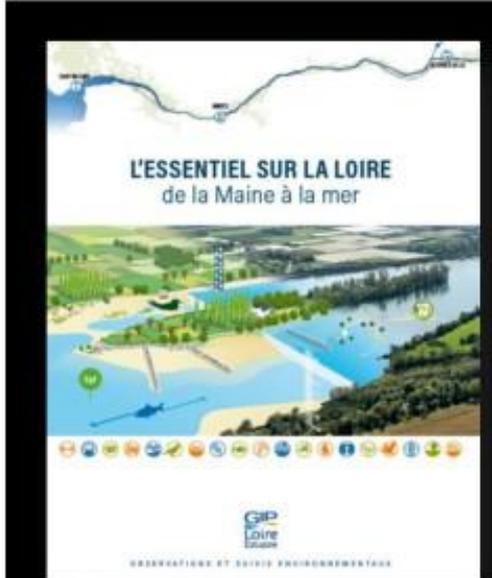


LES ENJEUX LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Kristell LE BOT
Chargée d'études et de projets



GIP pour Groupement d'Intérêt Public.

La zone d'étude du GIP Loire Estuaire, la voici représentée :
c'est la Loire de la Maine à la mer, des Ponts-de-Cé à Saint-Nazaire.

Et l'encadré orange délimite l'estuaire notre territoire
d'étude pour cette conférence-débat.



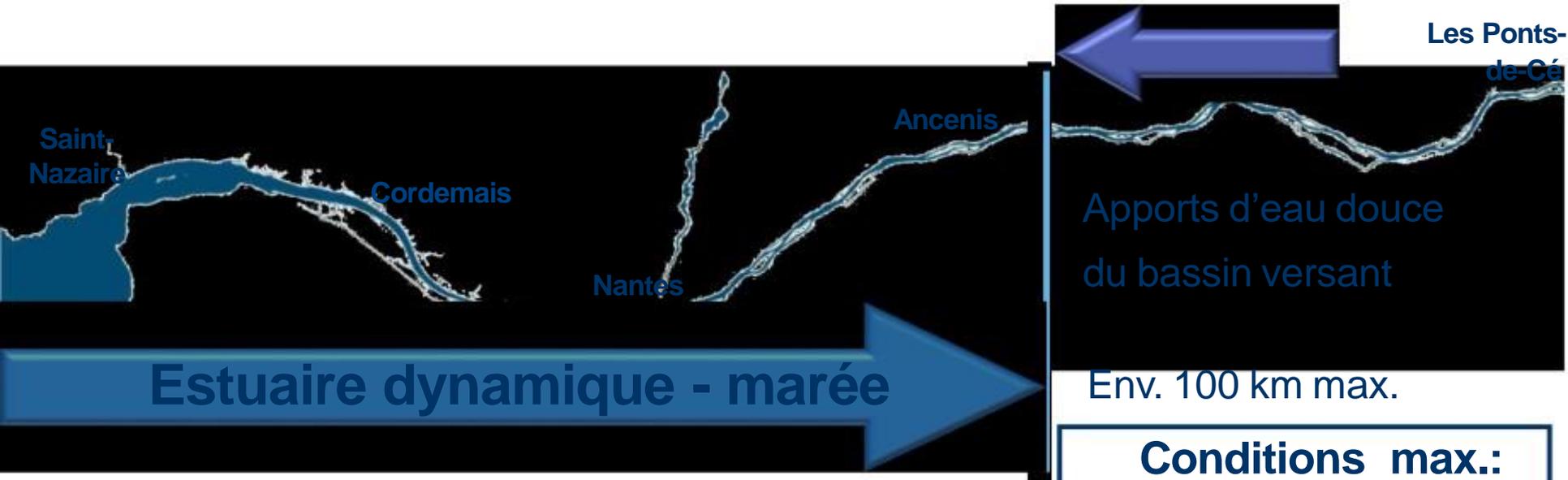
- Présentation générale de l'estuaire de la Loire
- Définition des enjeux liés au changement climatique
- Le programme de recherche C3E2
- Les submersions en aval de Nantes



Pour évoquer les enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire, je vous propose :

- d'abord une brève présentation de l'estuaire
- Puis la définition des enjeux liés au changement climatique, nous évoquerons ensuite le projet de recherche C3E2, dont je ne vous dévoile pas tout de suite le nom complet
- enfin nous détaillerons les submersions dans l'estuaire.

Estuaire : zone de mélange des eaux



Apports d'eau douce
du bassin versant

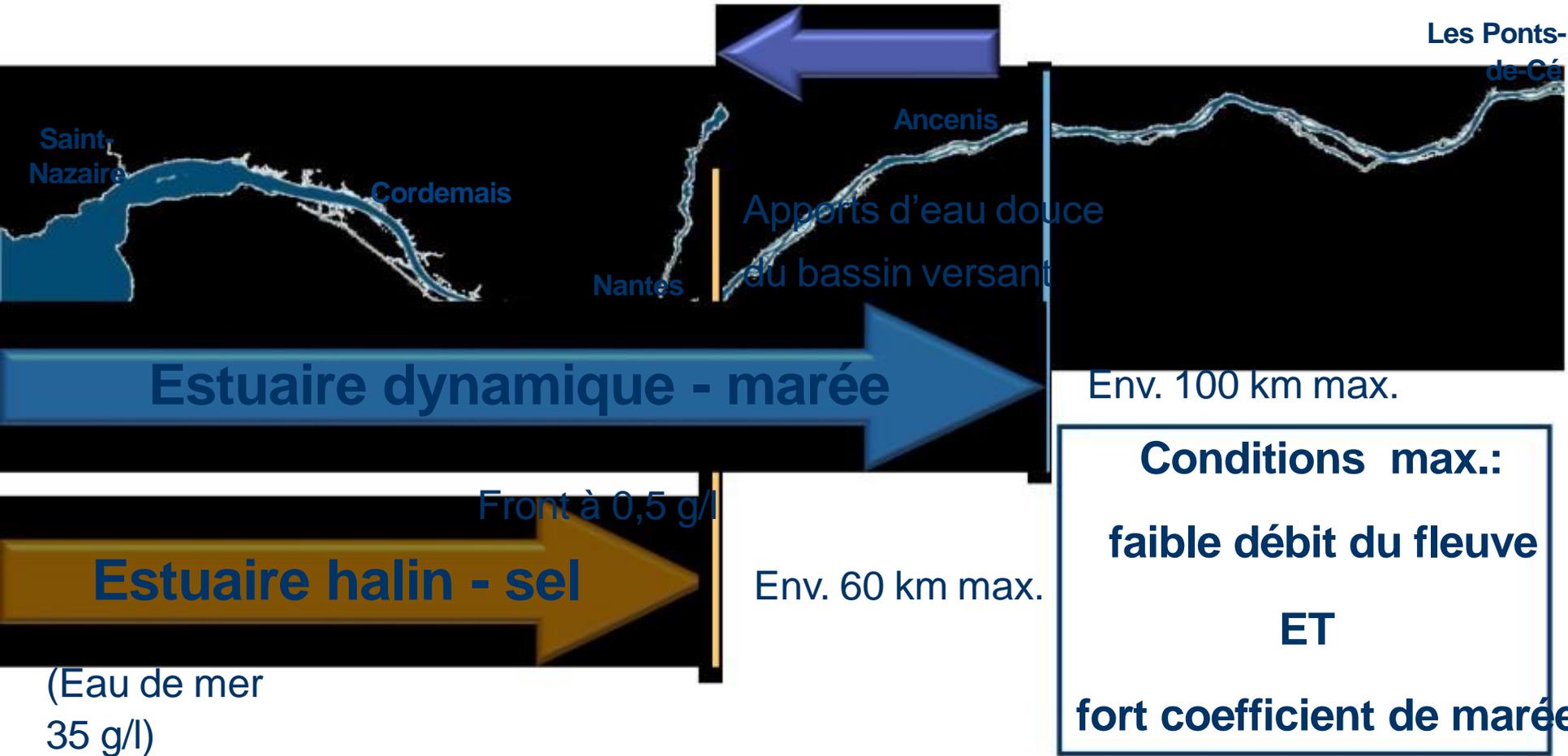
Env. 100 km max.

Conditions max.:
faible débit du fleuve
ET
fort coefficient de marée

L'estuaire, c'est la zone de mélange des eaux : les eaux douces qui viennent du bassin versant qui rencontrent les eaux salées venues de l'océan.

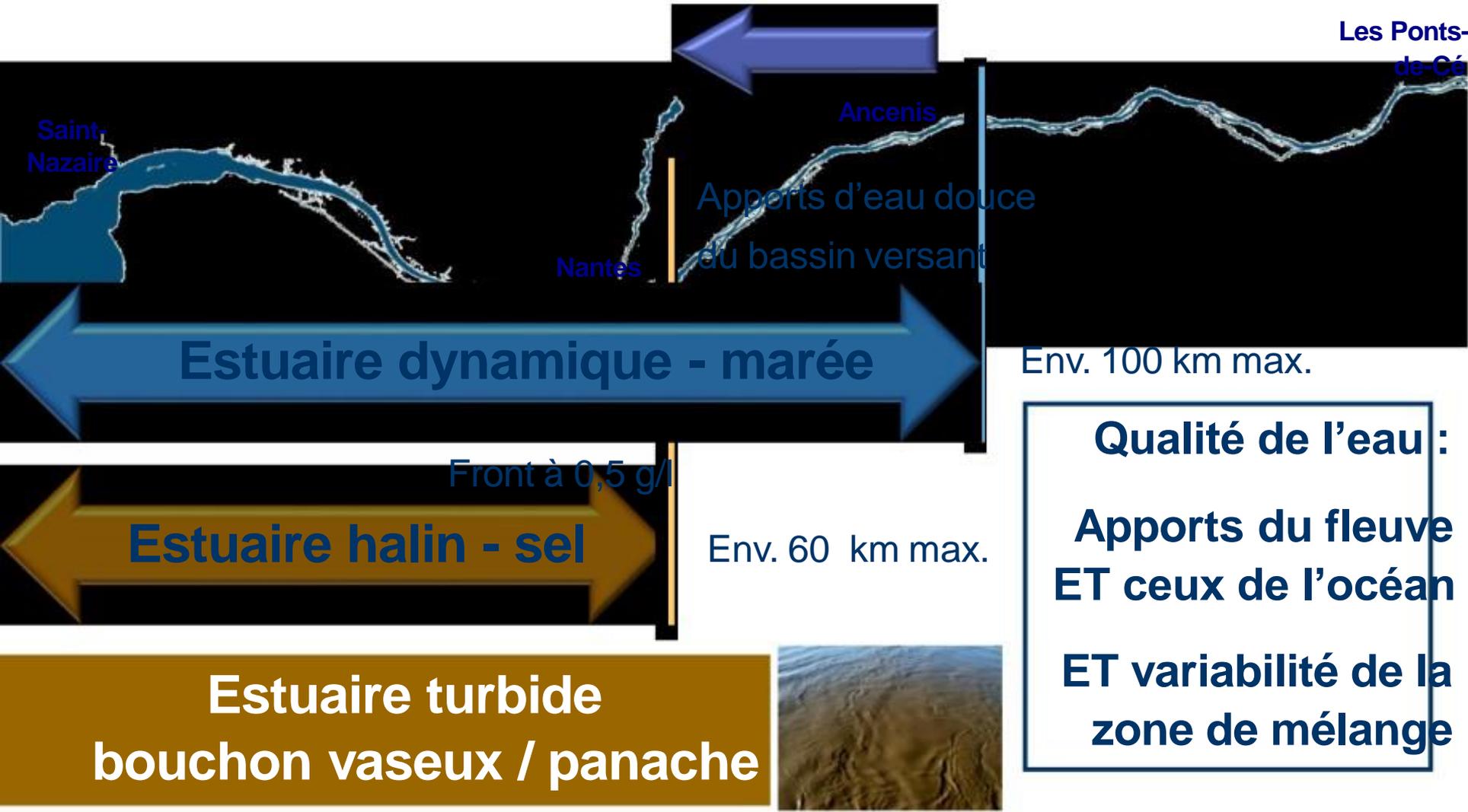
La marée dynamique parvient au maximum à environ 100 km depuis Saint-Nazaire, quand le débit du fleuve est faible et que le coefficient de marée est fort.

Estuaire : zone de mélange des eaux



Le sel, lui, ne parvient qu'à l'Est de Nantes. Il s'agit du front de salinité à 0,5g/L, alors que l'eau de mer est à 35g/L.

0,5 c'est la valeur limite pour prélever de l'eau pour la production d'eau potable, d'où l'enjeu de suivre ce front.



Env. 100 km max.

Env. 60 km max.

Concentration entre 0,5 et 30 g/l

Un autre paramètre de l'estuaire important, c'est le bouchon vaseux. C'est un phénomène naturel qui se forme à la rencontre des eaux douces du fleuve et des eaux salées de l'océan, dans les estuaires à fort marnage, c'est-à-dire quand il y a une grande différence de hauteur d'eau entre la pleine mer et la basse mer.

La qualité de l'eau de l'estuaire est donc dépendante des apports du fleuve ET de ceux de l'océan ET de la variabilité de la zone de mélange.

Enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire



Ces paramètres (apports d'eau, marée, sel), ils sont au cœur des enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire.

Enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire



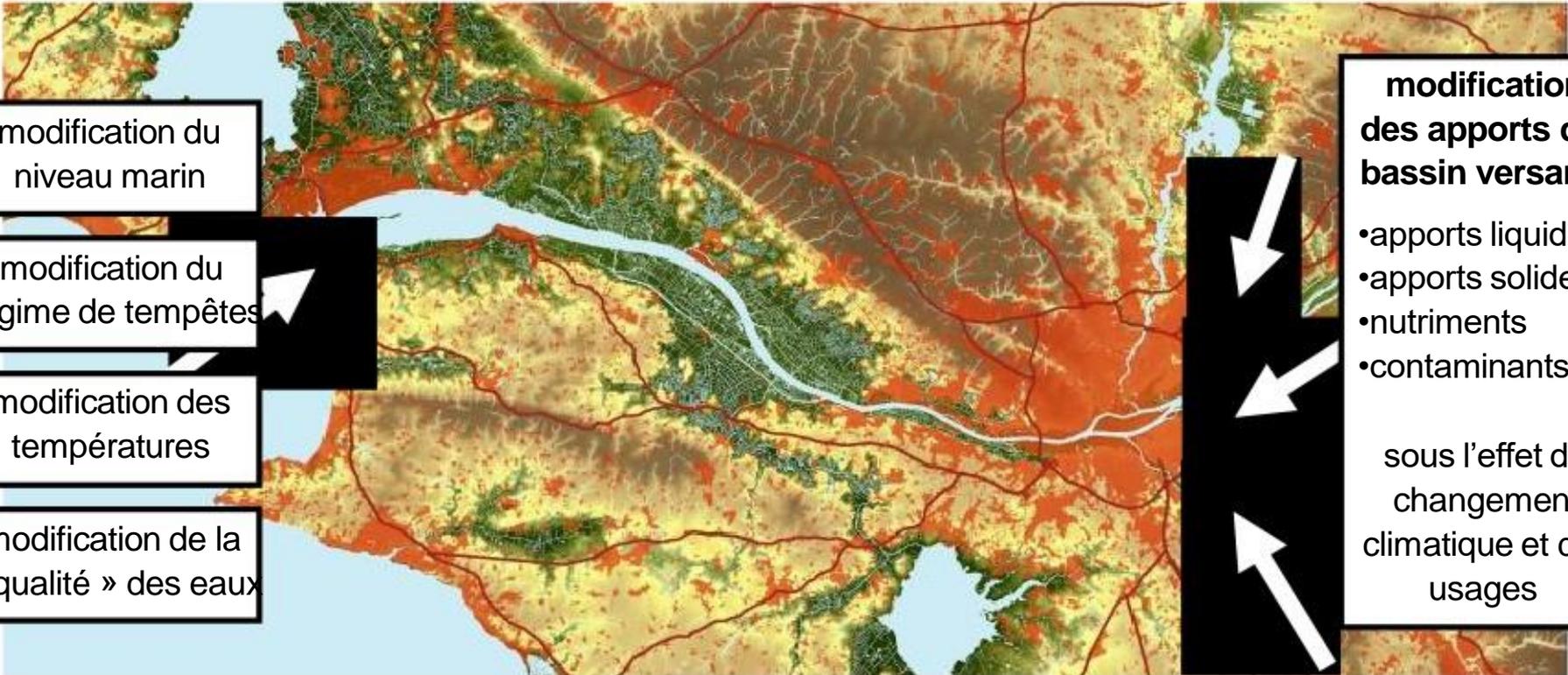
modification des apports du bassin versant :

- apports liquides
- apports solides
- nutriments
- contaminants

sous l'effet du changement climatique et des usages

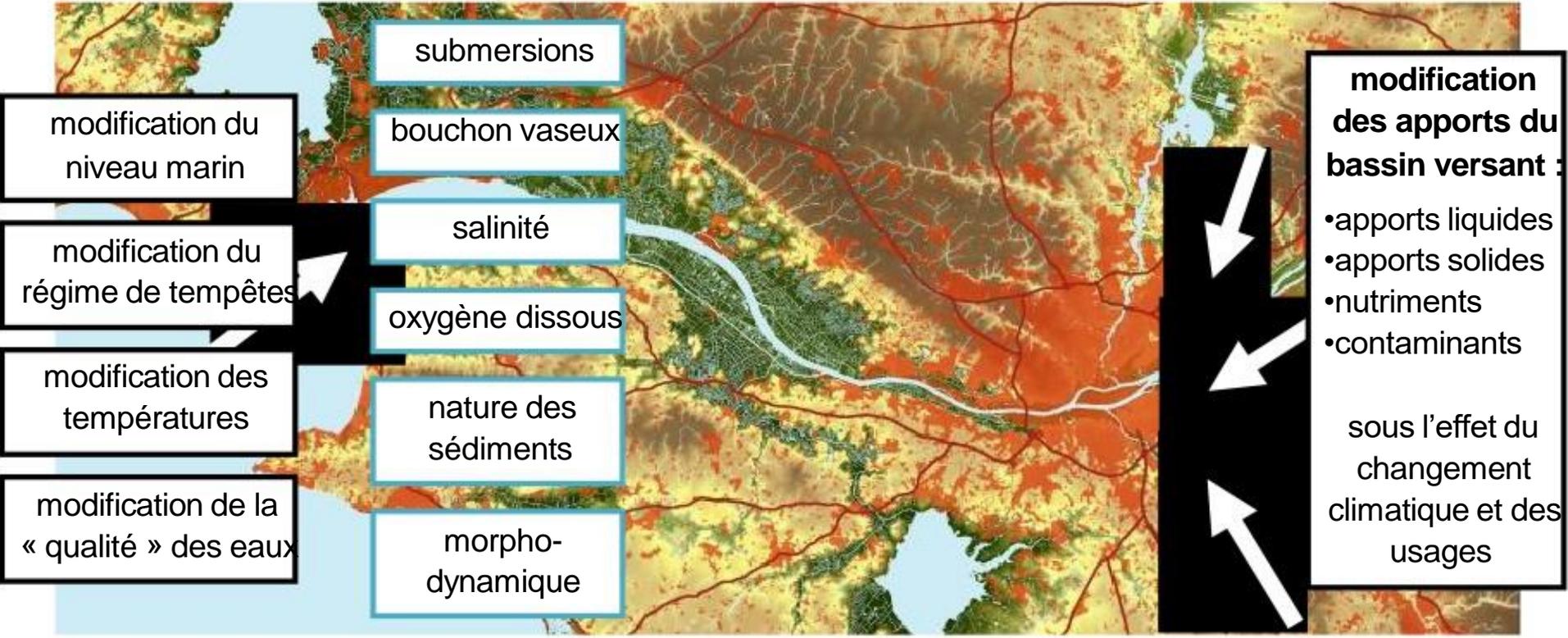
Le changement climatique pourrait modifier les apports du bassin versant : les apports en eau, mais aussi en sédiments (apports solides), en nutriments, en contaminants. Simultanément, il peut y avoir aussi des modifications de ces apports liés aux usages.

Enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire



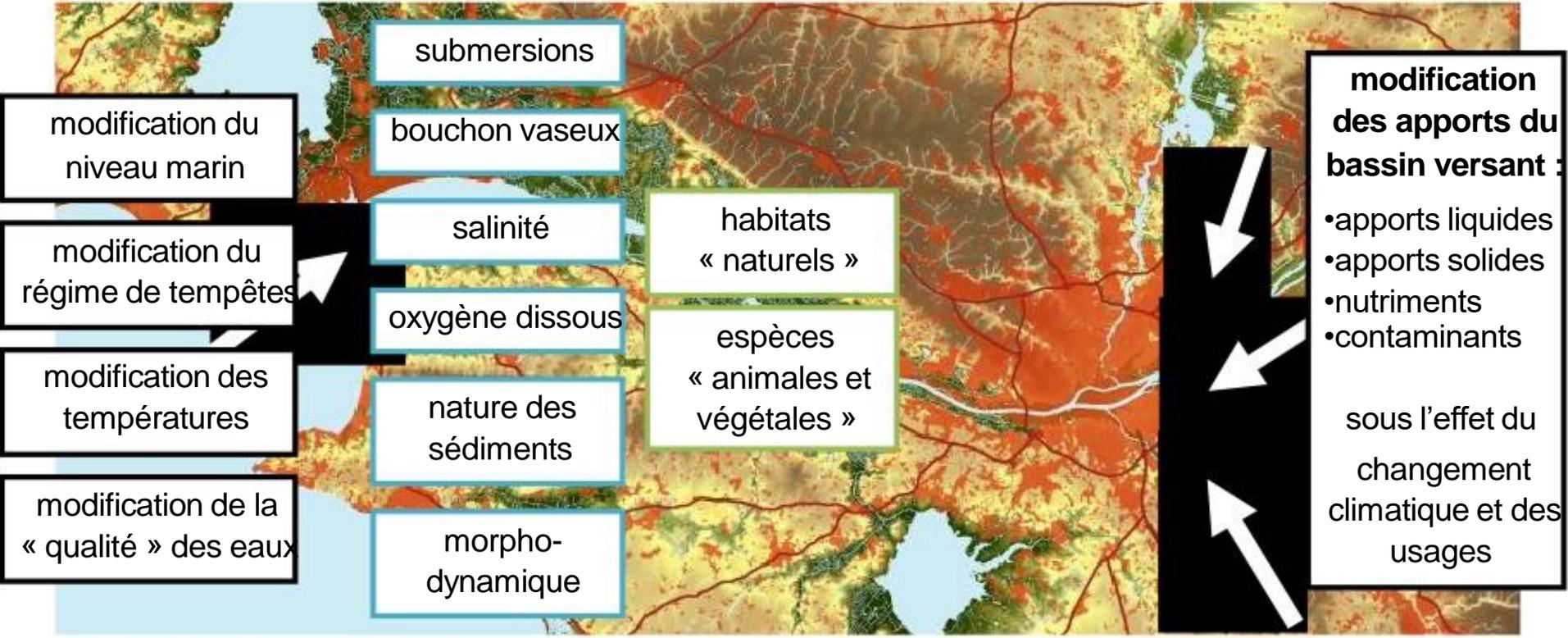
Le changement climatique pourrait aussi modifier le niveau marin, qui s'élève déjà. Il pourrait aussi y avoir des modifications du régime de tempêtes, des températures, de la qualité des eaux.

Enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire



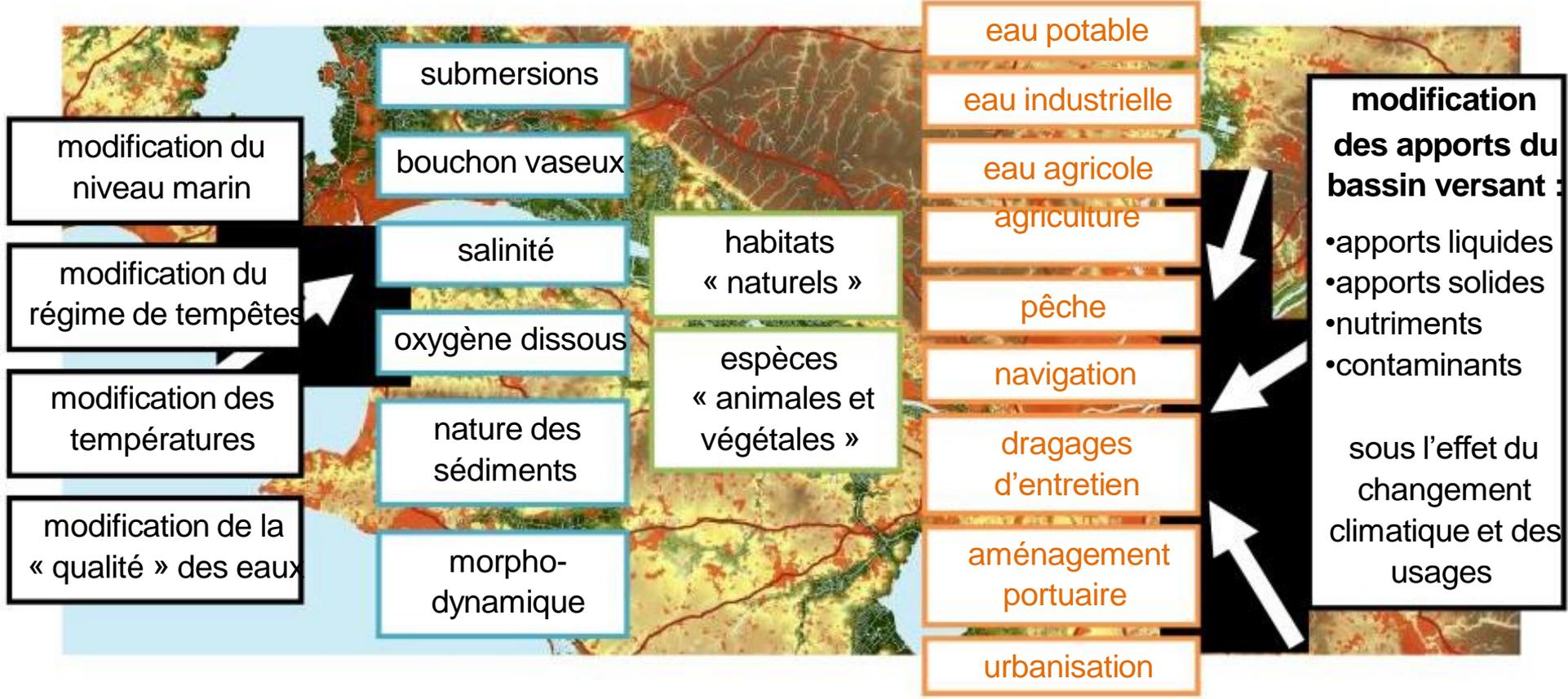
Ces modifications pourraient se traduire par l'évolution de plusieurs phénomènes : avec des modifications des submersions, du bouchon vaseux, de la salinité, de l'oxygène dissous, de la nature des sédiments ou de la morphodynamique, c'est-à-dire comment la forme de l'estuaire évoluerait, par exemple la dynamique des berges.

Enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire

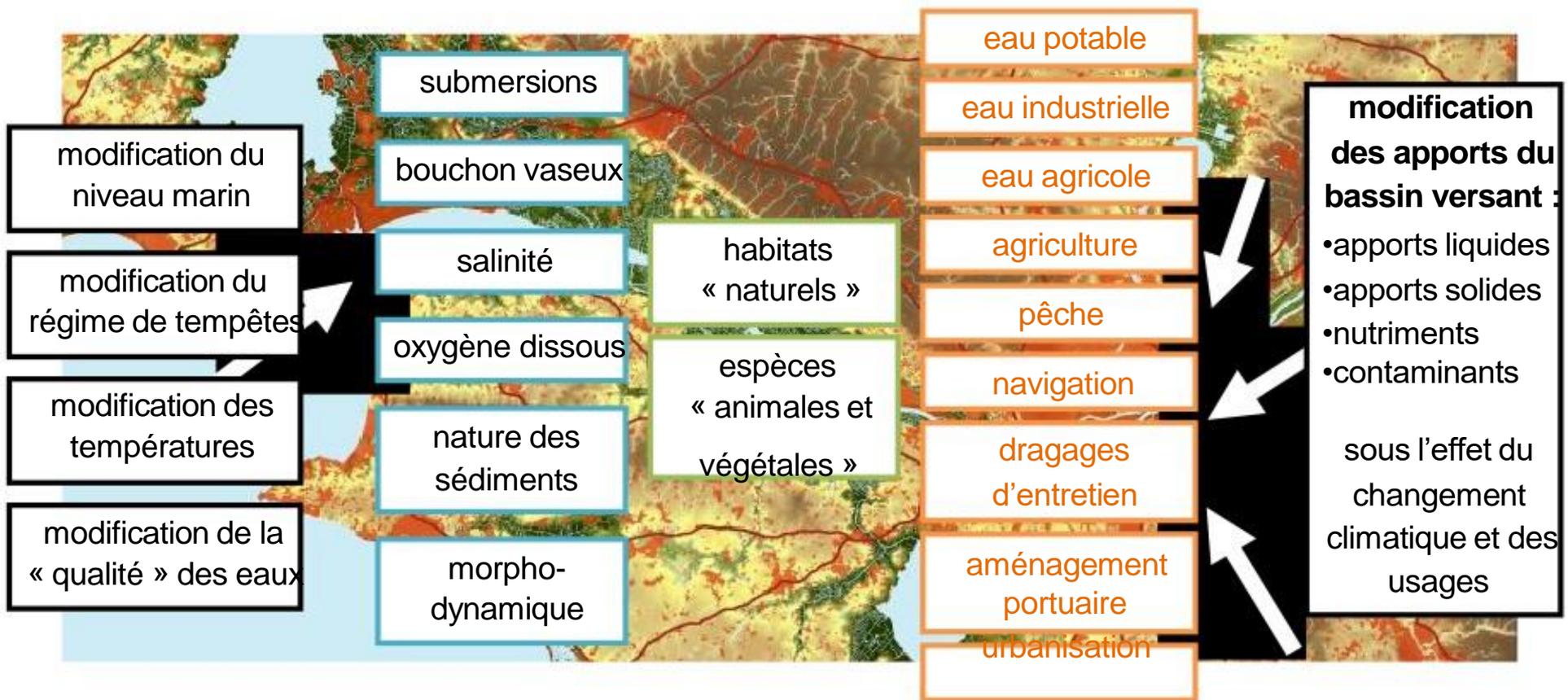


En cas de modification de ces phénomènes, il y a aussi un effet sur les habitats «naturels » comme les marais estuariens, ET sur les espèces animales, comme végétales.

Enjeux liés au changement climatique dans l'estuaire de la Loire



La modification de ces phénomènes aurait aussi un effet sur les usages, comme le prélèvement en eau potable (ce que nous avons déjà évoqué avec l'éventuelle remontée du front de salinité), les prélèvements pour l'usage industriel ou agricole et plus largement pour l'agriculture. Il pourrait aussi y avoir des effets sur la pêche, la navigation, les dragages d'entretien, les aménagements portuaires ou encore l'urbanisation.



- Diversité des enjeux et complexité avec leurs interactions
- Hypothèses => recours à des modèles pour simuler le futur
- Modèle => une représentation simplifiée de la réalité

Ces énumérations donnent un aperçu de la diversité des enjeux liés au changement climatique. C'est un sujet qui reste complexe, car il y a aussi des interactions entre ces enjeux. J'emploie aussi le conditionnel, car ces réflexions sont des hypothèses. Pour vérifier ces hypothèses, il faut se projeter dans le futur, c'est pourquoi il est fait recours à la modélisation, qui consiste à représenter la réalité mais en la simplifiant.

Quelles modifications pour quels résultats ?

modification du niveau marin

modification du régime de tempêtes

modification des températures

modification de la « qualité » des eaux

! AVERTISSEMENT !

Les résultats dépendent des connaissances disponibles, de la méthode mise en œuvre.

modification des apports du bassin versant :

- apports liquides
- apports solides
- nutriments
- contaminants

sous l'effet du changement climatique et des usages

L'objectif des modélisations des effets du changement climatique, c'est de répondre à la question « Quelles modifications pour quels résultats ? Ces résultats dépendent de la modélisation, de la construction du modèle, c'est-à-dire qu'ils dépendent des connaissances disponibles et de la méthode mise en œuvre.

Quelles modifications pour quels résultats ?

modification du niveau marin

modification du régime de tempêtes

modification des températures

modification de la « qualité » des eaux

! AVERTISSEMENT !

Les résultats dépendent des connaissances disponibles, de la méthode mise en œuvre.

modification des apports du bassin versant :

- apports liquides
- apports solides
- nutriments
- contaminants

sous l'effet du changement climatique et des usages

Programme de recherche C3E2 Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires, 2014

coordonné par Ifremer avec les contributions de Artelia, Université de Bretagne Occidentale, GIP Loire Estuaire

Sur l'estuaire, il y a eu un programme de recherche qui a modélisé des effets du changement climatique : C3E2, pour **Conséquences du Changement Climatique sur l'Ecogéomorphologie des Estuaires**,

L'Ecogéomorphologie évoquait ici les interactions entre les évolutions de la végétation et le fonctionnement estuarien.

Ce programme publié en 2014 a été coordonné par Ifremer avec les contributions d'un bureau d'études Artelia, l'Université de Bretagne Occidentale et du GIP Loire Estuaire.

Cette modélisation a retenu la modification des apports liquides et solides, la modification du niveau marin et du régime de tempêtes.



Impact du CC à 2040 sur les zones submersibles :

- la morphologie
- les submersions
- Salinité, MES, dépôts de vase...

→ *impact sur la végétation*

Impact du CC à 2040 dans le lit mineur (dynamique estuarienne):

- Bouchon vaseux
- Salinité
- Niveaux d'eau

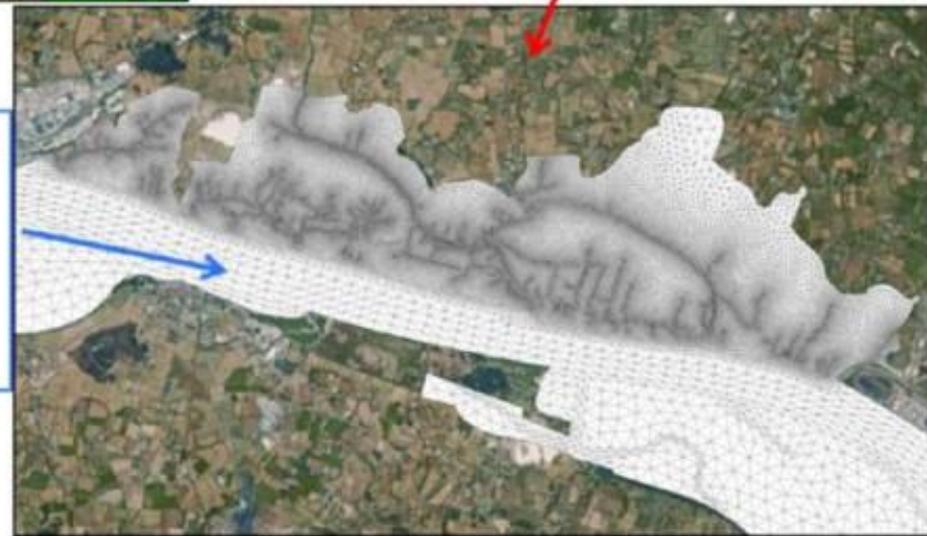


Figure 5.1 : Schématisation des réponses attendues des modèles

Sources : Ifremer, UBO, Artelia, GIP LE

L'étude a concerné le lit mineur et le lit majeur à horizon 2040.

Sur le lit mineur, ont été modélisés l'évolution du bouchon vaseux, de la salinité et du niveau d'eau.

Sur le lit majeur, la morphologie (évolution du relief), les submersions, la salinité, les matières en suspension (MES), les dépôts de vase et l'impact sur la végétation.

Les 4 scénarii étudiés

Nom de Scenario	Niveau moyen	Débit amont	Houle	Vent	Débit solide
Scénario 1 : SSCC	Ne varie pas	Donnée observée	Donnée observée	Donnée observée	Loi
Scénario 2 : NM3	Forçage +1m en 2100 (scénario extrême révision post-GIEC)	Ne varie pas			Loi
Scénario 3 : HY1	Ne varie pas	Modélisation Scénario extrême	Ne varie pas	Loi *	Modélisation Scénario extrême
Scénario 4 : NM3-HY1	Forçage +1m en 2100 (scénario extrême révision post-GIEC)	Modélisation Scénario extrême	Ne varie pas	Ne varie pas	Modélisation Scénario extrême

Tableau 5.1 : Récapitulatif des forçages appliqués pour chaque scénario

Sources : Ifremer, UBO, Artelia, GIP LE

4 scénarios ont été testés :

- Sans changement climatique SSCC
- Uniquement l'élévation du niveau marin NM 3 pessimiste (+1m à 2100 +34 cm à 2040)
- Uniquement une diminution des apports en eau du bassin versant, scénario pessimiste
- Le scénario le plus pessimiste : élévation du niveau marin maximale et diminution maximale des apports en eau du bassin versant,

J'ai seulement le temps de vous détailler les résultats de ce scénario pessimiste.

Nom de ScENARIO	Niveau moyen	Débit amont	Houle	Vent	Débit solide
Scénario 4 : NM3-HY1	Forçage +1m en 2100 (scénario extrême révison post-GIEC)	extrême			Scénario extrême

Tableau 5.1 : Récapitulatif des forçages appliqués pour chaque scénario

Résultats du scénario 4 - en 2040

- remontée du bouchon vaseux et de la salinité d'environ 5 kilomètres
- augmentation de la masse maximale du bouchon vaseux d'environ 9%
- absence d'évolution du bourrelet de rive, mais avancée sur certains secteurs vers le lit mineur
- dépôts sur les zones submersibles en arrière du bourrelet de rive, différences selon les secteurs => élévation ne compensant pas l'effet de l'élévation du niveau marin

Sources : Ifremer, UBO, Artelia, GIP LE

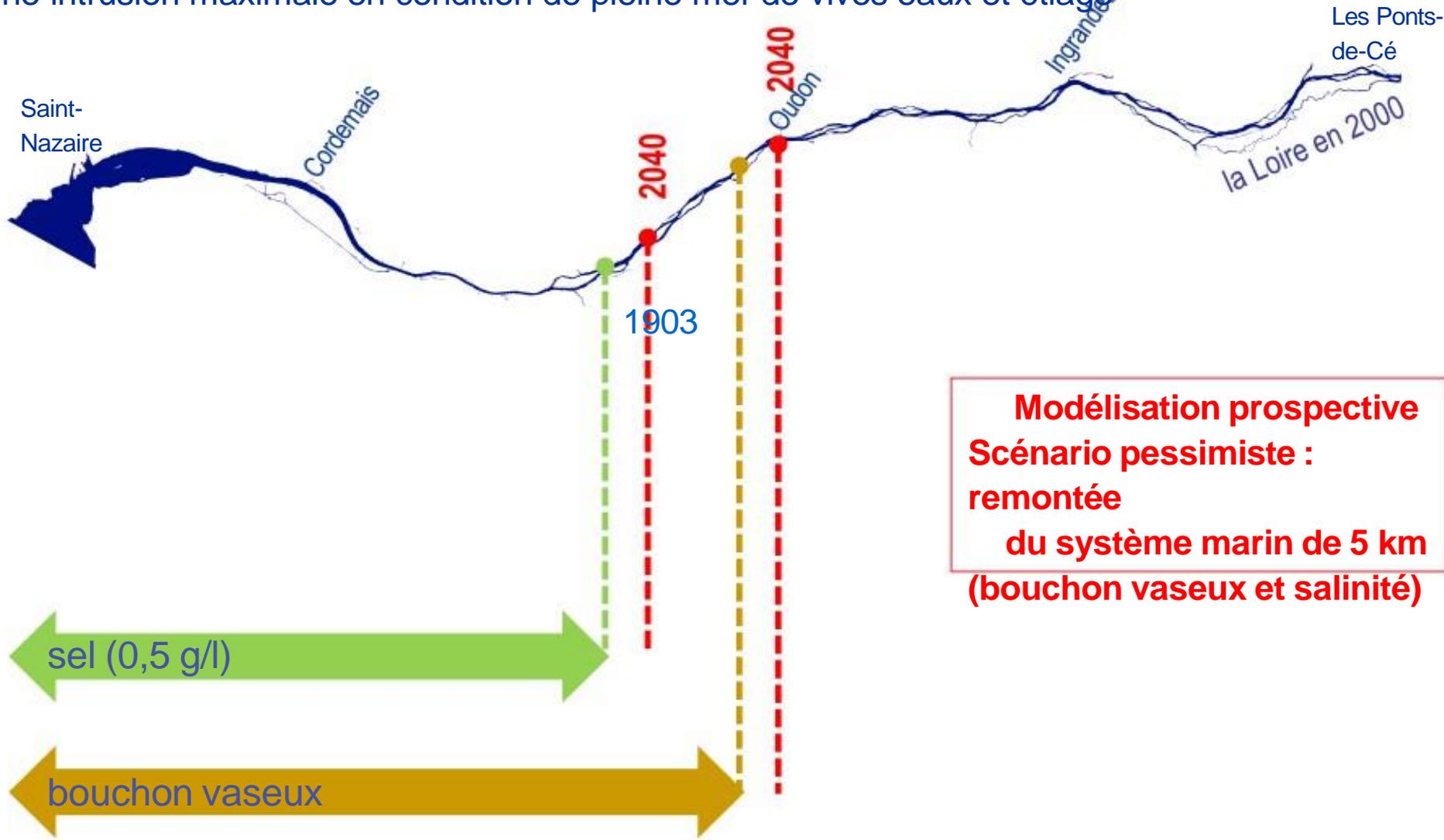
Les résultats du scénario 4 se traduisent en 2040 par :

- une remontée du bouchon vaseux et de la salinité d'environ 5 kilomètres
- une augmentation de la masse maximale du bouchon vaseux d'environ 9%
- une absence d'évolution du bourrelet de rive, mais une avancée sur certains secteurs vers le lit mineur
- des dépôts sur les zones submersibles en arrière du bourrelet de rive, différences selon les secteurs => élévation ne compensant pas l'effet de l'élévation du niveau marin

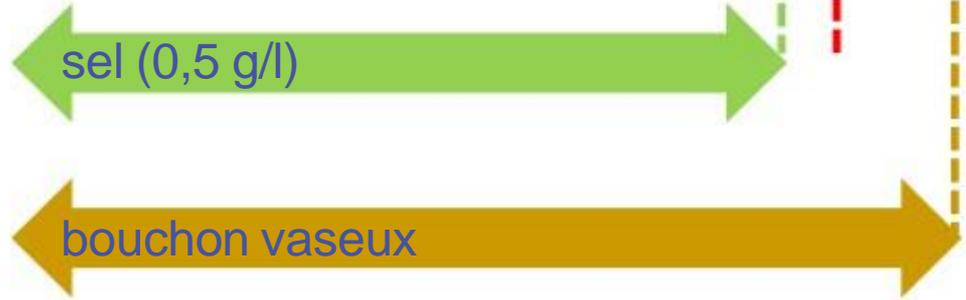
Cette remontée de 5 km des limites du bouchon vaseux et du sel, par rapport à leurs limites actuelles, qui se produirait. Il faut la comparer aux évolutions historiques de l'estuaire.



Une intrusion maximale en condition de pleine mer de vives eaux et étiage



Modélisation prospective
Scénario pessimiste :
remontée
du système marin de 5 km
(bouchon vaseux et salinité)



Vous voyez ici les limites historiques du sel et du bouchon vaseux, qui sont remontées au fil des aménagements de l'estuaire.

En bleu clair vous voyez le lit de la Loire en 1850 qui a depuis été resserré pour améliorer les conditions de navigation avec l'objectif de faciliter la propagation de la marée. Historiquement, la marée ne dépassait pas Nantes, aujourd'hui elle atteint 40 km en amont.

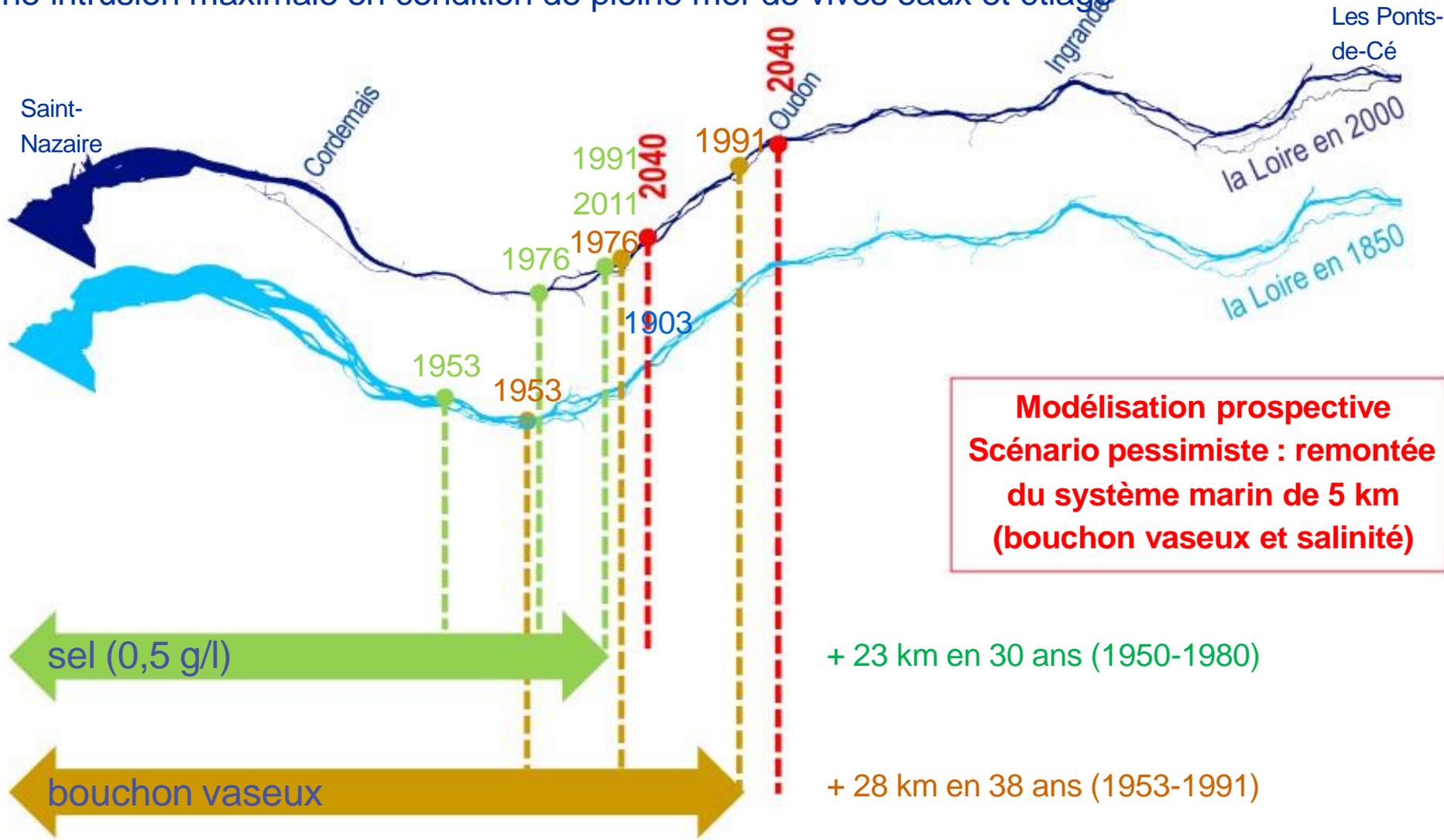
C3E2 évoque 5 km de remontée en 30 ans (2010-2040), finalement moins rapide que ce qu'a connu l'estuaire avec les aménagements :

Pour le sel + 23 km en 30 ans (1950-1980)

Pour le bouchon vaseux + 28 km en 38 ans (1953-1991)

(scénario 4)

Une intrusion maximale en condition de pleine mer de vives eaux et étiage



Pour terminer, nous allons évoquer les submersions et les limites de certaines de leurs modélisations.

Dans l'estuaire, en aval de Nantes, la Loire déborde librement même hors crue, à la faveur de forts coefficients de marée.



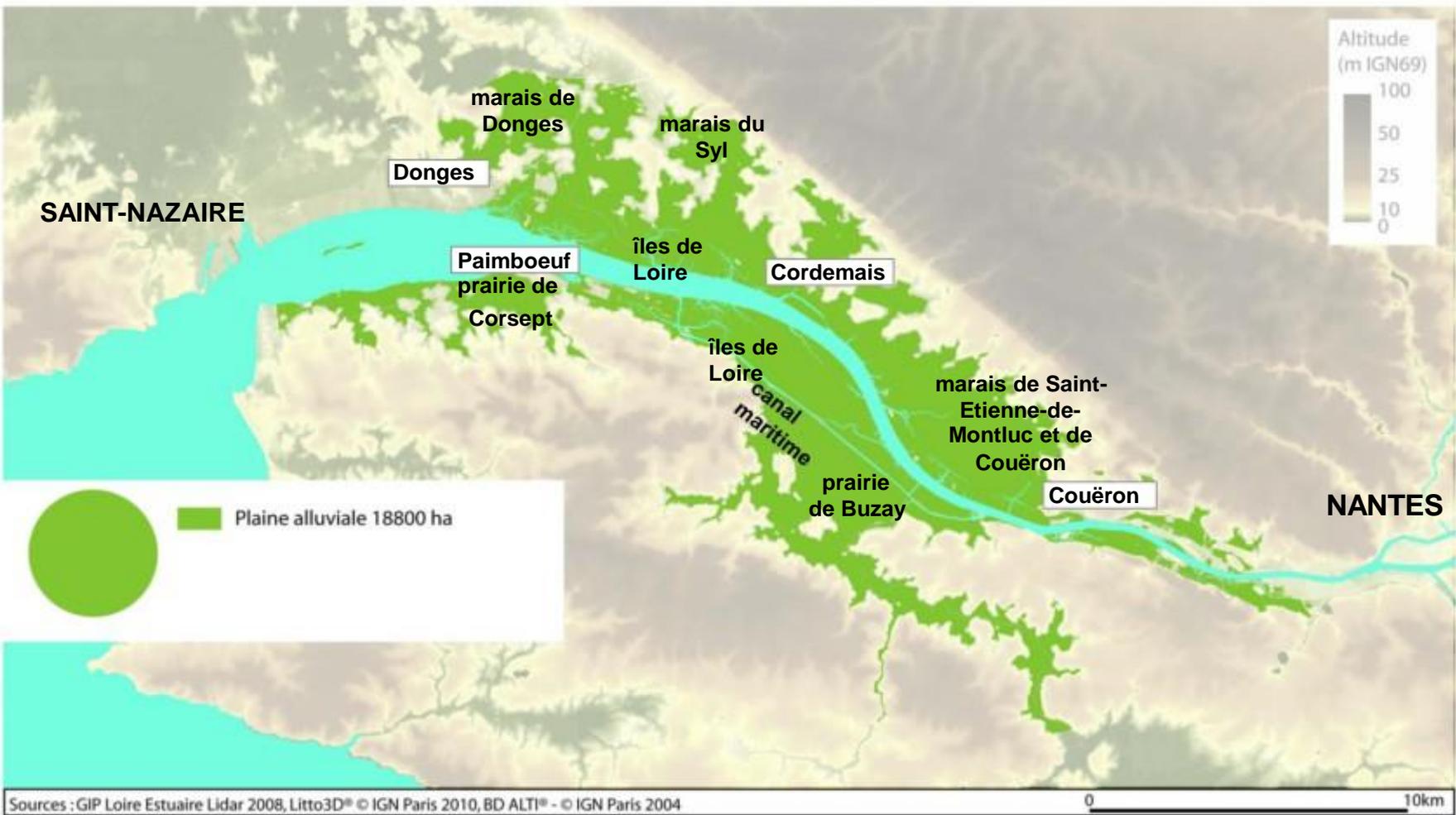
Une plaine alluviale submersible par les eaux de Loire sur près de 10 000 ha

Il est question de submersions quand l'eau dépasse le niveau de 2,70m
IGN 69.



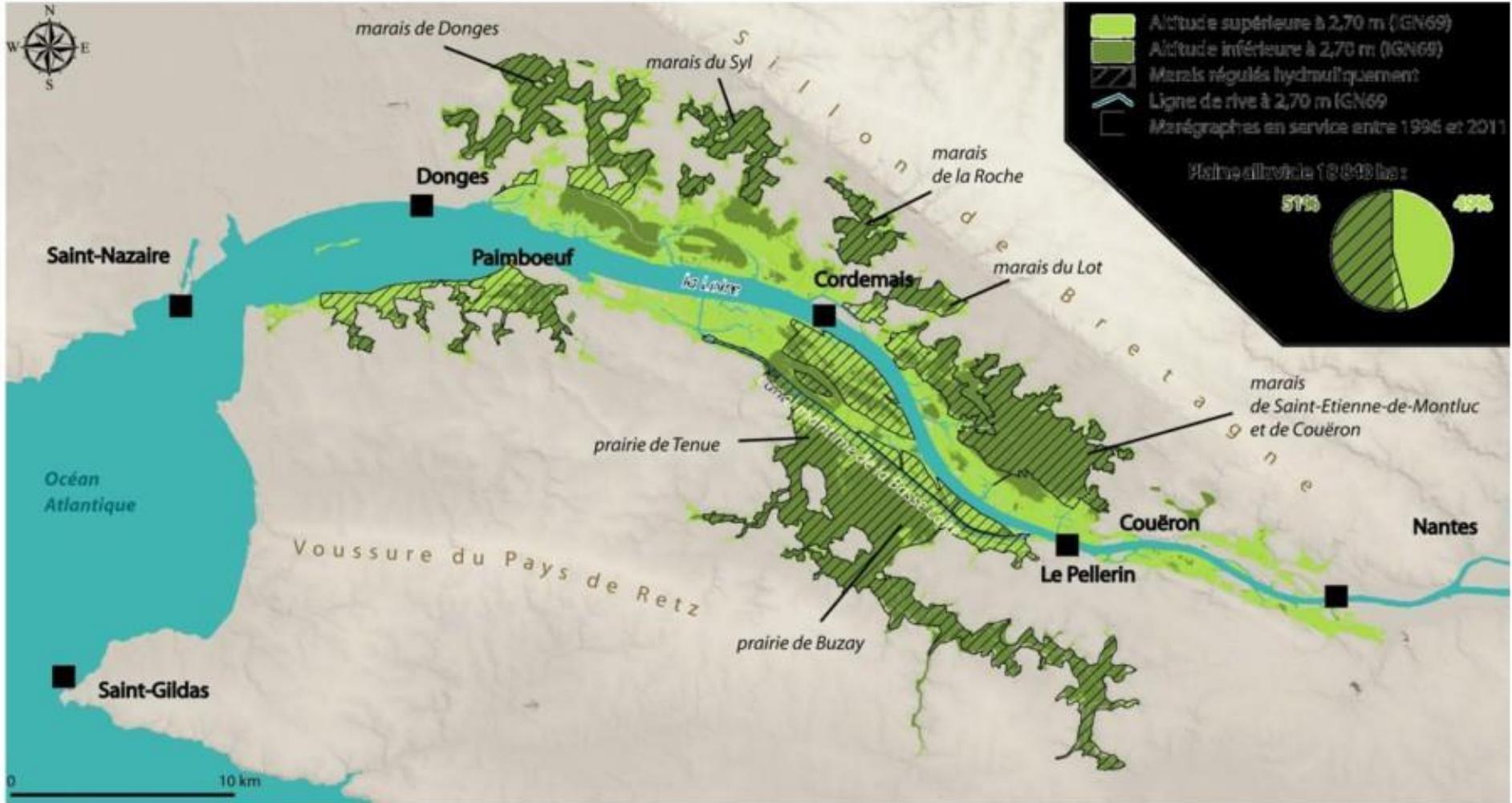
La Loire déborde sur la plaine alluviale dès que son niveau atteint 2,70m IGN69

Sur les près de 19000 ha de la vallée alluviale représentée en vert.



Plus de la moitié est en-dessous de cette altitude de 2,70m IGN 69, ce qui est représenté en vert foncé.

Au GIP Loire Estuaire, parmi nos suivis long terme, nous suivons les submersions, leur emprise dans l'estuaire de la Loire. Ces dernières années, des cartes simulant des zones en eau avec les effets du changement climatique ont été présentées avec des méthodes majorant souvent ces submersions.



Parmi ces méthodes de représentation des zones en eau , il y a eu par exemple la mise en eau de toutes les zones dont l'altitude est inférieure au niveau choisi, sans tenir compte des obstacles à l'écoulement. Nous avons donc fait l'exercice d'appliquer cette méthode pour voir quelles sont les surfaces submersibles et les surfaces submergées.



La modélisation de l'élévation du niveau de la mer, un exemple d'approximation

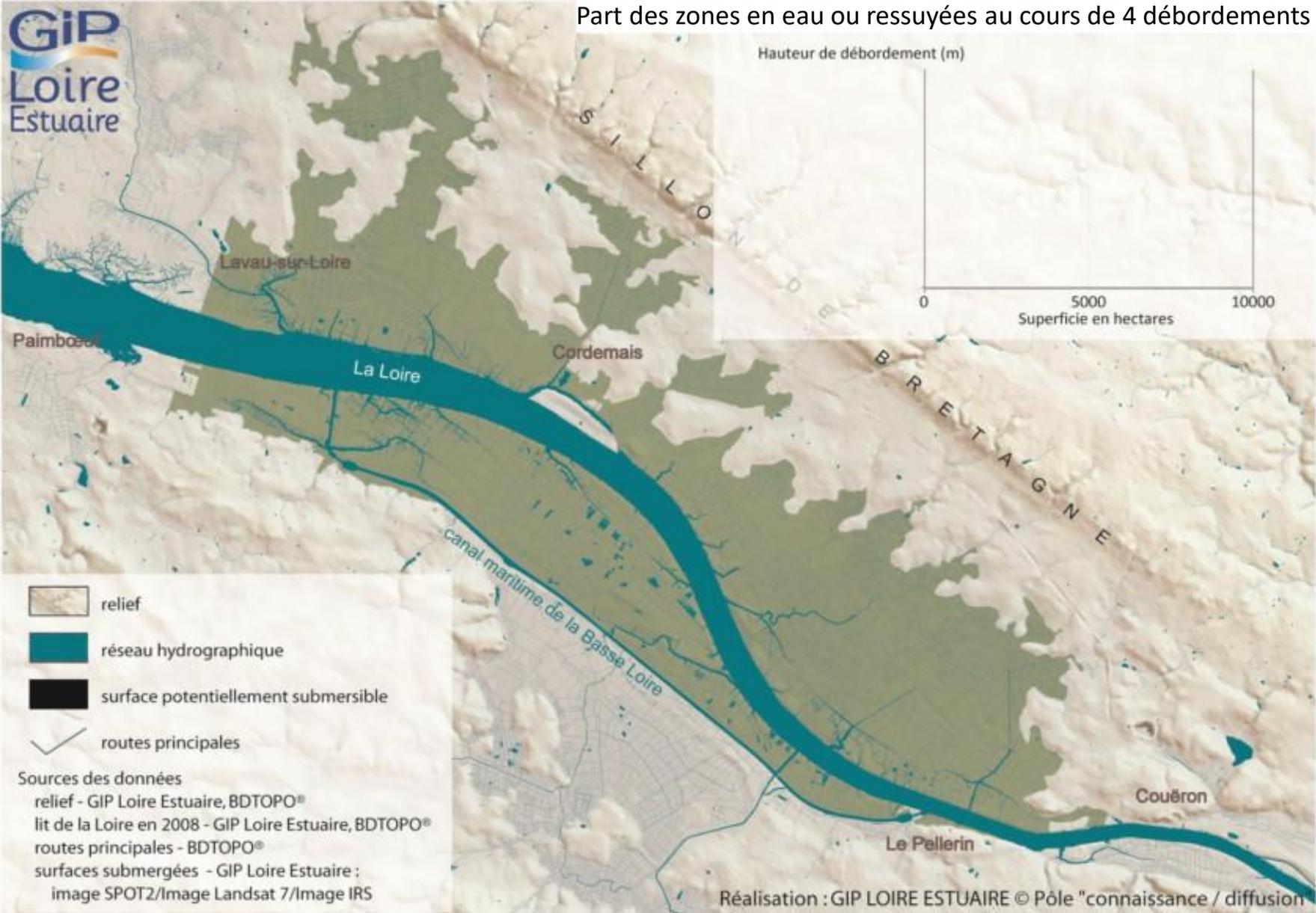


Voici entre Paimboeuf et Couëron, les 10 000 ha de la vallée submersible.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

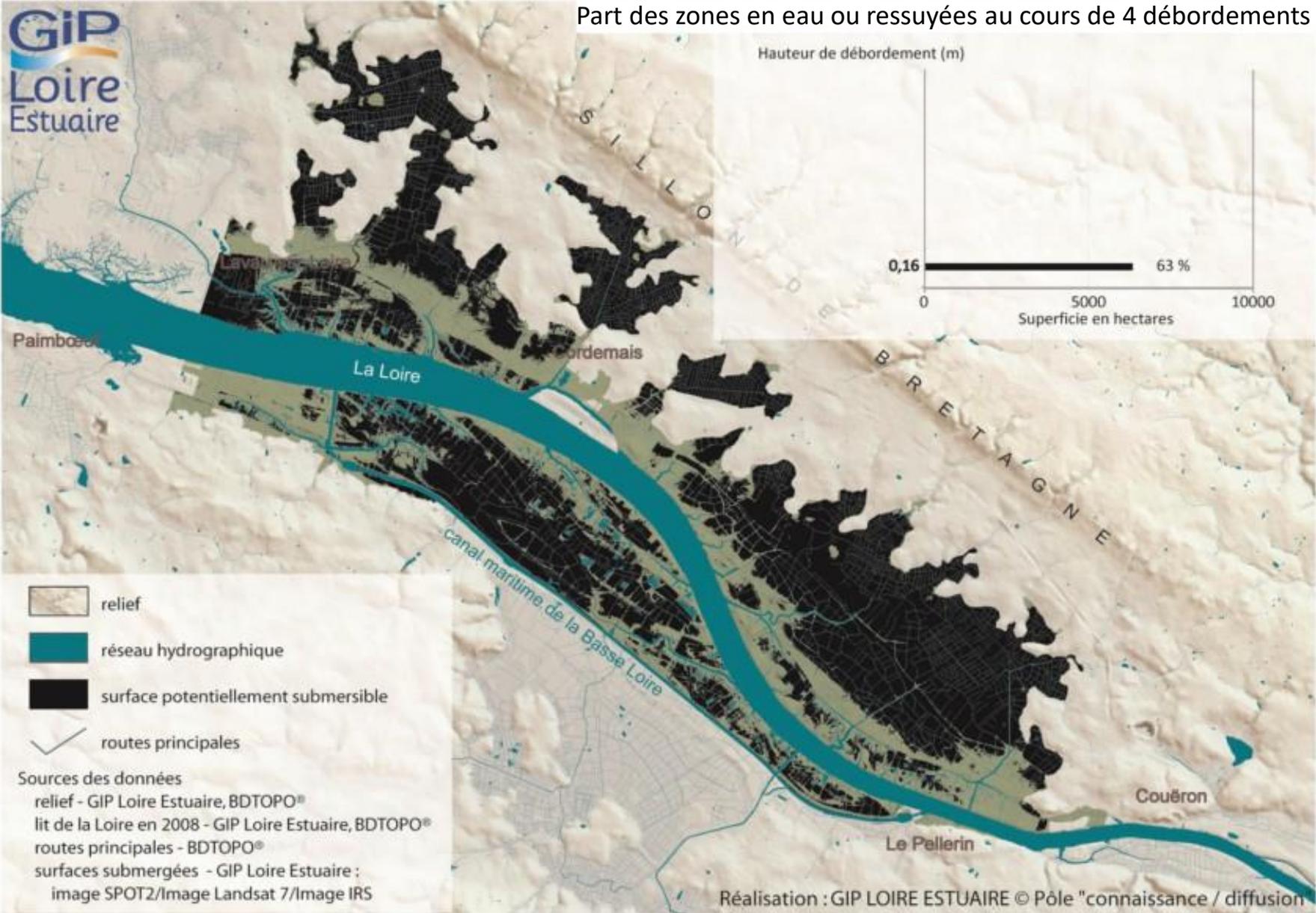


Pour un débordement de 16 cm, 63 % de la surface serait submersible par rapport à la hauteur d'eau atteinte.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

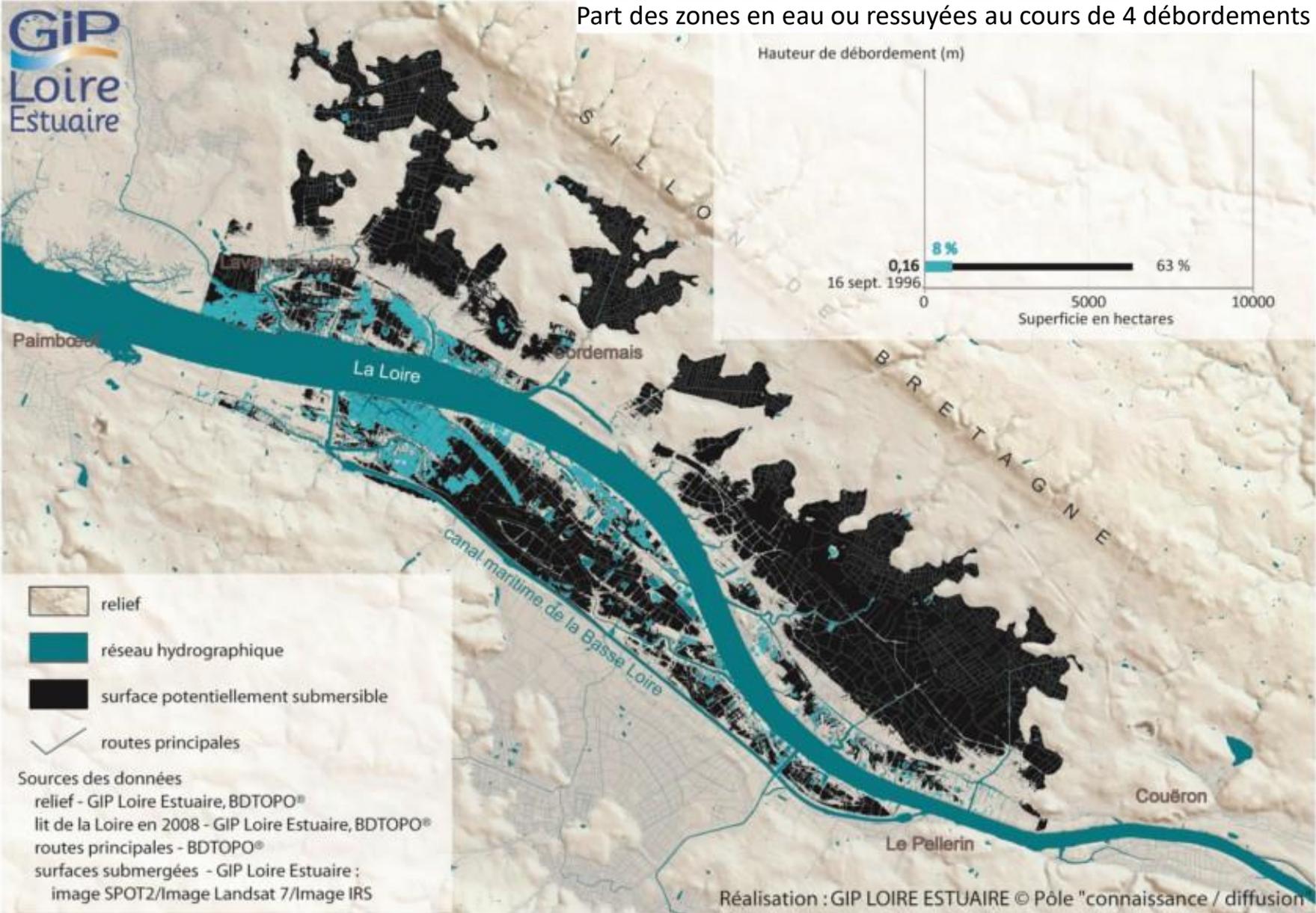


La surface en eau ou ressuyée n'est que de 8%.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

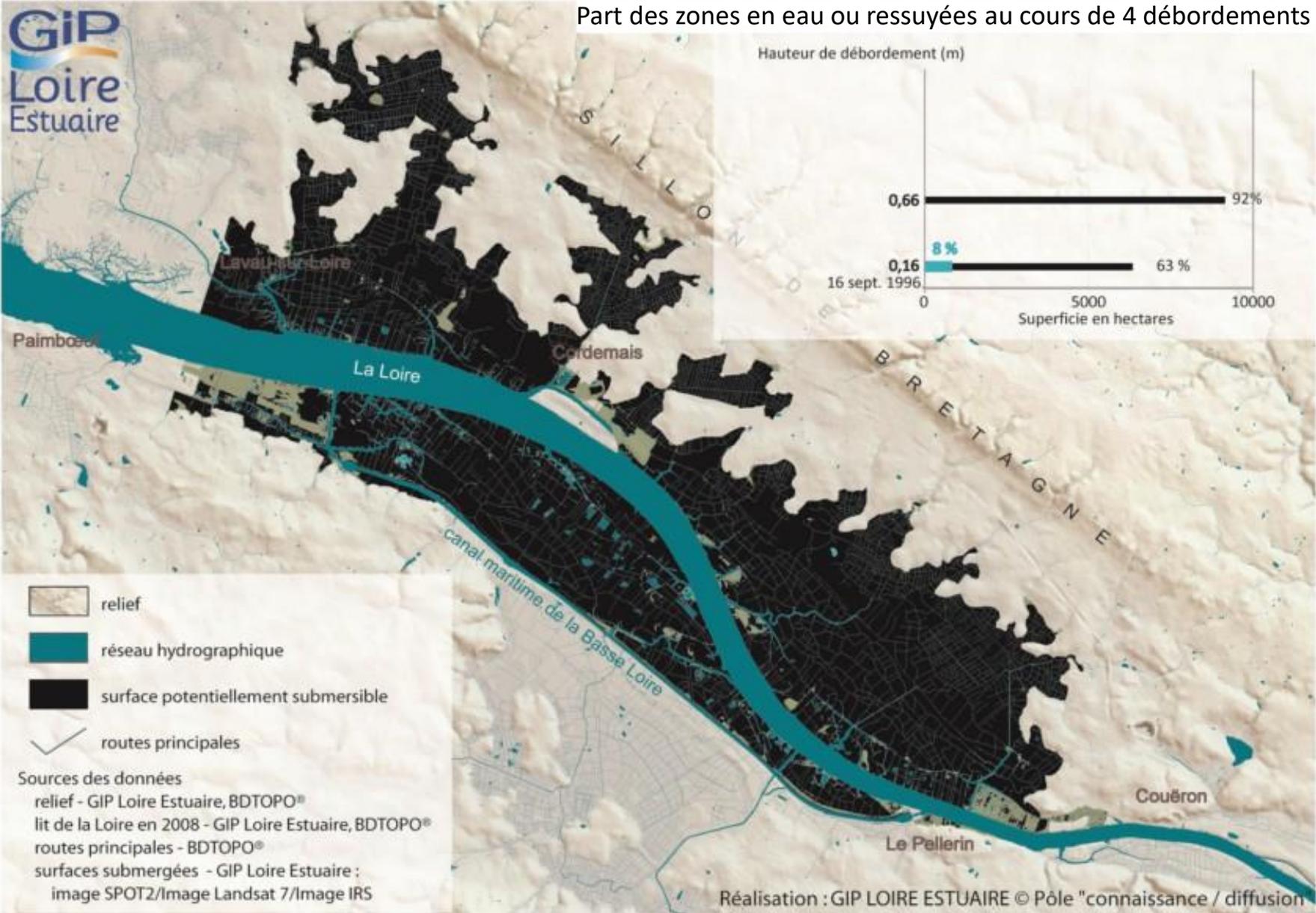


Pour un débordement de 66 cm, 92 % de la surface serait submersible par rapport à la hauteur d'eau atteinte.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

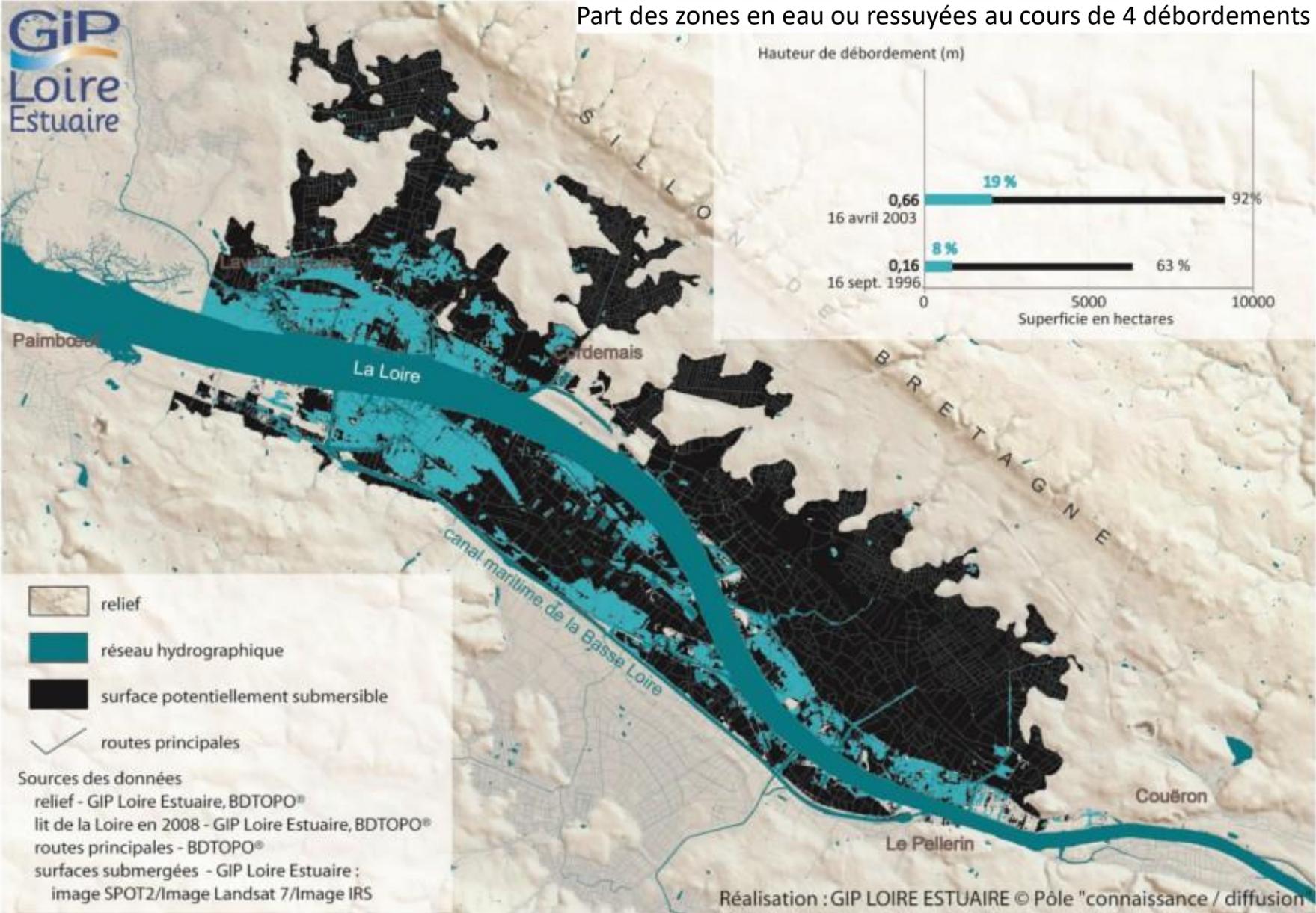


La surface en eau ou ressuyée n'est que de 19%.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

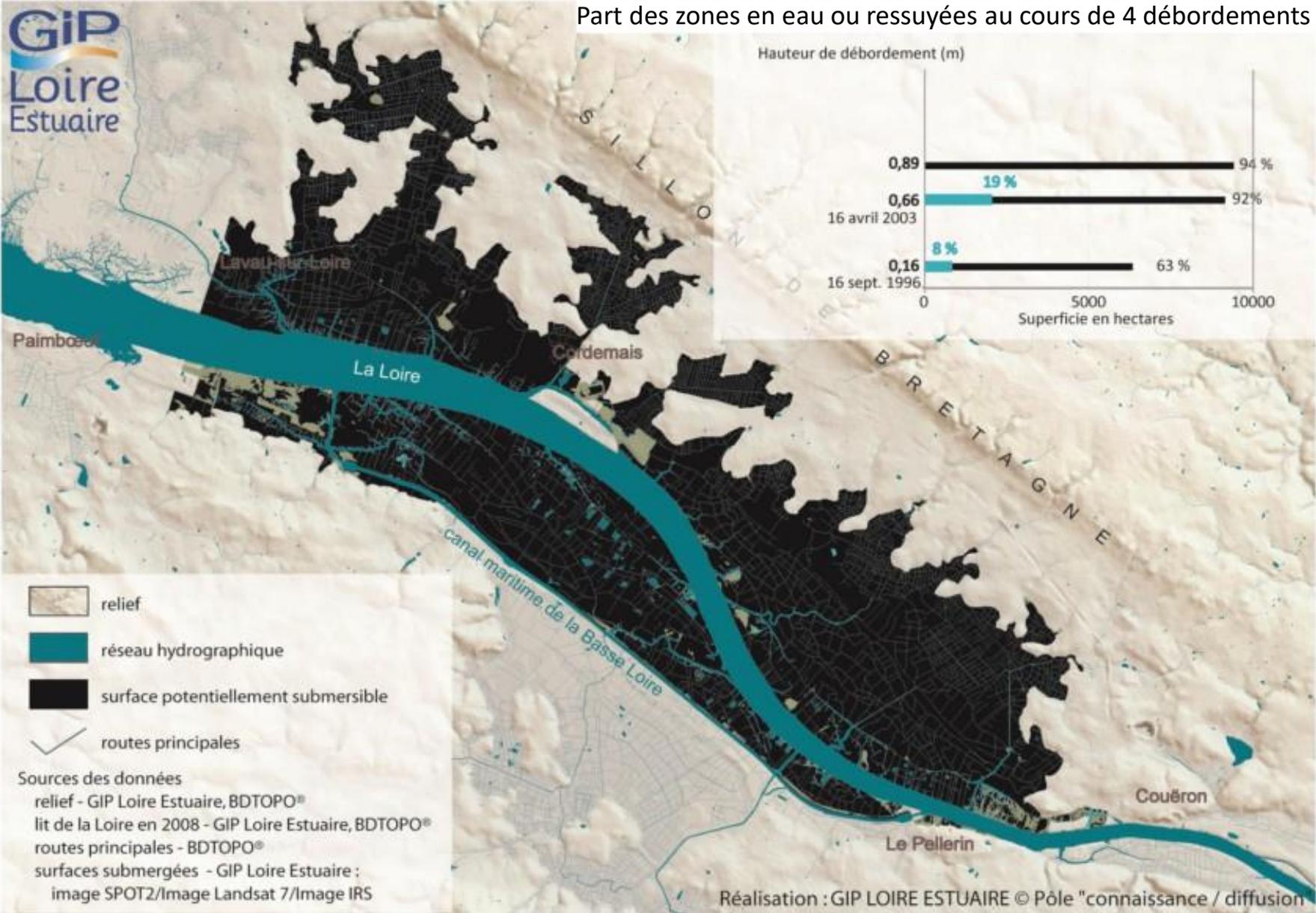


Pour un débordement de 89 cm, 94 % de la surface serait submersible par rapport à la hauteur d'eau atteinte.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

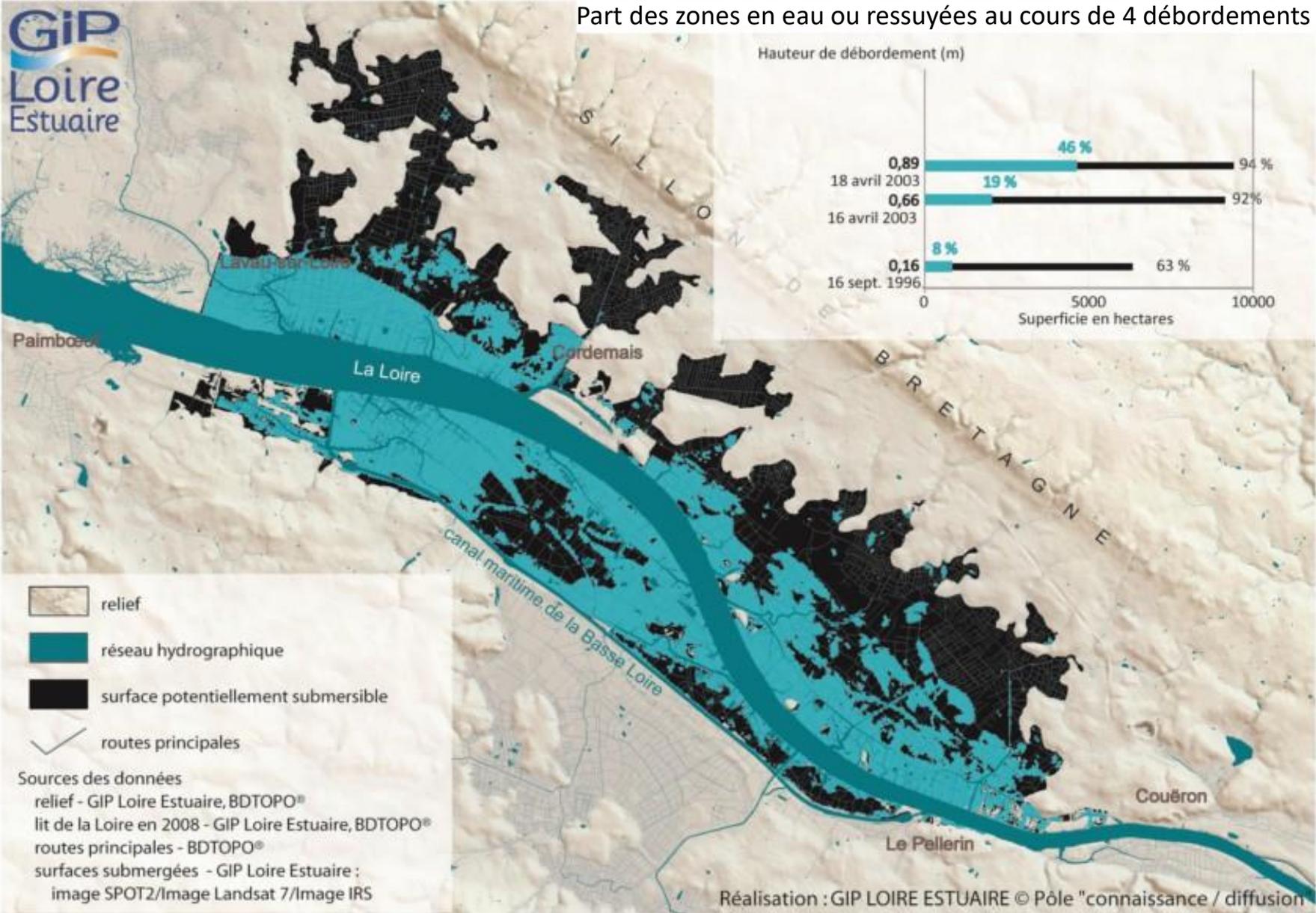


La surface en eau ou ressuyée n'est que de 46 %.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements

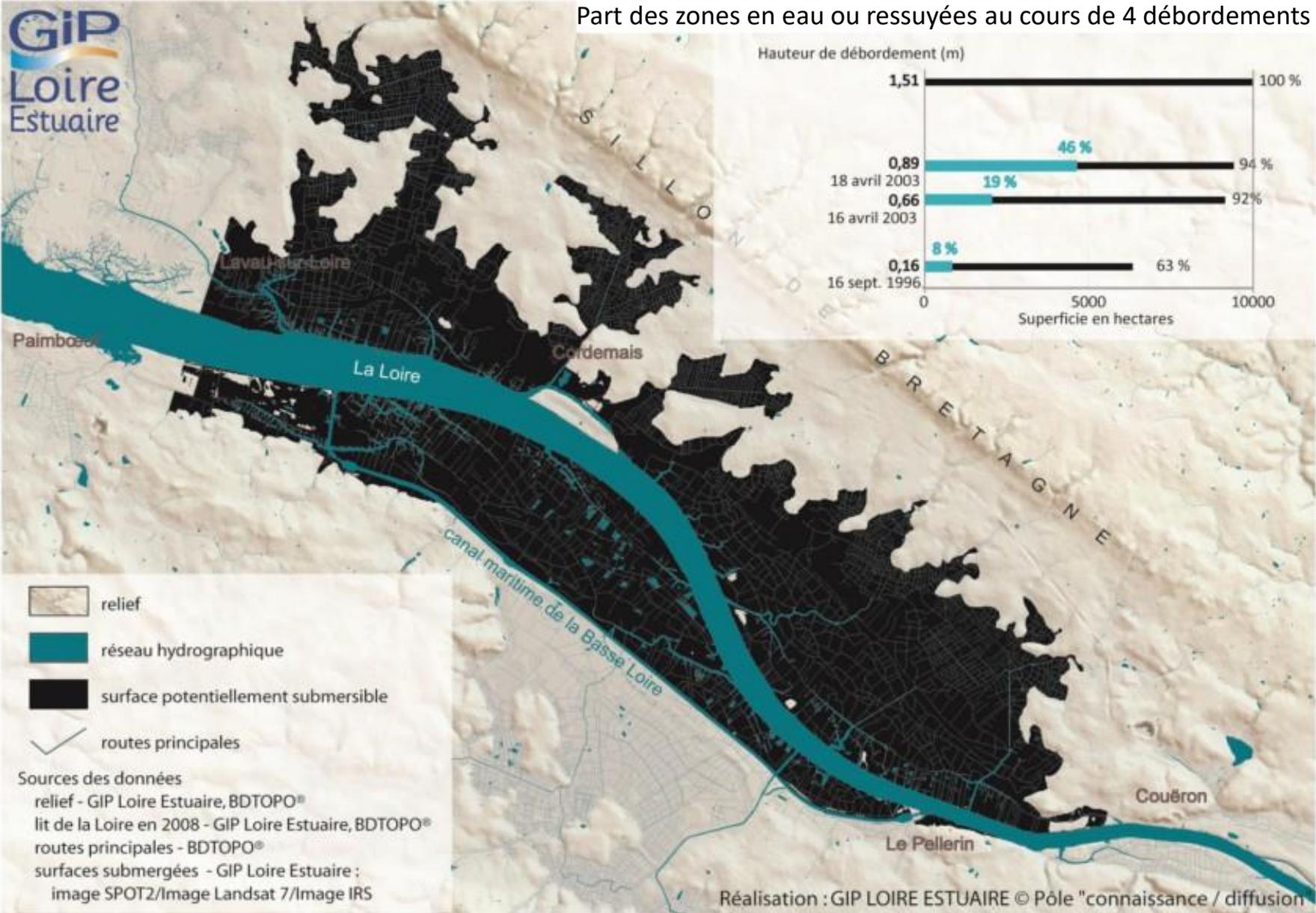


Pour un débordement exceptionnel de 1,51m, qui correspond à la tempête Xynthia, 100 % de la surface serait submersible par rapport à la hauteur d'eau atteinte.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements



- relief
- réseau hydrographique
- surface potentiellement submersible
- routes principales

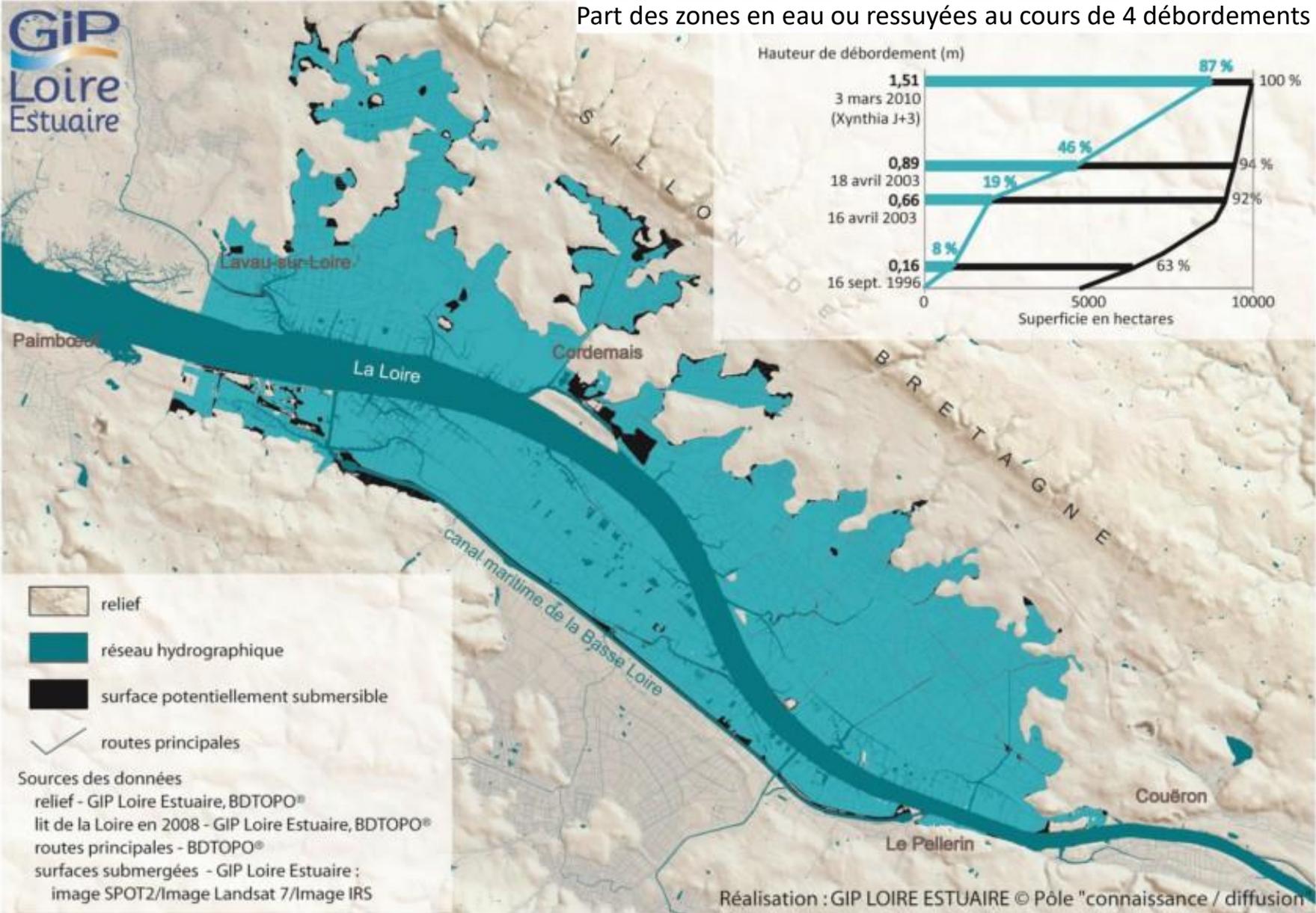
Sources des données
 relief - GIP Loire Estuaire, BDTOPO®
 lit de la Loire en 2008 - GIP Loire Estuaire, BDTOPO®
 routes principales - BDTOPO®
 surfaces submergées - GIP Loire Estuaire :
 image SPOT2/Image Landsat 7/Image IRS

La surface en eau ou ressuyée est de 87 %. Attention toutefois, sur des zones déjà en eau avant le passage de Xynthia = pied de coteau par ruissellement hivernal.

Prévoir les surfaces submergées



Part des zones en eau ou ressuyées au cours de 4 débordements



- relief
- réseau hydrographique
- surface potentiellement submersible
- routes principales

Sources des données
relief - GIP Loire Estuaire, BDTOPO®
lit de la Loire en 2008 - GIP Loire Estuaire, BDTOPO®
routes principales - BDTOPO®
surfaces submergées - GIP Loire Estuaire :
image SPOT2/Image Landsat 7/Image IRS

Il n'y a pas de relation linéaire entre hauteur de débordement et surface submergée.

Pour modéliser finement les submersions, il faut disposer des principaux facteurs forçants :

- hauteur de débordement
- micro-topographie
- durée de débordement
- occurrence des débordements
- les précipitations
- la gestion hydraulique
- les pratiques agricoles

**Il n'y a pas de relation linéaire
entre hauteur de débordement et surface submergée**

Principaux facteurs forçants sur la surface submergée

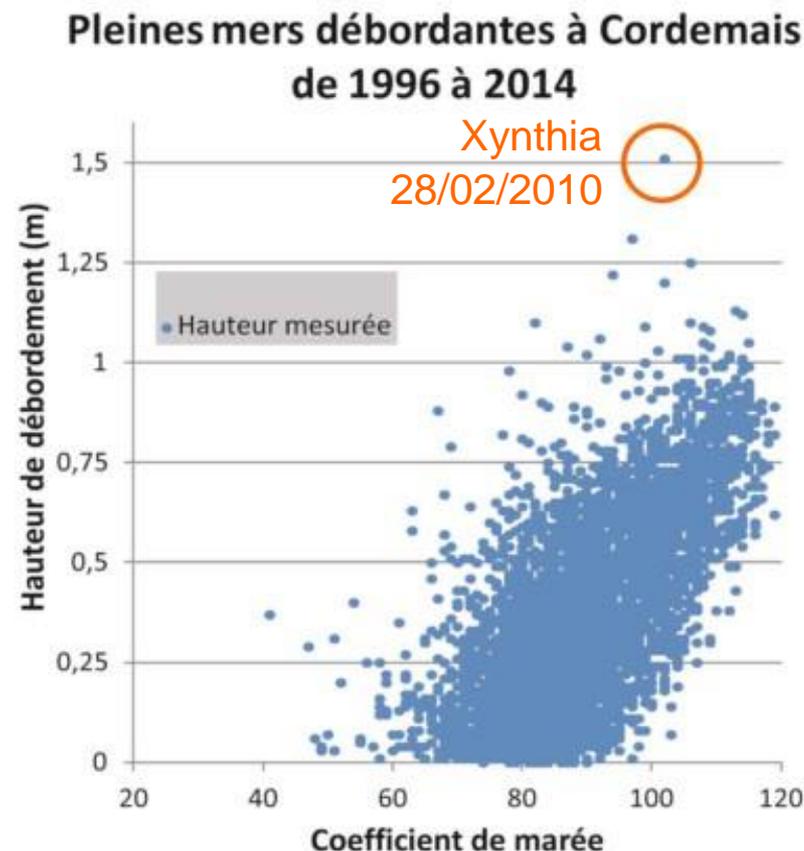
- hauteur de débordement
- micro-topographie
- durée de débordement
- occurrence des débordements
- les précipitations
- la gestion hydraulique
- les pratiques agricoles

Afin de contextualiser la submersion de Xynthia, vous avez ici les hauteurs de débordements mesurés en fonction des coefficients de marée de 1996 à 2014. Même en vous mettant les données à jours, jusqu'en 2020, le débordement de Xynthia est le plus important observé.

**Il n'y a pas de relation linéaire
entre hauteur de débordement et surface submergée**

Principaux facteurs forçants sur la surface submergée

- hauteur de débordement
- micro-topographie
- durée de débordement
- occurrence des débordements
- les précipitations
- la gestion hydraulique
- les pratiques agricoles



Ce n'est pas tant les conditions de débit et de marée qui ont forcé ce débordement, mais la tempête qui est passé à pleine mer locale, occasionnant une surcote massive qui a gonflé la masse d'eau. (rafales à plus de 100km/h, 970hPa).

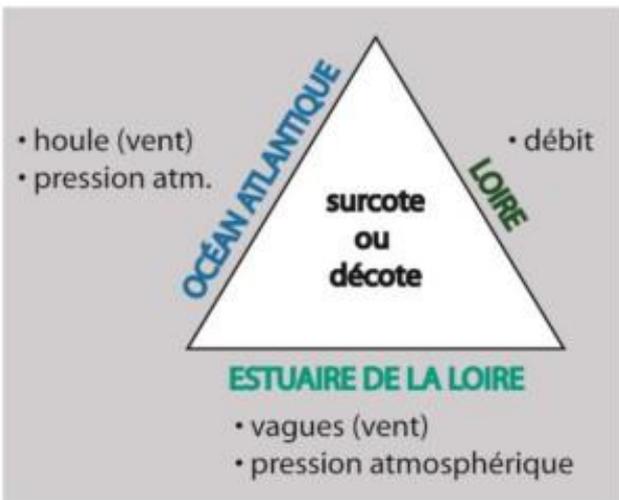
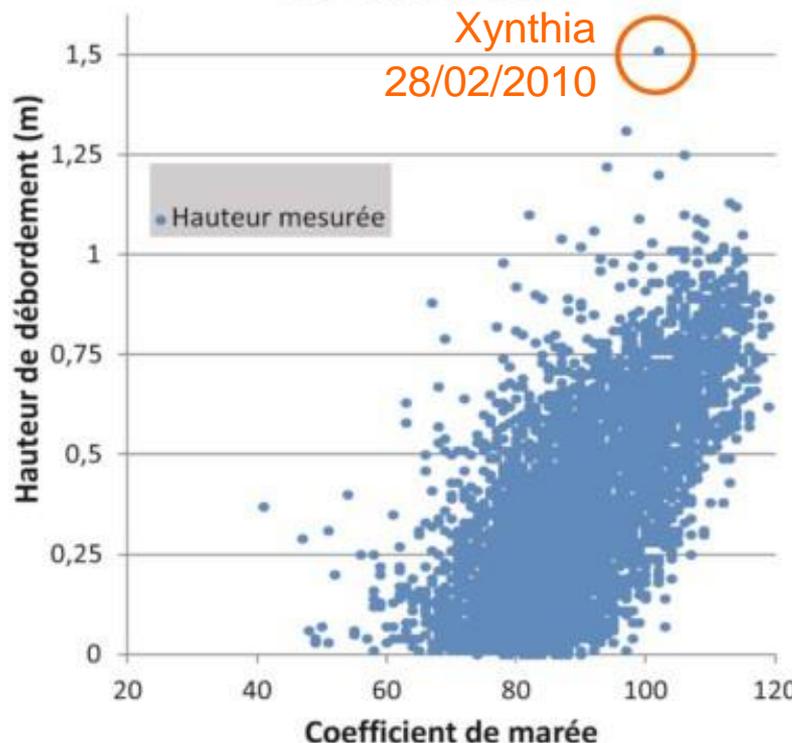


**Il n'y a pas de relation linéaire
entre hauteur de débordement et surface submergée**

Principaux facteurs forçants sur la surface submergée

- hauteur de débordement
- micro-topographie
- durée de débordement
- occurrence des débordements
- les précipitations
- la gestion hydraulique
- les pratiques agricoles

**Pleines mers débordantes à Cordemais
de 1996 à 2014**



En conclusion :

- Les scénarii pessimistes à 30 ans (2010-2040) concluent à une remontée du système marin dans l'estuaire de la Loire de 1 à 5 km (salinité, bouchon vaseux).
- Ces résultats sont à comparer aux évolutions que l'estuaire a connues au XXème siècle (en lien avec les modifications de géométrie liées aux aménagements) : remontée de la salinité (0,5 g/l) de 5 km en une décennie (1979-1989).
- L'estuaire de la Loire a donc déjà connu des phénomènes plus rapides que ceux annoncés, mais pas avec les mêmes causes.
- La mise à jour des connaissances sur le fonctionnement actuel du fleuve est indispensable à la mise à jour des modélisations. Importance de bien connaître les méthodes et choix de la modélisation.
- De nouveaux travaux du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) à intégrer : 2019 rapport spécial sur la cryosphère et à venir le 6ème rapport d'évaluation.



Accueil - GIP Loire Estuaire

www.loire-estuaire.org/accueil 50%

GIP Loire Estuaire
La Loire, de la Maine à la mer
Observations et suivis environnementaux

85°C
200lit de Loire à Montjean s/L
98
Coefficient de marée

Webcam: l'estuaire en direct

LE TERRITOIRE LES ACTIONS LE GIP LOIRE ESTUAIRE

f t i y e

webcam

Nos actualités

PLANTES

À PORT LAVIGNE

à Beauguenais, entre Loire et cotouit

Nantes Digital Week à Beauguenais avec "En Quête de plantes"

Le GIP Loire Estuaire participe aux animations autour de la salère océanique numérique de Port Lavigne organisées de 23 septembre. Toutes les actualités

Suvel : les données en direct

Google

Dangère dessous (mg/l)

- Plus de 2
- de 2 à 2
- de 2 à 4
- de 4 à 6
- de 6 à 8
- de 8 à 12
- Moins de 1
- Bonne Indisponible

La Loire vue du ciel

En savoir +

67

C'est le nombre d'espèces de vers, crustacés et mollusques inventoriées dans les sédiments fins de l'estuaire de la Loire depuis 1978.

SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX

- Les mouvements
- La dynamique de la vie
- L'environnement humain
- Etudes et inventaires
- Bulletins de suivis

DIFFUSION DES CONNAISSANCES

- Publications
- Jem - journée scientifique
- Expositions
- Certolèque

NOS OUTILS

- SUVEL
- Photothèque
- Centre documentaire
- Vidéos
- Portail géographique
- Modélisation



Estuaire en direct : webcam de Cordemais



GIP Loire Estuaire 2019-01-09 12:20:59

connaissance / diffusion / programmes

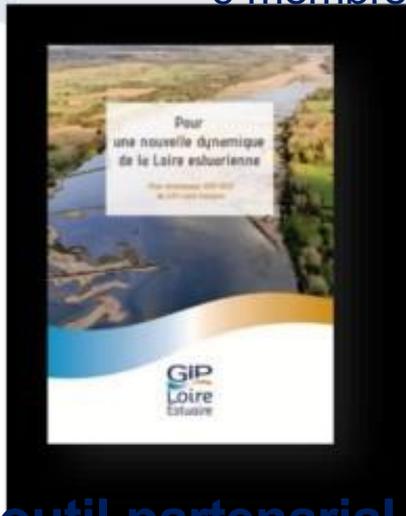
La Loire de la Maine à la mer

Les Ponts de-Cé



9 membres financeurs

subventions



PROGRAMMES

CONTRIBUER aux programmes prioritaires des membres



CONNAISSANCES

DÉVELOPPER la production et la diffusion des connaissances



+ 20 ans - Un outil partenarial d'aide à la décision fédérateur, objectif, pluridisciplinaire

Objectif Une approche globale, systémique (milieu physique, milieu vivant, usages)

Outils - Moyens

- Élaborer et gérer une grille de suivis long terme de la Loire et de son estuaire
Analyser, intégrer les données représentatives existant sur le fleuve et l'estuaire, afin de mettre en évidence les modifications du milieu et d'en comprendre la cause
- Communiquer sur l'état des milieux
Transposer les résultats chiffrés en information accessible à différents publics qu'ils soient avertis ou simplement sensibles