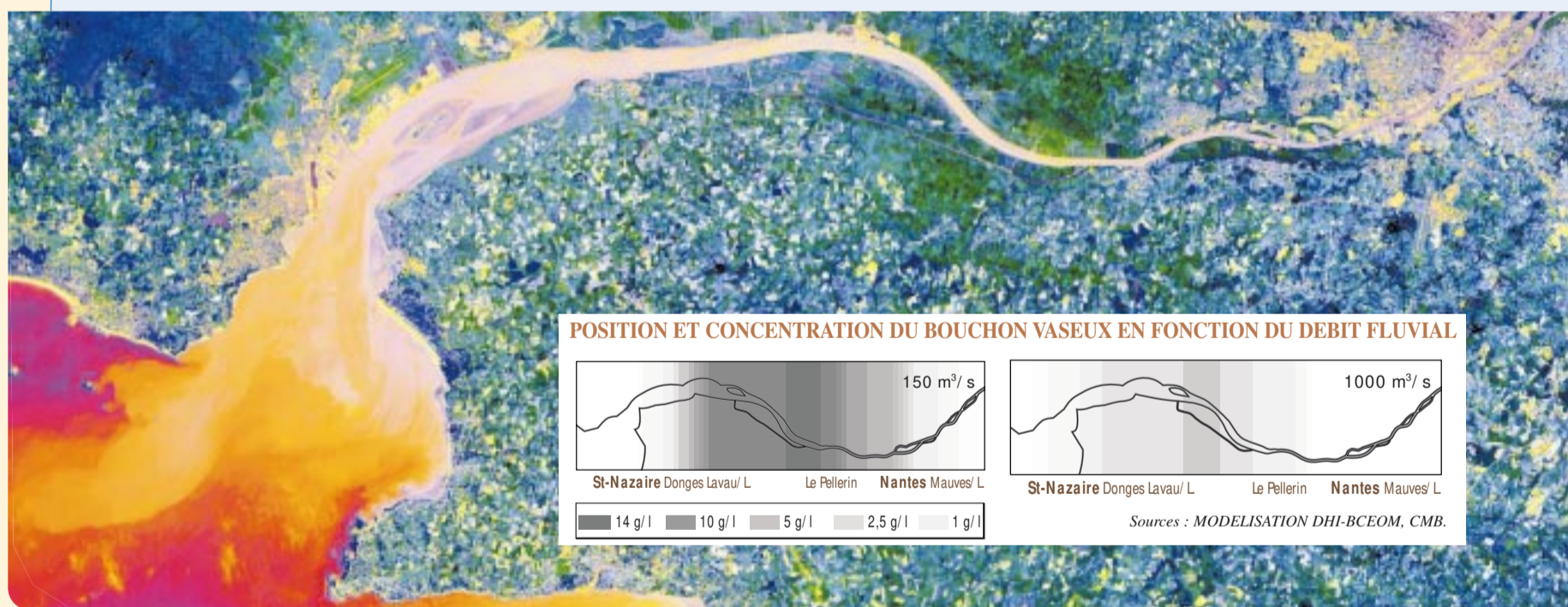
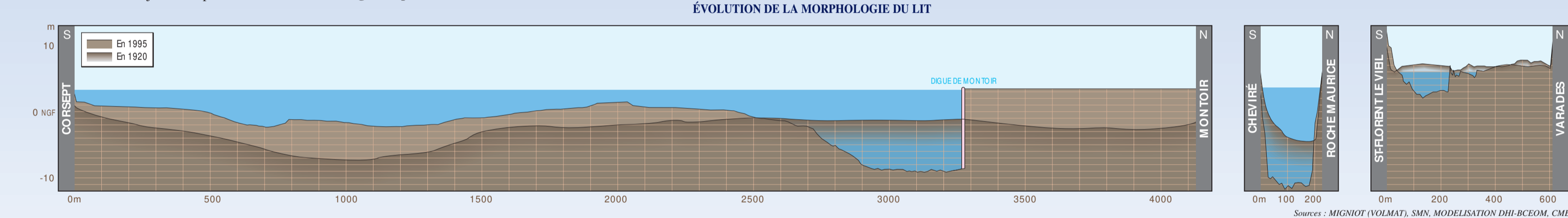
- En Loire fluviale, cet abaissement fut réalisé par la mise en place d'épis dans le but de capter les sables et de concentrer les eaux maigres d'étiage en un lit unique et approfondi. D'abord menés de façon expérimentale de la Maine à Montjean à partir de 1907, les travaux furent continués jusqu'à Oudon en 1911.
En aval de Nantes, pour que les courants de lit et les courants de jusant empruntent

le même chemin, assurant ainsi l'autocourage du chenal de navigation, d'importants travaux de dragages, déroctages et d'endiguements furent réalisés à partir de 1903. Les profondeurs furent portées à 5m en moyenne sous les basses mers de Nantes à Paimboeuf, et à 13m en aval de Donges en 1978-80.

- La liaison des parties marine et fluviale, de Nantes à Oudon, fut aménagée à partir de 1915 par le creusement du "bassin de marée", afin d'amplifier la propagation de l'onde de marée vers l'amont. Les quantités de matériaux extraits du lit de fleuve rendent compte de l'effort consenti pour le développement de la navigation :

Table with 2 columns: Quantité extraite sur un siècle (en millions de m³), Amont de Nantes, De Nantes à Saint Nazaire, Chenal extérieur.

C'est en août 1889 que pour la première fois, les basses mers à Nantes et à Saint-Nazaire ont atteint la même cote. Suite à ces travaux, l'estuaire est devenu de type "estuaire de plaine" caractérisé par la réduction de la superficie des vasières au profit du développement des marais latéraux et la grande profondeur du chenal.



A PANACHE SEDIMENTAIRE LE 21/09/1998 - B.M. de VE.(coef. 89) et débit d'étiage (218 m³/s)

Source : SPOT RIV 2/33

de vives eaux et étiage fluvial, soit à la vitesse moyenne de 10m/s. En mortes eaux et étiage, cette vitesse peut doubler.

Onde de marée ne conserve pas la même amplitude tout au long de l'estuaire. En vives eaux moyennes, le plus grand marnage se trouve vers Le Pellerin où avec 5,85 m, il dépasse de 0,85 m le marnage à l'embouchure. En mortes eaux, le maximum est à Nantes avec 3,45 m soit 1m de plus qu'à Saint-Nazaire.

Les déplacements de la masse d'eau ou volume oscillant, dépendant de l'amplitude de la marée et du débit fluvial, diminuent en fonction de la distance à l'embouchure. D'après les dernières estimations (1976), par marée de coefficient 100 et étiage de 150 m³/s, les volumes emmagasinés par le flot en amont de certaines stations étaient les suivants, en millions de m³ :

Table with 3 columns: Station, Volume (millions de m³), Saint-Nazaire, Petit Carnet, Cordemais.

Ce n'est qu'en fortes crues (>5 000 m³/s) que les eaux fluviales sont expulsées hors de l'estuaire en une seule marée. La plupart

abruptes comme à Champcoceaux. Au niveau des valls, le lit s'est séparé en plusieurs bras isolant de nombreuses îles aujourd'hui rousées. Les anciens bras ou boires ne sont réactivés qu'en hautes eaux. Les bourrelets de rive, créés par la projection des sables lors des crues, forment barrage aux affluents qui ne peuvent rejoindre directement le fleuve. La superficie de la plaine inondable est de l'ordre de 22 000 ha dont 7 000 sont protégés des débordements par des levées.

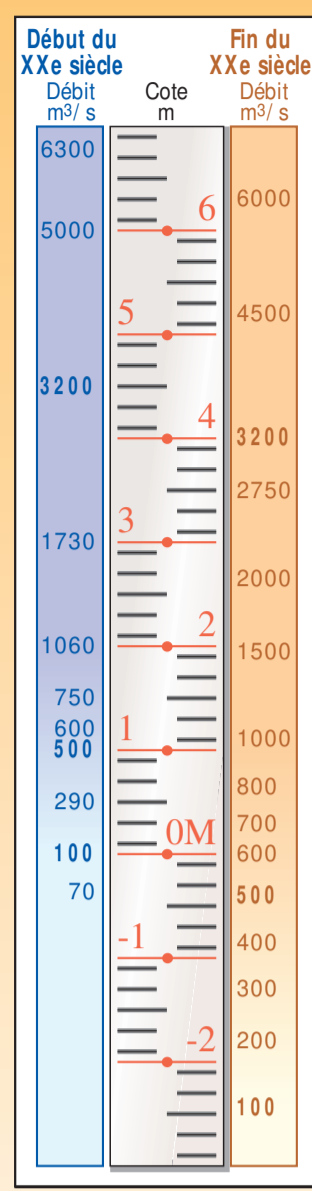
• Du Pellerin à Saint-Nazaire, la vallée s'évase en un vaste triangle ouvert à l'Ouest, borné par le Silon de Bretagne au Nord et la voussure du Pays de Retz au Sud. Plus de 21 000 ha de zones humides occupent cette plaine alluviale. Quelques pointements

rocheux émergent, alignés suivant la direction générale des failles, forment des goulets étroits qu'emprunte le lit maintenant unique du fleuve : Port-Launay - Le Pellerin, Donges - Paimboeuf et Saint-Nazaire - Mindin. Ces resserrements expliquent la forme d'entonnoir donnée à l'estuaire de la Loire, et non une forme de trompette comme en Seine.

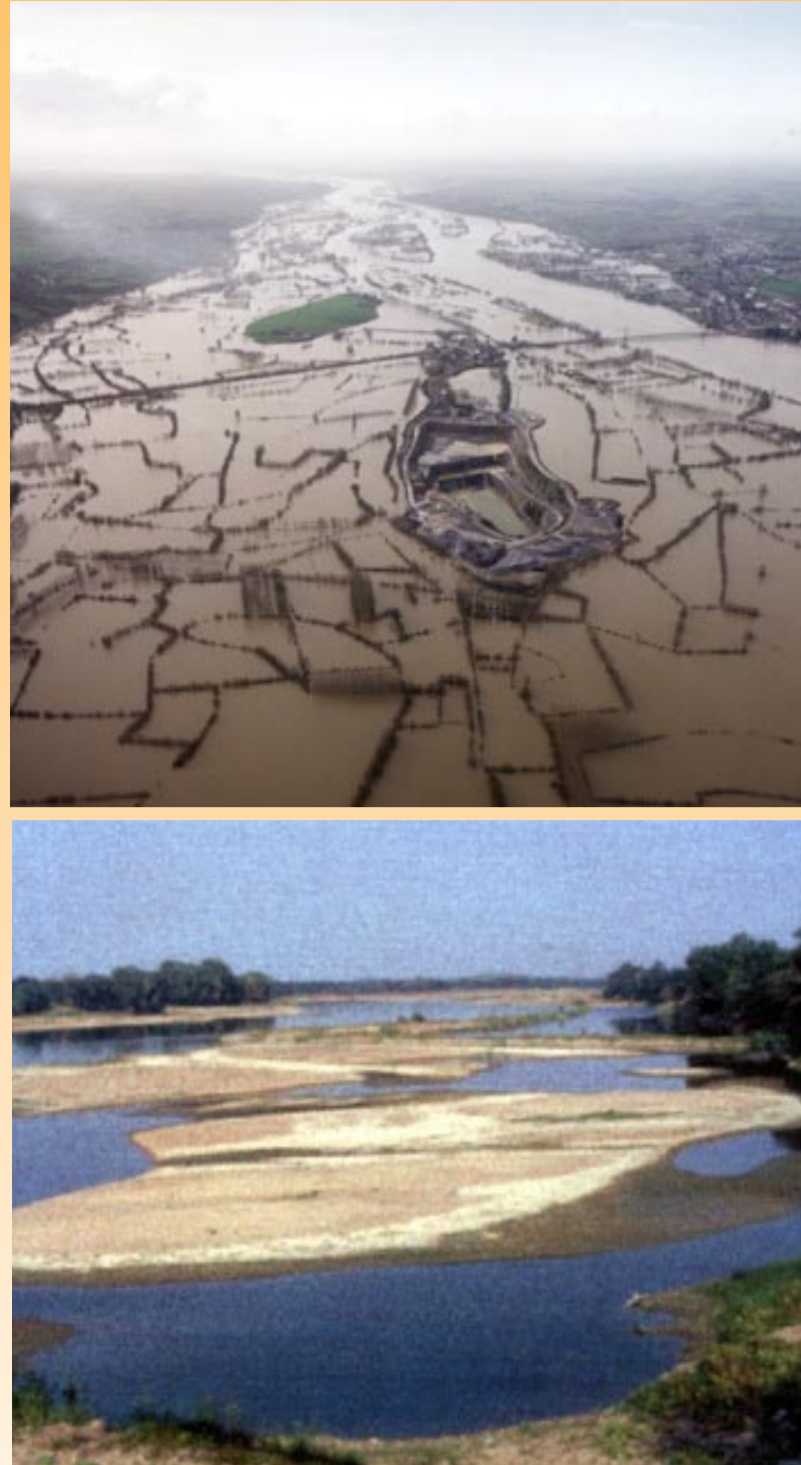
• En aval de Saint-Nazaire, la Loire se termine en un delta sous-marin, siège d'une sédimentation vaseuse et sableuse accrochée à de nombreux écueils rocheux. C'est là que se trouvait la barre des Charpentiers, grande ride de sable résultant de l'opposition du fleuve et de l'océan, marquant l'extrémité aval de l'estuaire, et dont le passage était tant redouté des navigateurs.

3 LE FLEUVE

CORRESPONDANCE COTES/DEBITS A MONTJEAN AU DEBUT ET A LA FIN DU SIECLE

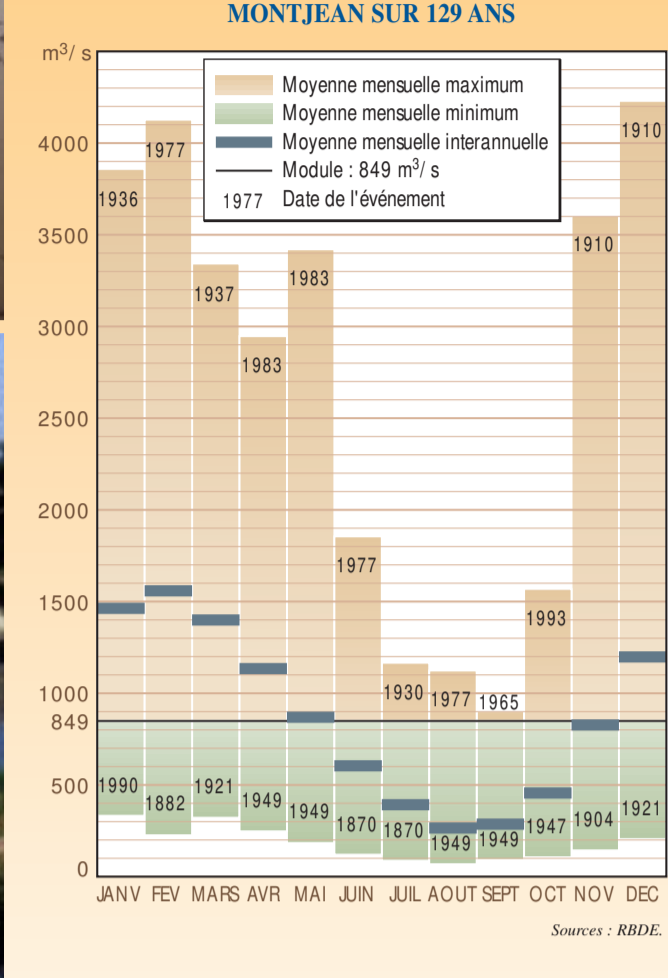


Sources : SMIA, ARCHIVES DEPARTEMENTALES, CMB



La Loire a rassemblé les eaux et lessivé les sols d'un bassin versant de 1 099 930 km² soumis à de multiples conditions climatiques qui lui confèrent un régime hydrologique et sédimentologique complexe, quand elle arrive à Montjean. Les quantités d'eau, tant en débits moyens qu'en flux écoulés sont éminemment variables d'une année à l'autre.

VARIATION DES DEBITS DE LA LOIRE A MONTJEAN SUR 129 ANS



Source : BRGM

Table with 3 columns: Année, Module en m³/s, Flux en Millions de m³. Rows include 1987 (année moyenne), 1988 (année humide), 1989 (année sèche).

Néanmoins, l'immodération (écart du module du mois le plus humide à celui du mois le plus sec) différence peu la Loire de la Seine et de la Garonne.

Cependant, toutes les périodes de l'année peuvent voir surgir de grands débordements, sauf les mois de juillet et d'août. Les débits instantanés extrêmes furent enregistrés en décembre 1910 (crue de 6 300 m³/s) et en août 1949 (étiage de 49 m³/s). Une telle irrégularité, directement perceptible par les riverains, fonde l'image d'une Loire "dernier fleuve sauvage d'Europe". Dans l'état actuel du lit, les crues supérieures à 3 200 m³/s transforment la vallée en une plaine d'eau. Lors des étiages, n'apparaît plus qu'un "fleuve de sable".

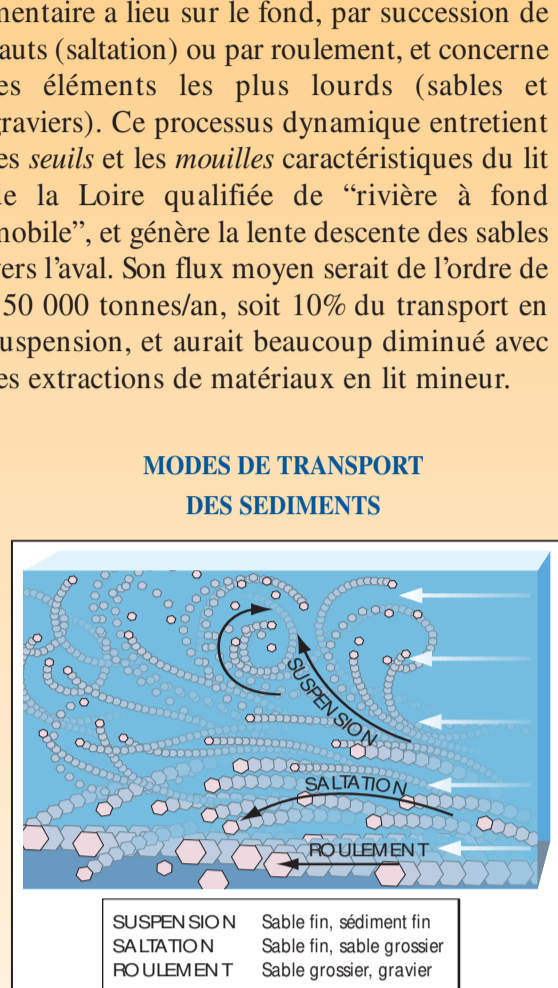
Des creusements se sont produits à l'amont : dans certaines sections du fleuve, le niveau de la ligne d'eau d'étiage est maintenant plus bas (2 m en moyenne) que le fond du lit voisi un siècle. Aujourd'hui, il faut un débit de 600 m³/s pour atteindre le 0 de l'échelle de Montjean, soit 6 fois plus qu'en 1900.

Les apports solides de la Loire se présentent sous trois formes.

- La première, dissoute dans l'eau, se compose essentiellement de sels minéraux. Le flux ainsi transporté est le plus important tant en poids, plusieurs millions de tonnes/an, que par son rôle vis à vis de la vie estuarienne et côtière.
La deuxième forme, les matières en suspension (MES), se compose de deux phases, l'une

minérale (sils, argiles et sables fins) de taille inférieure à 0,5mm, et l'autre organique (débris végétaux et algues), en proportion variable suivant la saison. Les plus fortes concentrations sont enregistrées lors de la montée de la première crue, période de lessivage intense pendant laquelle le quart ou le tiers du transit annuel peut être apporté en quelques jours. Le flux annuel de MES est estimé à 1,5 millions de tonnes en année moyenne.

MODES DE TRANSPORT DES SEDIMENTS



Source : OTTMANN

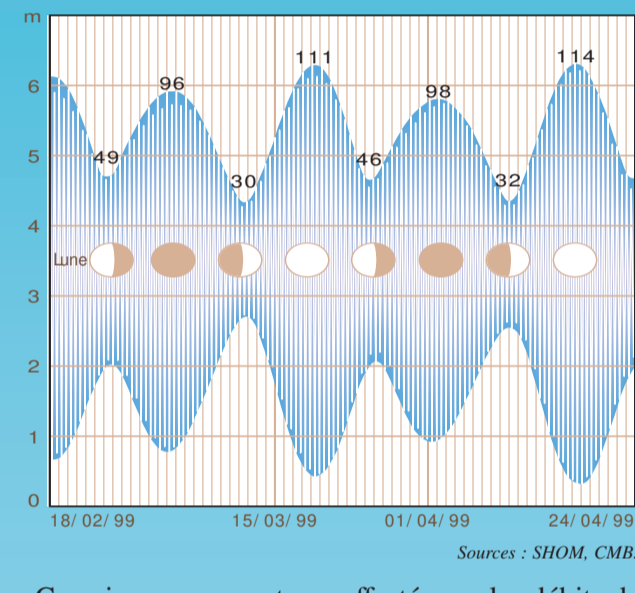
4 L'OCEAN

La latitude tempérée de 47° 15' N, l'embouchure de la Loire se situe sous le régime général des vents d'Ouest dont dépendent les mouvements des eaux superficielles océaniques, mouvements qui se retrouvent localement modifiés par la présence du plateau continental et l'orientation des côtes.

Le cycle de marée, sur la façade atlantique, dure 12 h 25 mn. Au large, elle est symétrique mais à Saint-Nazaire, la marée montante en vives eaux dure moins longtemps que la marée descendante.

La succession des coefficients de marée ne se reproduit pas à l'identique d'une année à l'autre. L'amplitude théorique de la marée varie à Saint-Nazaire de 1,90 m par coefficient de 35 (mortes eaux) à 6 m par coefficient de 115 (vives eaux).

VARIATION DES MAREES A SAINT-NAZAIRE



Source : SHOM, CMB

Ces niveaux ne sont pas affectés par les débits de la Loire. Par contre, la pression atmosphérique et surtout les vents modifient de manière non négligeable les niveaux d'eau en générant des décoches ou des surcotes.

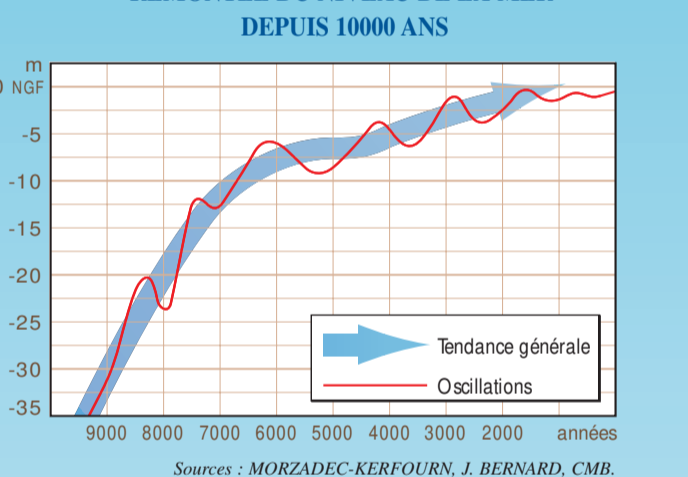
L'ouverture de l'estuaire vers l'O-S-O rend celui-ci particulièrement sensible aux houles et aux vagues qui, pour 80% d'entre elles, proviennent de cette direction.

En se brisant sur les hauts fonds, elles créent une forte agitation et de la sorte, les eaux claires du large se chargent de sédiment à l'approche des côtes. Les particules remises en suspension peuvent être réintroduites dans l'estuaire interne par le flot dont le volume en année moyenne est de

150 milliards de m³, soit 6 fois plus que le flux apporté par la Loire. Cette "reprise" sédimentaire, dont l'estimation exacte est délicate (1 million de tonnes/an ?), souligne l'importance des transports solides dans les échanges avec la mer. Ces échanges sont liés également au niveau moyen de la mer dont des observations de longue durée révèlent un exhaussement de 1,5 à 2 mm/an. Or partout dans le monde on constate un colmatage sédimentaire accéléré des baies et des estuaires.

Au 1er janvier 1996, le 0 hydrographique des cartes marines (0 CM), jugé trop haut par rapport au niveau des plus basses mers jamais enregistré, a été recalé pour l'ensemble de l'embouchure de la Loire par abaissement de 0,40 m. Il se trouve depuis cette date à 3,16 m sous le 0 de l'échelle générale de la France terrestre (IGN 1969).

REMONTÉE DU NIVEAU DE LA MER DEPUIS 10000 ANS



Source : MORZADÉC-KEFFOURN J., BERNARD, CMB

5 NI FLEUVE NI OCEAN : L'ESTUAIRE

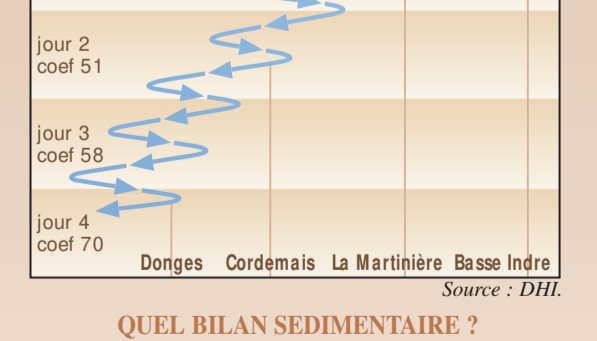
1953. A ces variations saisonnières du front de salinité, se superposent des déplacements journaliers au gré des marées, le trajet parcouru entre la basse mer et la pleine mer augmentant quand le débit fluvial décroît.

LE PIEGE A SEDIMENTS

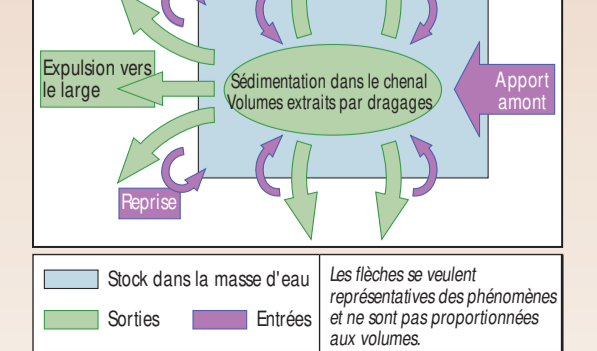
Dès que les eaux fluviales sont freinées par la marée dynamique, le piège commence à fonctionner et s'amplifie au fur et à mesure que le régime proprement estuarien s'accroît. Dans la zone de rencontre des eaux de jusant et des eaux de flot, les courants diminuent, voire s'annulent en un point dit

point nodal. Les particules sédimentaires, jusque-là maintenues en suspension s'agglomèrent sous forme de flocons et tombent sur le fond à la faveur des étales de basse mer. La quantité de sédiments piégés varie de 0,5 à 1,5 million de tonnes. Cette masse très turbide s'entretient et se déplace dans l'estuaire interne suivant le coefficient de marée et le débit de la Loire, sous deux formes remarquables, le bouchon vaseux et les étales sont courts. Il peut osciller d'une vingtaine de kilomètres au cours d'une même marée. Il est repérable, tant en amont qu'en aval, par une brusque chute des concentrations en matières en suspension, tandis qu'à l'intérieur, les turbidités varient peu, de 2 g/l en surface à 20 g/l au fond. Sa position dans l'estuaire est fonction du débit. En cas d'étiage sévère, comme en août 1991, le bouchon vaseux peut remonter jusqu'à La Varenne. Par contre, il faut aujourd'hui une crue de

5 000 m³/s pour l'expulser en mer. Pour la moitié du temps (débits compris entre 500 et 1 000 m³/s) il est centré entre Donges et Cordemais, et s'étend de Saint-Nazaire à Couéron.

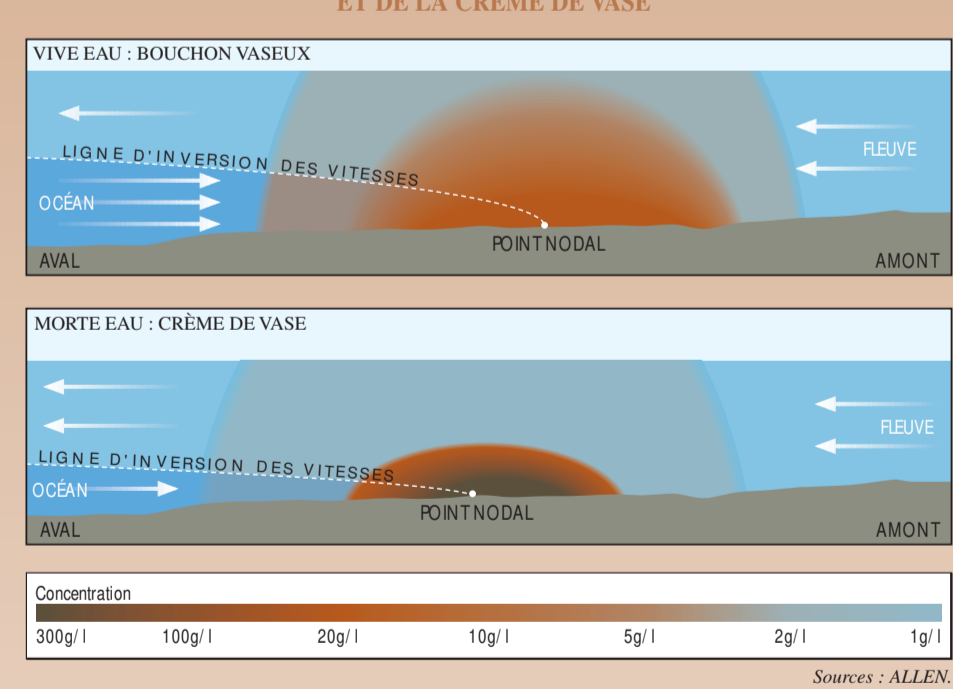


QUEL BILAN SEDIMENTAIRE ?



Source : CMB

FORMATION DU BOUCHON VASEUX ET DE LA CREME DE VASE



Le bouchon vaseux est présent en période de vives eaux, quand les courants créent une forte agitation des eaux et que les étales sont courts. Il peut osciller d'une vingtaine de kilomètres au cours d'une même marée. Il est repérable, tant en amont qu'en aval, par une brusque chute des concentrations en matières en suspension, tandis qu'à l'intérieur, les turbidités varient peu, de 2 g/l en surface à 20 g/l au fond. Sa position dans l'estuaire est fonction du débit. En cas d'étiage sévère, comme en août 1991, le bouchon vaseux peut remonter jusqu'à La Varenne. Par contre, il faut aujourd'hui une crue de 5 000 m³/s pour l'expulser en mer. Pour la moitié du temps (débits compris entre 500 et 1 000 m³/s) il est centré entre Donges et Cordemais, et s'étend de Saint-Nazaire à Couéron.



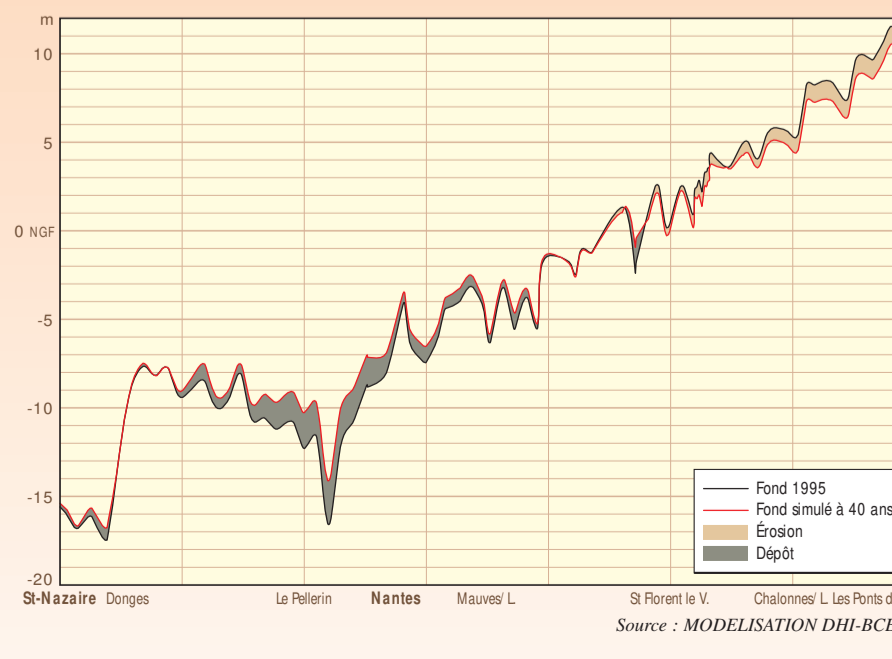
6 LE REEQUILIBRAGE NECESSAIRE

Dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature de janvier 1994, les Collectivités locales et l'Etat ont décidé de mener des études prospectives par modèles mathématiques afin de rechercher les solutions permettant de palier les conséquences de l'extension de l'estuaire vers l'amont et de l'abaissement des lignes d'eau en Loire fluviale. Aujourd'hui, les premières études sont terminées.

De Nantes aux Ponts de Cé, il apparaît que l'arrêt des extractions de sable depuis 1993 s'avère insuffisant pour enrayer l'érosion régressive des fonds en amont de Saint Florent le Vieil et pour relever dans des délais acceptables les fonds en aval de ce point. L'objectif de remontée de la ligne d'eau d'étiage ne pourrait être atteint qu'à très très long terme. Il est proposé en conséquence "d'aider la nature" en remobilisant les sables piégés par les épis et en construisant des seuils de blocage du transit sédimentaire ainsi libéré.

De Nantes à Saint-Nazaire, l'étude du rééquilibrage de l'estuaire, dépendant entre autres du devenir de la partie fluviale, demande à être poursuivie.

EVOLUTION PROSPECTIVE DES FONDS



Source : MODÉLISATION DII-BRGM, CMB