

PROGRAMME INTERREGIONAL LOIRE GRANDEUR NATURE

PROGRAMME AMONT

Restauration des milieux naturels
Restauration de la ligne d'étiage en basse Loire

**Présentation au Comité consultatif
de l'état d'avancement des études pré-opérationnelles**

Lundi 13 janvier 2003
Ancenis



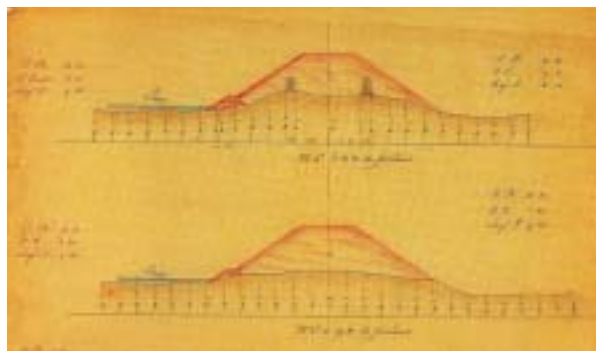
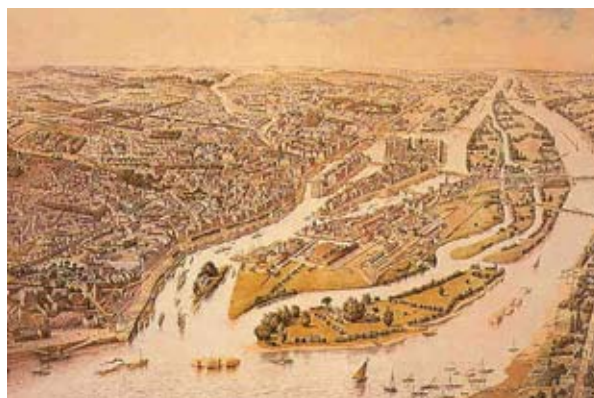
Des usages qui ont évolué

La démarche actuelle de restauration de l'estuaire correspond à une évolution des usages et des préoccupations .

Depuis la fin du XIX^e siècle, la Loire a été aménagée pour favoriser la navigation commerciale et protéger les riverains des inondations.

La chenalisation du lit en aval de Nantes, la création du bassin à marée, l'extraction de granulats, la mise en place d'épis, de levées, autant de travaux qui ont répondu aux objectifs d'une époque mais qui ont également mis en péril l'équilibre du fleuve.

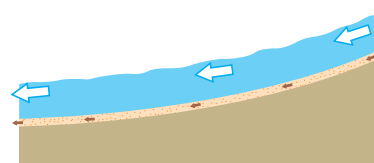
Aujourd'hui, si la protection contre les inondations reste un enjeu majeur, la navigation commerciale a presque disparu entre Nantes et Angers. Parallèlement, la protection de l'environnement est devenue un enjeu majeur.



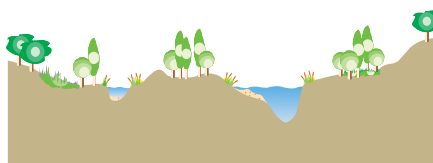
Fonctionnement dégradé du fleuve : trois équilibres en péril

La mise au point du programme d'action en vue de relever la ligne d'eau d'étiage de la Loire s'appuie sur une analyse des dysfonctionnements du fleuve.

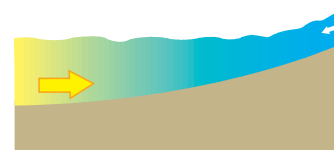
L'équilibre global du fleuve peut se décliner en trois équilibres principaux qui, chacun, ont été perturbés : l'équilibre longitudinal ou « équilibre de la pente du fleuve », l'équilibre transversal ou « équilibre bras principal - bras secondaires », l'équilibre estuarien ou « équilibre fleuve-mer ».



Équilibre de la pente



Équilibre bras principal
bras secondaires



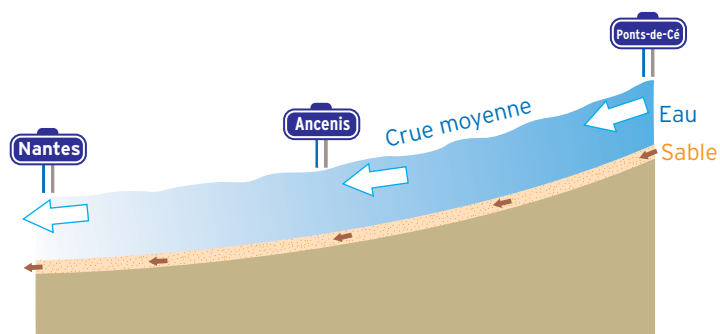
Équilibre fleuve mer

Pour chacun des trois équilibres, la modification de la largeur ou de la profondeur du fleuve a entraîné un bouleversement de l'ensemble du système.

L'équilibre naturel de la pente du fleuve

L'équilibre longitudinal ou « équilibre de la pente du fleuve » résulte de l'interaction entre quatre paramètres principaux : la pente et la largeur du fleuve, le débit, le transport des sédiments sableux.

Le transport du sable s'effectue en période de crues. L'évolution à moyen et à long terme des fonds est déterminée par les crues dites moyennes.

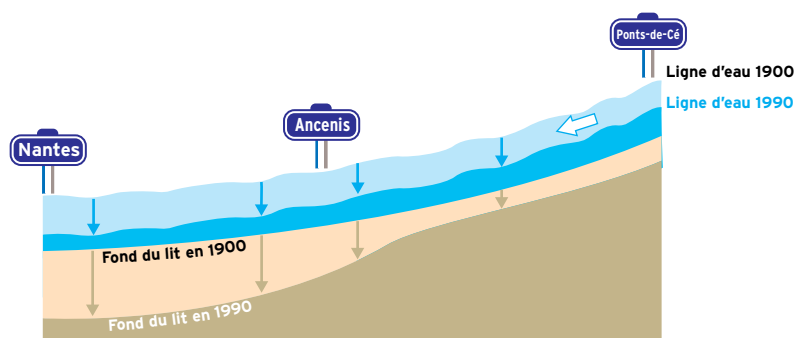


L'équilibre de la pente perturbé

La construction des épis qui concentrent le débit dans le chenal et les extractions massives du sable du lit ont conduit à un abaissement très important des fonds.

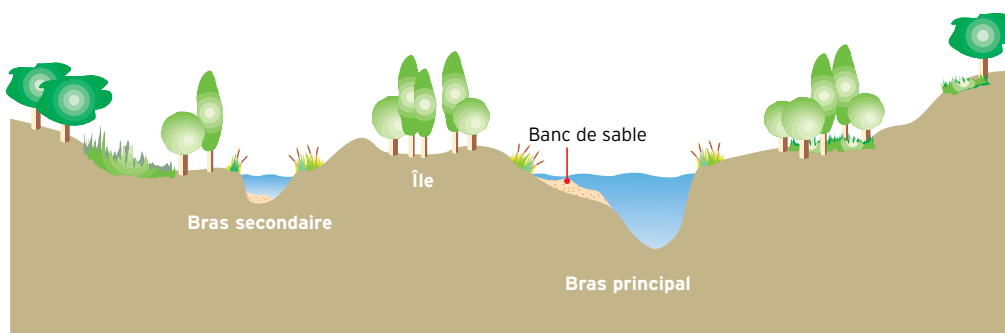
Rappelons quelques chiffres relatifs à l'abaissement de la ligne d'eau au xx^e siècle : 1, 20 m à Chalonnes, 1,85 m à Montjean, 2,10 m à Ingrandes, 2,35 m à Saint-Florent-le-Vieil, 3, 20 m à Ancenis.

On note aussi des approfondissements locaux plus importants comme à Bellevue (8 m !).



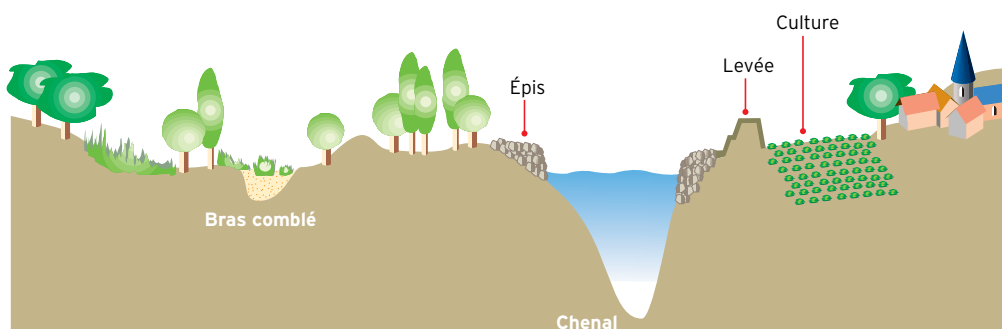
L'équilibre naturel bras principal - secondaires

Dans un fleuve non calibré, l'eau et le sable se répartissent entre différents bras et chenaux. Ces derniers peuvent changer de place et de forme d'une année à une autre, permettant la « respiration du fleuve ».



L'équilibre bras principal - secondaire perturbé

Les aménagements réalisés ont figé la géométrie du fleuve : le lit majeur est endigué par des levées et le lit mineur est canalisé entre les épis. Les bras secondaires et les boires ont été complètement ou partiellement déconnectés. Des accumulations importantes de sable sont observées entre les épis et dans les bras déconnectés.

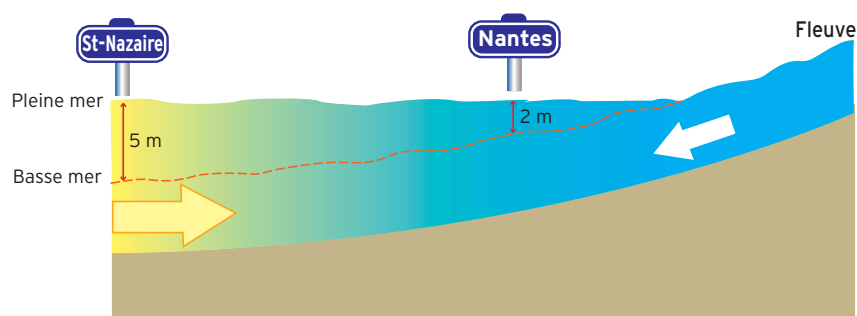


Sur les zones traditionnellement inondables mises hors d'eau par les aménagements, des habitations et des cultures sont apparues. Les grèves se sont continentalisées, les bras se sont comblés.

L'équilibre naturel fleuve - mer

L'estuaire est le lieu de rencontre de l'énergie du fleuve (le débit) et de la mer (la marée). Ce point de rencontre se déplace continuellement en fonction des fluctuations de l'amplitude de la marée, du débit fluvial et des conditions météorologiques.

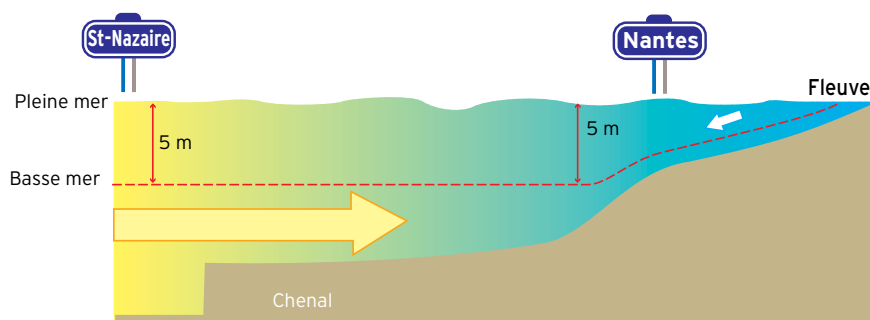
En remontant l'estuaire depuis l'embouchure, l'influence de la mer (marée et salinité) diminue progressivement.



Avant les grands aménagements réalisés en Loire, le marnage (différence entre marée haute et marée basse) était de cinq mètres à l'embouchure de l'estuaire et de deux à trois mètres environ au niveau de Nantes. La salinité était nulle à Nantes.

L'équilibre fleuve - mer perturbé

Le creusement du chenal de navigation en aval de Nantes et la création d'un bassin à marée à l'amont ont eu pour effet de favoriser l'intrusion de la mer dans l'estuaire. L'équilibre estuarien ou équilibre fleuve-mer a été rompu.



La limite d'influence de la marée est remontée jusqu'à Ancenis. Le marnage à Nantes est aujourd'hui identique à celui que l'on observe à l'embouchure. Les eaux salées ont aussi progressé vers l'amont.

Les objectifs du projet

Les déséquilibres du fleuve occasionnés par les aménagements et les extractions de sable se résument à l'amont de Nantes à deux constats principaux :

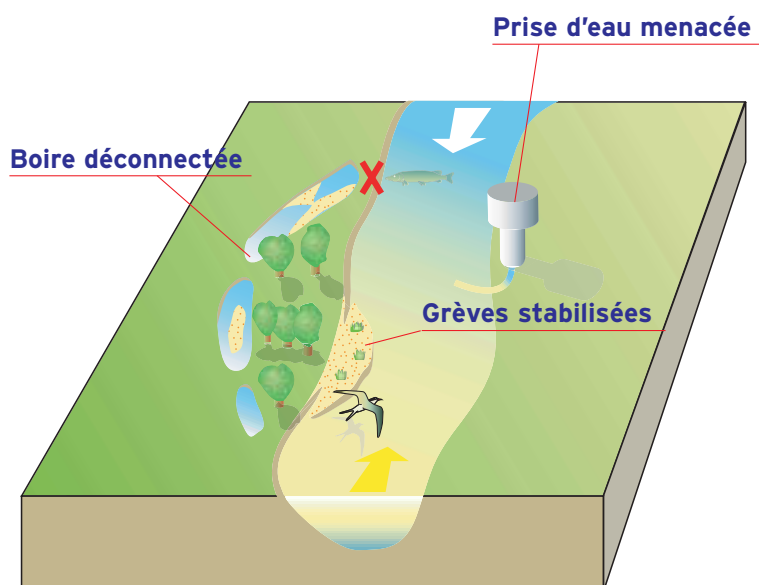
- l'intrusion de la marée,
- la chute des fonds et de la ligne d'eau.

La lutte contre ces deux phénomènes doit être l'objectif de toute démarche de restauration de la Loire estuarienne.

Des enjeux importants pour les usages et l'environnement

La chenalisation du lit a dégradé le fonctionnement de nombreuses annexes hydrauliques (bras secondaires et boires) qui se sont progressivement déconnectées du lit, envasées ou ensablées et dans lesquelles la végétation s'est développée.

Ces annexes hydrauliques ont perdu leur fonction hydraulique (écoulement des crues) et biologique (frayères, diversité écologique).



L'abaissement de la ligne d'eau végétalise les grèves sableuses anciennement mobiles et les fixe aux rives. Les nids de Sternes et de Gravelots sont menacés par la continentalisation des berges.

La remontée du bouchon vaseux et de la salinité perturbe les usages en matière d'alimentation en eau potable et d'irrigation agricole. La prise d'eau de Nantes a dû être déplacée de 14km plus en amont (Mauves).

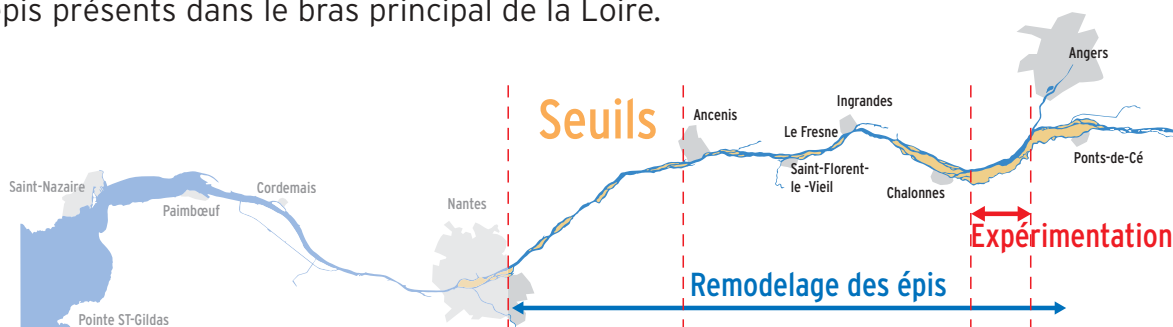
Deux solutions complémentaires

La seule façon de relever de manière continue et homogène la ligne d'eau d'étiage consiste à relever les fonds.

Dans ce dessein, les seuls apports naturels de la Loire ne suffiront pas : à l'échéance de quarante ans, le seul effet positif auquel on peut s'attendre est un comblement limité du bassin de marée par les apports sédimentaires amont. Par ailleurs, un comblement artificiel du lit mineur par des sédiments venant de l'extérieur est techniquement difficile et très coûteux.

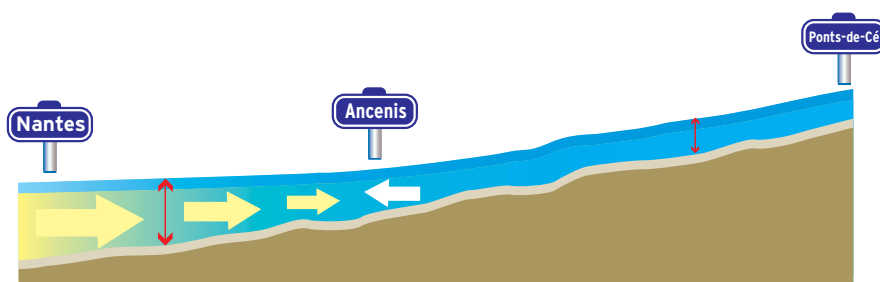
Le meilleur choix est donc de remobiliser le sable actuellement piégé entre les épis et dans les bras secondaires en abaissant et en raccourcissant des épis.

Par prudence, compte tenu du caractère très complexe des phénomènes hydro-sédimentaires en jeu, une expérimentation sera menée sur le tronçon entre Bouchemaine et Chalonnnes. Le remodelage concernerait dans un premier temps les épis présents dans le bras principal de la Loire.



Dans un deuxième temps, en fonction du retour d'expérience sur le projet expérimental d'Ingrandes - Le Fresnes notamment, une réflexion pourra être engagée sur les épis-digues ou chevrettes qui barrent l'entrée des bras secondaires.

Si l'intervention sur les épis est efficace pour la majeure partie du tronçon étudié, elle s'avère insuffisante pour la zone la plus à l'aval, entre Nantes et Ancenis, secteur qui correspond au bassin à marée.



Le creusement très important des fonds et l'influence de la marée nécessitent dans cette zone le recours à une solution plus lourde : la mise en place de seuils.

Les épis : construction au début du xx^e siècle

Les épis sont des ouvrages de régularisation de la Loire qui ont été mis en place au début du xx^e siècle pour améliorer les conditions de navigation sur le fleuve.

La méthode a consisté à organiser le lit sinueux du fleuve en fonction des mouilles existantes et à réduire les sinuosités de façon à fixer un chenal unique et pérenne.

Les ouvrages sont essentiellement des épis, mais il existe également des ouvrages de fermeture de bras secondaires ou « chevrettes » et des digues de concavité parallèles aux rives. Des casiers destinés à piéger du sable ont également été érigés.

On trouve entre Angers et Nantes une suite presque continue de ces épis sur les deux rives, de longueur variable et espacés en moyenne de 250 m.

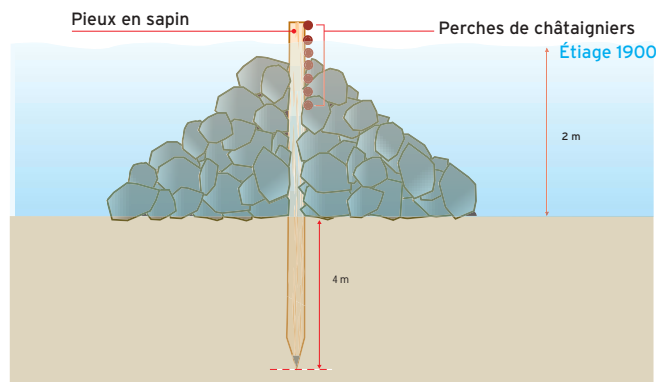
Sur la base d'un plan établi en 1930, on estime que le nombre d'ouvrages est de l'ordre de 700 sur un linéaire de fleuve de 80 km.



Conception technique des épis

Les épis sont fait d'alignements de pieux en sapin, espacés de 1,50 m et reliés entre eux par des panneaux en clayonnage de branches de châtaigniers. Ils sont protégés en pied par des enrochements sur tout le linéaire y compris l'ancrage en berge.

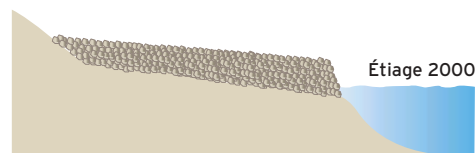
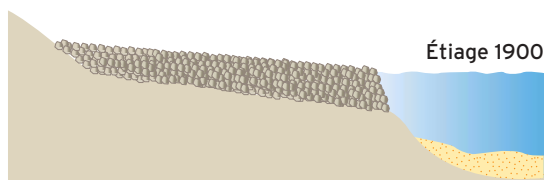
Ce massif d'enrochement a une forme générale triangulaire de 4,50 m de base pour 2 m de hauteur.



Sur la base d'une longueur moyenne de 175 m, le linéaire total des épis serait de 100 à 150 km, soit un volume estimé de 450 à 675 000 m³ d'enrochement.

Des ouvrages calés sur la ligne d'eau d'étiage de l'époque

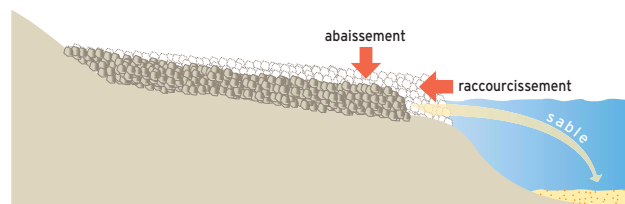
La cote des épis a été calée au niveau de la ligne d'eau d'étiage du début du xx^e siècle, soit 2 à 3 mètres au-dessus de la ligne d'eau actuelle.



Les principes d'intervention (abaissement, raccourcissement)

Le remodelage proposé correspond à un abaissement ainsi qu'à un raccourcissement des ouvrages.

En première approximation, les volumes de sable disponibles entre les épis seraient de l'ordre de 10 à 20 m³, soit l'équivalent de plusieurs décennies d'apports de la Loire.

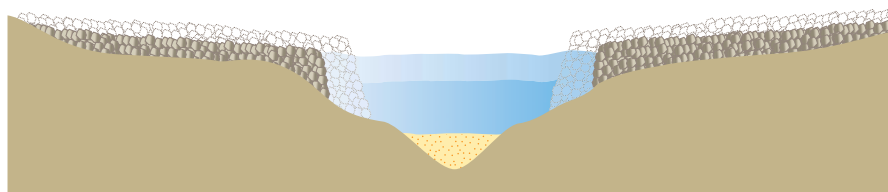


Après quelques crues, ce sédiment se répartira dans le lit mineur, entraînant un relèvement des fonds et des niveaux d'étiage.

Le transport des sédiments tel qu'il a pu être étudié lors des études de modélisation s'avère suffisamment lent pour nourrir les fonds.

Le remodelage des épis : impact sur la ligne d'eau et sur le chenal

Le relèvement des fonds s'accompagne d'un relèvement quasi-identique des niveaux d'étiage.



Le niveau de relèvement attendu est de 50 cm environ.

Ainsi, si cette action de remobilisation du sable ne permet pas de compenser complètement l'enfoncement du lit de la Loire, elle y contribue à moyen terme de manière significative.

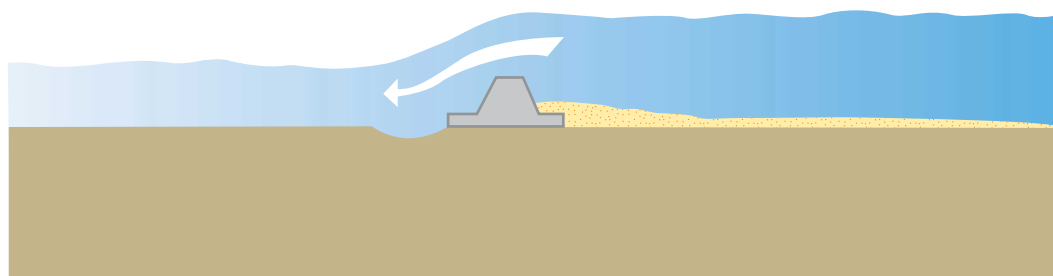
On assistera à un élargissement du chenal avec un tirant d'eau proche du niveau actuel, la ligne d'eau suivant globalement l'évolution des fonds. Le courant diminuera.

Le remodelage des épis : impact sur les inondations

Le remodelage des épis n'entraîne pas d'augmentation des niveaux de crues inondantes. Le relèvement des fonds est en fait compensé par l'élargissement des sections d'écoulement obtenu grâce à la réduction des épis.

Les seuils dans le bassin à marée : définition et fonctionnement

Un seuil est une surélévation franche du fond d'un cours d'eau qui provoque une contraction de la section d'écoulement.



La vocation d'un seuil est double :

- relever de manière immédiate la ligne d'eau en amont du seuil (remous hydraulique),
- relever à plus long terme les fonds et donc la ligne d'eau par accumulation des sédiments en amont (remous sédimentologique).

Le relèvement de la ligne d'eau dépend de plusieurs paramètres : le dimensionnement et la conception du seuil, la section d'implantation, le débit de la Loire, la marée (en aval d'Ancenis).

Les effets de relèvement de la ligne d'eau sont calculés en fonction des différents débits du fleuve pour répondre aux objectifs :

Le relèvement le plus fort est recherché en basse mer d'étiage (env 1 m).

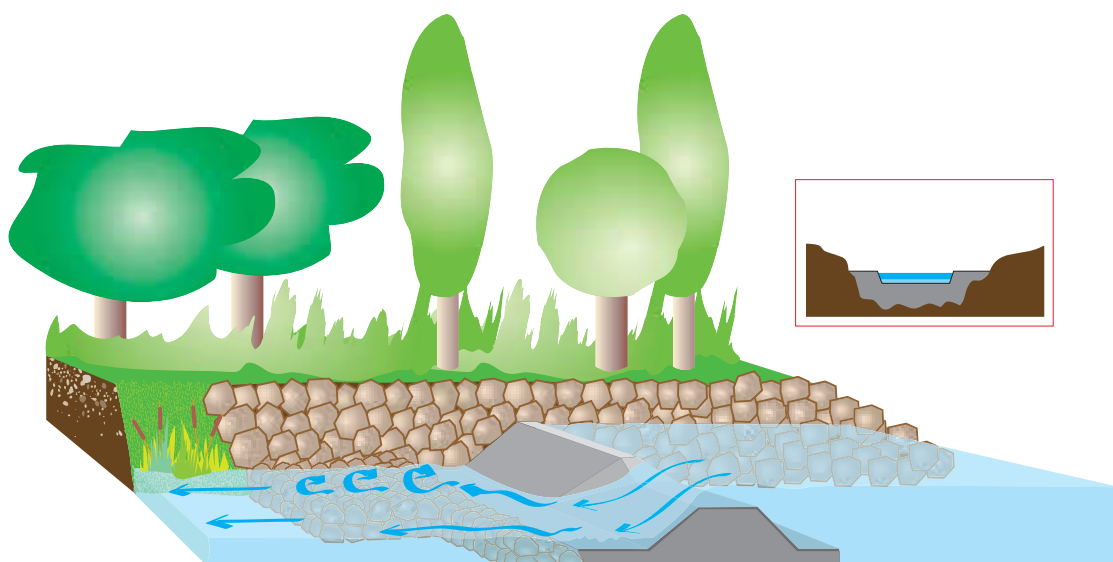
Un relèvement moyen (0,1 à 0,3 m) est attendu pour les crues non débordantes et correspondant à un débit de 2500 m³/s .

Le relèvement est nul pour les crues débordantes et correspondant à un débit supérieur à 5000 m³/s.

Des seuils à échancrure

Les seuils proposés présentent une échancrure afin de favoriser le franchissement.

A l'amont du seuil, les vitesses du courant sont réduites mais une accélération se produit au droit du seuil qui peut atteindre 4m/s dans les conditions les plus critiques de marée et de débit.



L'augmentation brutale de la section à l'aval immédiat du seuil entraîne des phénomènes de turbulence susceptibles de fragiliser les berges proches (environ 50 m).

Ces phénomènes hydrauliques (accélération du courant et remous) nécessitent de prévoir des protections (enrochements) à l'aval de l'ouvrage et au niveau des berges.

Positionnement et dimensionnement des seuils dans le bassin à marée

L'étude de modélisation a montré l'efficacité des seuils pour relever la ligne d'eau et réduire le marnage entre Nantes et Ancenis par remontée des basses mers. La question qui se pose est de savoir combien d'ouvrages il faut envisager et où les placer.

Bellevue a longtemps constitué le point de liaison entre la Loire maritime et la Loire fluviale. Ce point constituait jusqu'en 1975 un verrou limitant l'intrusion de la marée, de la salinité et du bouchon vaseux.

À cette date, des aménagements visant à améliorer les conditions de navigation ont été réalisés (création d'un chenal le long de la rive sud). Ces aménagements ont entraîné une forte érosion des fonds et un effondrement des niveaux de basse mer d'étiage. Parallèlement, le volume oscillant, la turbidité et la salinité ont augmenté.

Compte tenu du niveau d'abaissement des fonds dans ce secteur et de l'influence forte de la marée, il ne sera pas possible d'obtenir un relèvement significatif de la ligne d'eau par une remontée des fonds liée au seul remodelage des épis.

Par conséquent un ouvrage de type seuil s'impose dans ce secteur.

Il permettra un relèvement des basses mers en étiage, la réduction de l'intrusion de la marée et de la salinité. Il permettra par ailleurs de limiter le flux de sable en aval de Nantes.

Les deux scénarios pour l'implantation du seuil de Bellevue

Deux scénarios sont étudiés pour l'implantation de l'ouvrage de Bellevue-Thouaré. Un premier emplacement au droit du village de Bellevue correspond à la position du seuil historique. Un deuxième site est envisagé plus en amont, entre le pont de Thouaré et Boire-Courant.

Site aval

1960



1995



Site amont

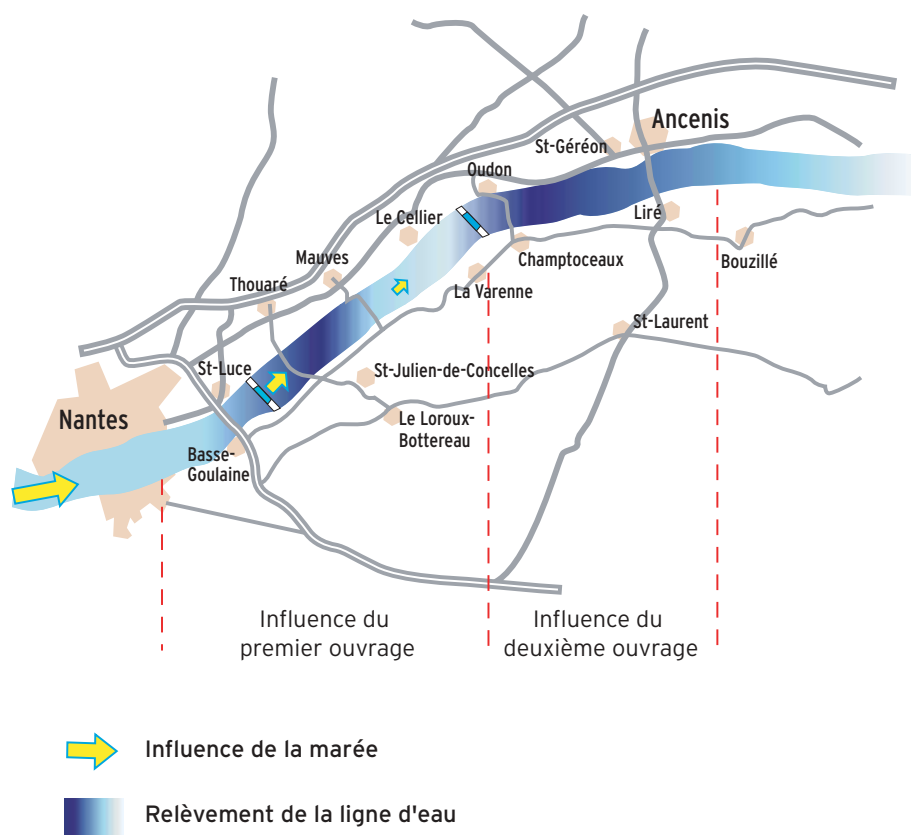


Un deuxième seuil complémentaire

Le seuil de Bellevue permet de réduire le marnage d'environ 1 m. Cet impact, quoique significatif, est relativement modeste compte tenu de l'abaissement constaté de la ligne d'eau qui est 3 à 4 fois supérieur.

Par ailleurs, l'effet de relèvement de ligne d'eau à l'amont du seuil ne se fait sentir que sur une distance limitée (5 à 7 km).

Par conséquent, un deuxième seuil doit être envisagé pour renforcer les effets du premier.



Cet ouvrage ne doit pas être situé trop près de Bellevue pour ne pas faire « double emploi » ni trop loin car il serait en dehors de la zone marnante. Un positionnement entre Oudon et Mauves, dans le secteur du Cellier, semble ainsi optimal.

Un deuxième seuil dans ce secteur aurait également une incidence favorable pour l'alimentation des annexes hydrauliques, en particulier pour la reconnexion du complexe des boires du Cellier, Anjou, Saint-Nicolas, Chapoin.

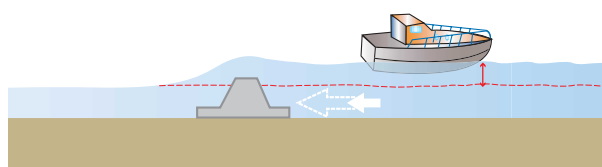
Les impacts des seuils sur la navigation

La Loire entre Bouchemaine et Nantes est un cours d'eau inscrit en classe 3 de la nomenclature des voies navigables gérées par VNF. La classe 3 correspond à un tirant d'eau de 3 m et à un tonnage de 1500 t.

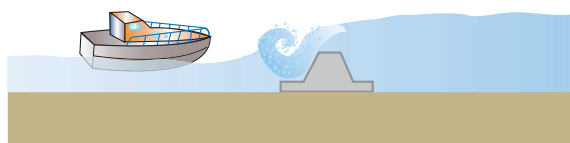
Les trafics commerciaux ont quasiment disparu. En amont de Nantes, la navigation porte essentiellement sur le transport de sable de mer, la pêche et la navigation de tourisme.

Une navigation sans contrainte sur l'ensemble du cours du fleuve n'est pas compatible avec le projet de relèvement de la ligne d'eau à l'étiage (diminution des tirants d'eau, augmentation des vitesses, restauration des fonds mobiles du lit...)

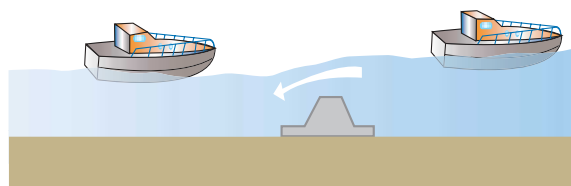
En amont des seuils, la navigation sera favorisée grâce à la réduction des courants et à l'augmentation des tirants d'eau.



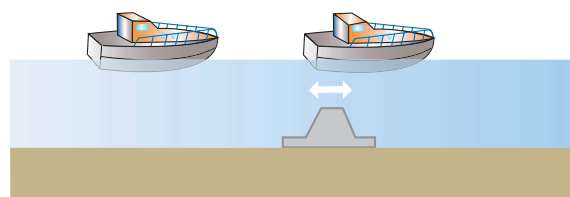
Au droit des seuils, la navigation sera impossible aux étales de basse mer et au plus fort du jusant, en raison de la différence de niveau d'eau trop importante entre l'amont et l'aval du seuil, du tirant d'eau insuffisant ou des vitesses excessives.



Les embarcations de pêche et de plaisance pourront franchir le seuil sur une plage horaire d'environ 6 heures par cycle de marée pour le seuil de Bellevue et d'environ 3 heures pour le seuil du Cellier. Durant cette plage horaire les lignes d'eau amont / aval du seuil sont identiques et les vitesses sont inférieures à 1,5 m/s.

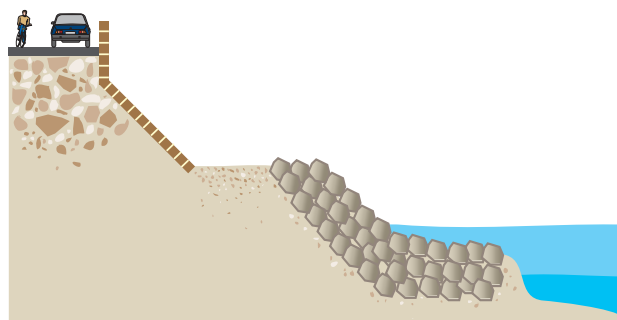
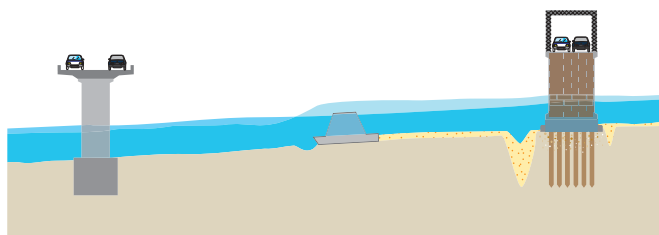


La navigation se fait sans aucune difficulté pour tous les types d'embarcation lors de la pleine mer.



Les deux scénarios de Bellevue et les impacts sur les ouvrages

Trois ouvrages principaux dans le secteur de Bellevue sont concernés par les impacts du seuil projeté : les ponts de Bellevue et de Thouaré et la levée de la Divatte.



Le scénario aval d'implantation du seuil de Bellevue est favorable à la stabilité de la levée de la Divatte du fait du relèvement de la ligne d'eau, de la limitation des courants et de la réduction du marnage à l'amont du seuil.

La conception du pont de Bellevue (piles ancrées dans le rocher) rend celui-ci peu vulnérable au risque d'affouillement provoqué par la légère baisse de la ligne d'eau de basse mer à l'aval du seuil et par l'accélération des courants.

Le scénario amont d'implantation du seuil est prévu sur une zone renforcée de la levée.

Les remous à l'aval du seuil ne se font sentir que sur une distance de 50 m environ et l'accélération des courants se produit au droit de l'ouvrage et dans l'axe du fleuve.

Pour ce scénario d'implantation, la remontée de la ligne d'eau à l'amont du seuil est favorable à la stabilité du pont de Thouaré, ouvrage plus ancien et plus fragile que celui de Bellevue.

Par contre, la nouvelle répartition des débits entre les deux bras de la Loire sur ce secteur pourrait s'avérer légèrement défavorable à la stabilité des piles nord du pont de Thouaré. Ce risque nécessiterait sans doute des travaux de renforcement des piles nord du pont. En revanche, l'impact est favorable pour les piles du bras sud.

PROGRAMME AMONT
 Restauration des milieux naturels - Restauration de la ligne d'étiage en basse Loire

Le calendrier du projet

