

**DREAL**

Pays de la Loire

**DDTM**

de Loire-Atlantique

**DDTM**

de Vendée

septembre 2012



# *La Tempête Xynthia*

*du 28 février 2010*

## *Retour d'expérience en Loire-Atlantique et en Vendée*

*Volet hydraulique et ouvrages de protection*



PRÉFET  
DE LA RÉGION  
PAYS DE LA LOIRE

**CETE**  
de l'Ouest

direction régionale de l'environnement, de l'aménagement  
et du logement Pays de la Loire

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	25 juillet 2011	
1	26 août 2011	Plan. Rédaction méthodologie
1.2	05 octobre 2011	Rédaction. Intégration des données ouvrages
2.0	31 janvier 2012	Modification du plan pour intégration des descriptions globales et locales de l'événement Xynthia.
3.0	16 février 2012	Compléments apportés aux données ouvrages et submersions (analyse globale et analyse locale)
4.5	20 juin 2012	Compléments ouvrages et origines des submersions
5.6	06 août 2012	Prise en compte remarques CETMEF, DREAL, DDTM44 et DDTM85
5.7	28 août 2012	Prise en compte remarques DREAL
5.8	31 octobre 2012	Corrections après relecture

## Affaire suivie par

<b>- E.DEVAUX - DIE/Groupe Environnement</b>
Tél. : 02.40.12.83.77/ Fax : 02.40.12.84.44
Courriel : <a href="mailto:emmanuel.devaux@developpement-durable.gouv.fr">emmanuel.devaux@developpement-durable.gouv.fr</a>

<b>G. DESIRE - DIE/Groupe Environnement</b>
Tél. : 02.40.12.53/ Fax : 02.40.12.84.44
Courriel : <a href="mailto:guy.desire@developpement-durable.gouv.fr">guy.desire@developpement-durable.gouv.fr</a>

## Rédacteur

Emmanuel DEVAUX – DIMER/Groupe Environnement  
Guy DESIRE – DIMER/Groupe Environnement  
Céline BOURA – DIMER/Groupe Environnement  
Julie LOWENBRUCK – – DIMER/Groupe Environnement  
Nathalie BERENGER – Laboratoire Régional d'Angers/Environnement Risques Géotechnique  
Nicolas ROUXEL – Laboratoire Régional de Saint-Brieuc  
Natacha ROMAIN – Laboratoire Régional d'Angers

## Relecteur

Fabien DURR – DIMER/Groupe Environnement

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>5</b>
<b>1 - MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>6</b>
1.1 - Le protocole de collecte des données.....	6
1.2 - La collecte des données .....	7
1.2.1 -Images satellites.....	7
1.2.2 -Photographies aériennes obliques.....	7
1.2.3 -Photographies aériennes verticales.....	8
1.2.4 -Relevés de laisses de mer de plus hautes eaux.....	8
1.2.4.a - relevés en Vendée.....	8
1.2.4.b - relevés en Loire-Atlantique.....	9
1.2.5 -Relevés des ouvrages de protection.....	9
1.2.5.a - diagnostics d'urgence des ouvrages.....	9
1.2.5.b - diagnostics des travaux de confortement des ouvrages.....	10
1.2.5.c - relevés des désordres.....	10
1.2.6 -Relevés de laisses et évolutions morphologiques.....	10
<b>2 - ANALYSE DE L'ÉVÉNEMENT XYNTHIA À L'ÉCHELLE RÉGIONALE.....</b>	<b>11</b>
2.1 - Les tempêtes historiques.....	11
2.1.1 -En Loire-Atlantique.....	11
2.1.2 -En Vendée.....	12
2.2 - Description météo-océanographique de l'événement.....	13
2.3 - Niveaux d'eau à la côte.....	15
2.3.1 -Relevés des marégraphes.....	15
2.3.2 -Laisses de submersion.....	15
2.4 - Caractérisation des submersions marines.....	16
2.4.1 -Méthodologie.....	16
2.4.1.a - Extension spatiale.....	16
2.4.1.b - Détermination des origines de la submersion.....	17
2.4.2 -Synthèse par unité géographique.....	18
2.4.3 -Analyse critique .....	27
2.5 - Les dommages subis par les systèmes de protection.....	27
2.5.1 -Description des structures.....	28
2.5.1.a - Les structures naturelles.....	28
2.5.1.b - Les ouvrages de défense contre la mer.....	29

2.5.1.c - Les ouvrages d'aménagement du littoral.....	33
2.5.2 -Les mécanismes de dégradation des ouvrages et les désordres associés.....	34
2.5.2.a - Les désordres observés sur les structures naturelles.....	35
2.5.2.b - Les désordres observés sur les ouvrages de défense contre la mer.....	37
2.5.2.c - Les désordres observés sur les ouvrages d'aménagement du littoral.....	41
2.5.2.d - Synthèse et discussion sur le mécanisme de formation des brèches.....	43
2.5.2.e - Les facteurs aggravants des désordres.....	44
2.5.3 -Les confortements d'urgence.....	45
2.5.3.a - La typologie des confortements réalisés.....	46
2.5.3.b - Conclusion sur les confortements d'urgence.....	48
2.5.4 -Analyse critique des données étudiées.....	49
2.5.4.a - La non exhaustivité des données.....	49
2.5.4.b - L'absence de pathologies liées à l'érosion interne.....	49
2.5.4.c - Les limites des investigations réalisées.....	49
<b>2.6 - L'évolution du trait de côte.....</b>	<b>49</b>
2.6.1 -Le recul du trait de côte .....	49
2.6.1.a - Les côtes meubles.....	49
2.6.1.b - Les côtes rocheuses.....	50
2.6.2 -L'évolution du profil des plages.....	50
<b>3 - ANALYSE LOCALE DE LA SUBMERSION MARINE.....</b>	<b>51</b>
3.1.1 -Loire-Atlantique.....	51
3.1.1.a - Trait de Pen-Bé (Communes d'Assérac, Saint-Molf et Mesquer).....	51
3.1.1.b - De la Pointe de Merquel à La Turballe.....	52
3.1.1.c - Marais de Guérande (commune de Guérande ).....	52
3.1.1.d - Pointe du Croisic (communes du Croisic et de Batz-sur-Mer).....	52
3.1.1.e - Baie du Pouliguen (communes de La Baule et du Pouliguen).....	53
3.1.1.f - Estuaire de la Loire (communes de Saint-Nazaire, Donges, Montoir-de-Bretagne, La-Chapelle-Launay, Lavau-sur-Loire, Bouée, Cordemais, Saint-Etienne-de-Montluc, Couëron, Basse-Indre, Saint-Jean-de-Boiseau, Le Pellerin, Rouans,Vue, Frossay, Saint-Viaud, Paimboeuf, Saint-Père-en-Retz, Corsept).....	54
3.1.1.g - Saint-Brévin-les-Pins.....	59
3.1.1.h - De Saint-Michel-Chef-Chef à Préfailles.....	59
3.1.1.i - Pornic et La Bernerie-en-Retz.....	59
3.1.1.j - Les Moutiers-en-Retz et Bourgneuf-en-Retz.....	59
3.1.2 -Vendée.....	61
3.1.2.a - Bouin.....	61
3.1.2.b - Beauvoir-sur-Mer.....	62
3.1.2.c - La Barre-de-Monts.....	62
3.1.2.d - L'île de Noirmoutier.....	62

Barbâtre.....	63
3.1.2.e - Notre-Dame-de-Monts.....	63
3.1.2.f - Saint-Jean-de-Monts.....	63
3.1.2.g - Saint-Hilaire-de-Riez.....	64
3.1.2.h - Saint-Gilles-Croix-de-Vie.....	64
3.1.2.i - Brétignolles-sur-Mer .....	65
3.1.2.j - Olonne-sur-Mer .....	65
3.1.2.k - Les Sables-d'Olonne.....	65
3.1.2.l - Château-d'Olonne.....	66
3.1.2.m - Talmont-Saint-Hilaire.....	66
3.1.2.n - Jard-sur-Mer.....	66
3.1.2.o - Saint-Vincent-sur-Jard.....	66
3.1.2.p - Longeville-sur-Mer.....	66
3.1.2.q - La Tranche-sur-Mer.....	67
3.1.2.r - La Faute-sur-Mer.....	67
3.1.2.s - L'Aiguillon-sur-Mer.....	70
3.1.2.t - Marais Poitevin.....	72
3.1.3 -Données chiffrées sur les surfaces submergées .....	75
3.1.3.a - Zone submergée par commune.....	75
3.1.3.b - Nombre de bâtiments dans la zone submergée par commune.....	76
3.1.3.c - Occupation du sol des zones submergées par département.....	77
<b>ANNEXES.....</b>	<b>78</b>

## Introduction

La tempête Xynthia qui est intervenue dans la nuit du 27 au 28 février 2010 a fortement endommagé le littoral français.

Afin de faire un retour d'expérience complet de cet événement et d'en tirer toutes les conclusions nécessaires, les informations de description de cet événement et ses conséquences sur le littoral doivent être conservées.

Un retour d'expérience complet piloté par la DGPR est en cours. Il est organisé en plusieurs volets :

- un volet hydraulique
- un volet ouvrages de protection
- un volet gestion de crise
- un volet urbanisme et construction
- un volet économique
- un volet réseaux d'énergie, fluides et de télécommunications
- etc.

La DIRECTION REGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT, L'AMENAGEMENT ET LE LOGEMENT des PAYS DE LA LOIRE (DREAL) est en charge de mettre en œuvre et de coordonner le retour d'expérience sur les départements de Loire-Atlantique et de Vendée. Elle sollicite le CETE de l'Ouest pour l'assister.

La mission confiée au CETE de l'Ouest a pour objet de synthétiser les informations de description dans le cadre du retour d'expérience de la tempête Xynthia. Elle porte plus particulièrement sur les volets hydraulique, ouvrages de protection, urbanisme et construction.

Les objectifs de l'étude sont :

- le recensement des sources de données disponibles et la capitalisation des données collectées et des analyses conduites concernant les submersions et leurs conséquences (principaux dégâts) ainsi que les ouvrages de protection,
- la caractérisation de la dynamique des écoulements (modes de submersion, sens de l'écoulement, vitesse de propagation et de montée des eaux),
- la caractérisation des submersions observées (surfaces, hauteurs, vitesses),
- le recensement des éléments sur le fonctionnement des systèmes de protection pendant la tempête Xynthia, sur les mécanismes ayant conduit à la défaillance de certains ouvrages, informations nécessaires dans l'analyse des modes de submersions,
- la synthèse des confortements d'ouvrages réalisés, leur analyse technique et une synthèse des coûts des travaux réalisés,
- le recensement des principaux dégâts matériels consécutifs aux submersions (bâti, infrastructures, réseaux...).

## 1 - Méthodologie

### 1.1 - Le protocole de collecte des données

Fin 2007, le préfet de la Région des Pays de la Loire a demandé aux préfets de départements qu'un groupe de travail (groupe régional « retour d'expérience inondation ») soit mis en place afin d'élaborer un protocole régional, dont l'objet est de définir les conditions techniques, matérielles et organisationnelles de recueil et d'exploitation d'informations lors de la survenance d'événements significatifs d'inondation sur le territoire de la région des Pays de la Loire.

Les événements recherchés sont ceux de faible occurrence (crues extrêmes), mais il est apparu également essentiel de collecter des données lors d'événements plus fréquents, notamment d'occurrence décennale, afin d'une part de tester la mise en œuvre de ce protocole et d'autre part, d'améliorer également la connaissance des inondations sur des crues de moindre ampleur.

Le type d'événement naturel visé par le protocole est l'inondation par une crue : débordement lent d'un cours d'eau, débordement rapide d'un cours d'eau.

Les inondations par submersion marine n'étaient pas visées dans le protocole, l'objectif étant, au moins dans un premier temps, de mettre en œuvre un dispositif coordonné au niveau des cours d'eau, qu'il conviendra par la suite d'étendre à la submersion marine.

Le protocole prévoit la collecte des données suivantes :

- enquêtes communales : l'objectif est d'obtenir des témoignages sur la crue (ampleur, dynamique, dégâts, vulnérabilité) auprès des élus municipaux mais aussi des riverains (à réaliser après la crue et si possible également pendant la crue).
- relevés de ligne d'eau : il s'agit, a posteriori, de déterminer les niveaux d'eau atteints lors de la crue à caractériser.
- photographies au sol : en complément des enquêtes et des relevés de laisses et repères de crues, des campagnes de photographies au sol peuvent être mises en œuvre afin d'améliorer la connaissance d'une crue.
- photographies aériennes : des campagnes de photographies aériennes sont réalisées par la DREAL Pays de la Loire, en fonction de la nature et de l'ampleur de l'inondation.
- images satellites, le cas échéant : au regard de la précision de la résolution, cette source d'information ne doit être utilisée par la DREAL Pays de la Loire, en lien avec le Service de bassin, que dans le cas de crues exceptionnelles avec débordement hors du lit endigué du fleuve. L'acquisition des images doit également être concertée avec le GIP Loire-Estuaire, qui dispose déjà d'images spatiales au niveau de son domaine de compétence (à savoir du bec de Maine, en aval d'Angers, jusqu'à l'océan).

Les données collectées dans le cadre de chaque déclenchement du dispositif "collecte de données de connaissance des inondations en Pays de la Loire" sont saisies et validées par le service ayant réalisé la collecte.

Le protocole a été validé par le préfet de région en décembre 2009, le début de l'année 2010 étant consacré à l'élaboration de plan local d'intervention par chaque acteur du dispositif, précisant les personnes impliquées et les modalités de leurs interventions.

La tempête Xynthia survient donc juste au moment de la naissance du protocole de collecte des données. Compte-tenu de l'ampleur de l'événement, la DREAL des Pays de la Loire décide de le mettre en œuvre, malgré le fait que les déclinaisons locales ne soient pas encore finalisées.

## 1.2 - La collecte des données

### 1.2.1 - Images satellites

Le déclenchement de l'acquisition d'images a été anticipé par le **Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises (COGIC)** le samedi 27 février 2010 à 20h30, la commande portant sur la Baie de Bourgneuf et le Marais Poitevin pour les Pays de la Loire, la Charente-Maritime et l'estuaire de la Gironde en Poitou-Charentes et Aquitaine.

La mission est confiée au **Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection de Strasbourg (SERTIT)**.

Les données ont été acquises par SPOT 4 le 2 mars (résolution de 20 mètres), complétées par des données à très haute résolution les jours suivants. Seize produits (illustration 1) ont pu ainsi être livrés entre le 2 et le 11 mars.



Illustration 1 : exemple de cartographie produite par le SERTIT (baie de l'Aiguillon)

### 1.2.2 - Photographies aériennes obliques

Un vol à basse altitude a été réalisé par hélicoptère avec des moyens propres à l'administration (caméraman **DREAL** + photographe **DDT85** + coordinateur **DDTM85/44**). Le vol était initialement prévu à marée haute le 2 mars, mais il a dû être reporté aux 3 et 4 mars suite à un incident technique sur l'hélicoptère. L'intégralité du littoral régional a pu être couverte (hors île d'Yeu et nord de la Loire-Atlantique). Les illustrations 2 à 4 montrent pour exemple trois de ces photographies.



Illustration 2 : photographie aérienne oblique du 3 mars 2010 (Talmont-Saint-Hilaire, Vendée)



Ouvrage de défense ruiné - La Chaume (85)  
Illustration 3 : photographie aérienne oblique du 3 mars 2010 (La Chaume, Vendée)



*Brèche sur digue à Guérande (44)*

*Illustration 4: photographie aérienne oblique du 3 mars 2010 (Guérande, Loire-Atlantique)*

Le **Groupe d'Intérêt Public Loire Estuaire** (GIPLE) a missionné un prestataire pour une campagne de prises de vues aériennes obliques, réalisée le 03 mars 2010. 958 photographies ont été prises sur près de 8 000 hectares de la plaine alluviale de l'estuaire de la Loire entre Le Pellerin et Donges.

Les clichés ont été analysés afin de définir, pour chaque parcelle du cadastre, le degré de mise en eau. L'ensemble des informations est intégré dans un Système d'Information Géographique.

### **1.2.3 - Photographies aériennes verticales**

Les clichés ont été réalisés à la demande de la DGPR par l'**Institut Géographique National** (IGN). La mission aérienne s'est déroulée 3 semaines après l'événement (entre le 17 mars et le 10 avril) et a couvert le littoral vendéen dans sa totalité ainsi que la partie sud du littoral de Loire-Atlantique (jusqu'à l'estuaire de la Loire). Près de 9000 clichés sont disponibles.

Les émulsions utilisées sont la couleur (illustration 5) et l'Infra-Rouge panchromatique, cette dernière permettant de bien discriminer les zones en eau et humides. Un recouvrement des photographies, autorisant une étude stéréoscopique (trois dimensions), a été mis en œuvre.

L'exploitation des clichés étant différée, ils n'ont pas été utilisés pour ce retour d'expérience.

Par ailleurs, il est difficile de détecter de manière exhaustive à partir de cette seule mission aérienne les terrains qui ont été inondés lors de Xynthia et qui ne l'étaient plus lors de la prise de vues.



*Illustration 5: photographie aérienne verticale avril 2010 (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée)*

### **1.2.4 - Relevés de laisses de mer de plus hautes eaux**

#### **1.2.4.a - relevés en Vendée**

L'objectif des relevés de laisses de submersion était de consigner les hauteurs d'eau atteintes au plus haut, à partir de traces visibles sur les constructions (illustration 6).



*Illustration 6: relevés de laisses de submersion à l'Aiguillon-sur-Mer, Vendée (mars 2010)*

Les interventions sur le terrain se sont déroulées entre trois et onze jours après l'événement et ont porté essentiellement sur le secteur de La Faute-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer, par une équipe constituée d'agents du **CETE de l'Ouest**, de la **DREAL** et de la **DDTM**.

Les bordereaux de terrain (illustration 7) ont été rassemblés afin de réaliser une première cartographie. Dans un second temps, un géomètre est retourné sur chaque site afin de réaliser un levé plus précis de l'altitude des laisses de submersion, au moyen d'un DGPS.

REX tempête Xynthia - 28/02/2010    Nom de l'agent :    service : DDTM85

**Bordereau de terrain**

Date de repérage : 03/03/2010    Date de levée (géomètre) :

Commune, lieu-dit, adresse : La Faute-sur-Mer, 2 rue des Vignes

POINT D'APPUI A UTILISER POUR CE SITE - coordonnées GPS : X=    Y=    Z=

identification du point (numéro de l'agent + chiffres) : F20    (ex : F2001)

Photo d'ensemble : F20-02    Zoom du point : F20-04



Photo vue d'ensemble : F20-03    Photo localisation : F20-01

Descriptions et commentaires par l'agent :  
Traverse à 1,73/1,80 m.

Renseignements sur la levée du point par le géomètre :

X=

Y=

Z=

Protocole régional pour la collecte de données de connaissance des inondations en Pays de la Loire - Juillet 2003

Illustration 7: bordereau de saisie des laisses de submersion

Dans le cadre de ses opérations de recherche (projet RISCOTE – RISR18, Littoral Aléas Côtiers), le **Bureau de Recherches Géologiques et Minières** (BRGM) a effectué une mission préliminaire en mars 2010 et consigné également des niveaux maximaux atteints par la submersion.

La **Communauté de Communes de Noirmoutier** a recueilli des informations concernant les submersions qui se sont produites sur l'île : zones de submersion, niveaux d'eau, entrées d'eau. Les données ont été réunies dans un SIG.

#### 1.2.4.b - relevés en Loire-Atlantique

La **DDTM** de Loire-Atlantique a procédé à des relevés des hauteurs d'eau atteintes par la submersion marine. Très ponctuellement, ces constats ont porté sur des désordres affectant les ouvrages de protection.

Une table Mapinfo a été créée par la DDTM, elle contient les informations suivantes :

- numéro de référencement du constat,
- commune concernée,
- lien vers une photographie,
- date de la photographie,
- source de la donnée,
- localisation,
- observations,
- coordonnées XY du constat,
- hauteur d'eau atteinte,
- échelle de cartographie du constat.

#### 1.2.5 - Relevés des ouvrages de protection

##### 1.2.5.a - diagnostics d'urgence des ouvrages

Ces diagnostics ont été menés par les deux laboratoires (**Angers et Saint-Brieuc**) du **CETE de l'Ouest**. Réalisés à la demande des DDTM de Loire-Atlantique et de Vendée, ils ont porté sur la quasi-totalité des ouvrages de protection en Vendée, département le plus touché par les effets de la tempête. En Loire-Atlantique, un nombre plus limité d'ouvrages (ouvrages de protection de certains marais) a été diagnostiqué.

Les campagnes se sont déroulées en mars et avril 2010 pour la Vendée et de juin à septembre 2010 pour la Loire-Atlantique. Des fiches de terrain ont été établies et envoyées au fur et à mesure de leur élaboration aux DDTM. Pour la DDTM de Vendée, un site Intranet a été créé (GeoOPL) pour la mise à disposition des fiches de visites et des localisations des ouvrages diagnostiqués.

### 1.2.5.b - diagnostics des travaux de confortement des ouvrages

Ces diagnostics, également réalisés par les **laboratoires d'Angers et Saint-Brieuc du CETE de l'Ouest**, ont porté uniquement sur certains ouvrages de Vendée, ayant fait l'objet de travaux d'urgence et pour lesquels une subvention européenne avait été demandée. Les reconnaissances se sont déroulées en novembre 2010.

Cette étude, commanditée par la DDTM de Vendée, a consisté en un diagnostic visuel des ouvrages et des réparations. Les fiches élaborées ont repris le même modèle que celles utilisées pour les diagnostics d'urgence.

A l'occasion de cette campagne, des diagnostics ont été réalisés sur quelques sites qui n'avaient pas été visités en mars-avril 2010 (dunes de Longeville-sur-Mer, certaines digues de la baie de l'Aiguillon,...).

### 1.2.5.c - relevés des désordres

La **DDTM de Vendée** a procédé ponctuellement au recensement des désordres et des travaux qu'elle a pu identifier au cours de son action sur le terrain.

Les données sur la typologie des désordres recensés, les traitements réalisés ou en cours de réalisation ainsi que les enjeux concernés ont été rassemblés dans un système d'information géographique.

La **DDTM de Loire-Atlantique**, a mis à disposition les observations de terrain concernant les ouvrages de protection, réalisées par les subdivisions territoriales.

La **Communauté d'Agglomération de la Presqu'île de Guérande** (Cap Atlantique) a recensé les désordres survenus sur les digues en terre des vasières et étiers des marais de Guérande. Les observations ont été saisies dans une table Mapinfo qui contient les éléments suivants :

- localisation sur le marais du désordre,
- type de désordre,
- linéaire de désordre,
- avancement des travaux d'urgence,
- ordre de priorité de ces travaux,
- date de mise à jour de la donnée.

Le **BRGM** a consigné des observations portant sur :

- l'endommagement des digues et des ouvrages côtiers,
- les brèches des cordons dunaires,
- le recul du trait de côte.

A l'issue d'un travail de collecte de données et d'enquêtes de terrain, la **Communauté de Communes de Noirmoutier** a rassemblé les informations relatives aux dégâts sur les ouvrages de protection et les entrées d'eau. Ces données ont été intégrées dans un SIG.

### 1.2.6 - Relevés de laisses et évolutions morphologiques

Le **BRGM** a effectué une mission préliminaire, dans le cadre de ses opérations de recherche (projet RISCOTE – RISR18, Littoral Aléas Côtiers). Le compte-rendu, daté de mars 2010, présente les constatations faites lors d'une mission sur le terrain réalisée conjointement avec l'**Office National des Forêts** (ONF) début mars 2010. Les constatations ont porté notamment sur :

- l'évolution morphologique du littoral (érosion),
- les dégâts aux structures naturelles de protection,
- les processus s'étant produits durant la tempête.

Les agents de l'**ONF** ont réalisé des observations portant sur les dunes domaniales. Un SIG a été constitué, il contient dans le périmètre des forêts publiques relevant du régime forestier, des observations concernant :

- le recul du front dunaire,
- les points d'entrée de l'eau par surverse,
- les points identifiés comme pouvant poser un problème ultérieur de sécurité (fragilité du cordon, falaise dunaire dangereuse vis-à-vis de l'occupation touristique de la plage, blockhaus risquant de basculer, etc.),
- les zones forestières ayant subi une inondation.

A la demande de la DGPR, le BRGM a créé une base de données compatible avec les Systèmes d'Information Géographique (SIG) les plus courants (Mapinfo, Arcgis).

Outre les champs d'identification et de localisation des points relevés sur le terrain, la base de données contient des champs sur l'évolution morphologique du littoral :

- érosion et recul du trait de côte,
- érosion de la plage,
- affouillement,
- apport de sables, de débris,
- figures de courant,
- commentaire sur la morphologie.

## 2 - Analyse de l'événement Xynthia à l'échelle régionale

Cette partie a pour but de donner une vision à l'échelle régionale des effets de la tempête sur le littoral. Le rappel des tempêtes historiques donne le contexte général des événements météo-océanographiques touchant les départements de Loire-Atlantique et de Vendée.

### 2.1 - Les tempêtes historiques

#### 2.1.1 - En Loire-Atlantique

Le littoral de Loire-Atlantique subit régulièrement des tempêtes causant des phénomènes de submersion et d'érosion des côtes meubles.

Un recensement récent (Garnier, 2010) portant sur la période 1500-2010 mentionne des événements de submersion essentiellement au sud de l'Estuaire de la Loire et localisés sur la zone de l'île de Noirmoutier et de la baie de Bourgneuf :

- 1 tempête au 16<sup>ème</sup> siècle (baie de Bourgneuf),
- 1 tempête au 18<sup>ème</sup> siècle (Noirmoutier),
- 2 tempêtes au 19<sup>ème</sup> siècle (baie de Bourgneuf),
- 1 tempête au 20<sup>ème</sup> siècle (Noirmoutier).

Une autre source (Rivron, date inconnue) fait état d'un nombre beaucoup plus important de phénomènes de submersion (appelés localement vimers) uniquement à l'échelle de la baie de Bourgneuf et sur un inventaire remontant jusqu'au 6<sup>ème</sup> siècle.

La baie de Bourgneuf apparaît donc historiquement comme la zone la plus sensible (ou la mieux renseignée) à la submersion du littoral de Loire-Atlantique.

Avant 1950, les tempêtes les plus marquantes sur la zone de Noirmoutier – baie de Bourgneuf (hors Xynthia) semblent être celles de 1877, 1924 et 1937. Elles sont détaillées ci-après :

**Tempête du 1er janvier 1877** (Jean-Pierre Rivron) : *[Selon des témoins oculaires, notamment un des douaniers de faction cette nuit-là, cinq heures du matin venaient de sonner au clocher des Moutiers quand un bruit sourd comme un roulement de tonnerre se fit entendre dans la nuit. Le vent venait de sauter au nord-ouest et il faisait presque calme avant que la tempête reprenne en furie. Le ciel dégagé permit de voir une énorme lame qui se dressa presque droite à l'aplomb de la digue et retomba lourdement de l'autre côté, balayant tout sur son passage. Traversant la voie ferrée en la coupant, escaladant les marches de l'église, elle balaya la place du presbytère, surprenant les habitants dans leurs lits et se répandit à travers le marais. L'inondation couvre tout le marais jusqu'à Bourgneuf ainsi que les bas quartiers des Moutiers.]*

**Tempête du 9 janvier 1924** (M. Bresson) : *[Dans la Loire-Inférieure, les points du littoral les plus atteints se trouvent entre la Pointe de Penchateau et la Pointe de Castelli.]*

*S'agit-il réellement d'une vague de fond due à un tremblement de terre ou une éruption volcanique sous-marine ? Les séismographes de France n'ont enregistré, les 8 et 9 janvier, qu'une agitation, due probablement à la tempête. Aucune trace de macroséisme.*

*Par contre, les données météorologiques révèlent des faits intéressants. D'après les cartes de l'Office National Météorologique, une dépression barométrique très profonde abordait l'Irlande le 8 janvier (730 mm) ; elle progressait en 12 heures jusqu'à la Bretagne, Le barogramme de Saint-Nazaire montre que le minimum (730) s'est manifesté le 9 janvier à midi.*

*L'état de la mer mérite considération. Le 9 janvier, la marée devait avoir pour coefficient 95, ayant atteint la veille le coefficient 100. Le niveau a en réalité dépassé les plus hautes mers d'équinoxe.*

*A Saint-Nazaire, le phénomène dure de 3 heures à 6 heures et demie, avec un maximum aux environs du plein, vers 5 heures et quart, et un excédent de 0 m85. Dans l'après-midi, sur la côte de Batz, la hauteur des vagues était de 3 m environ, mais des marins prétendent avoir vu au large, le matin un peu avant l'étale, s'avancer trois lames énormes.*

*Le marégramme de Saint-Nazaire a été malencontreusement interrompu le 9 janvier à 5 heures du matin, la porte du marégraphe ayant été enfoncée par la violence des lames.*

*On peut conclure des renseignements recueillis, que le phénomène appelé « raz de marée » doit être considéré comme du à la coïncidence d'une tempête, ayant presque le caractère d'un typhon, avec une marée normalement assez forte, dont le niveau a été relevé de plus de 2 m.]*

**Tempête des 13 et 14 mars 1937** : elle possède un grand nombre de points communs avec la tempête Xynthia de février 2010 (traitée ci-après dans le paragraphe relatif à la Vendée).

Après 1950, les tempêtes les plus importantes restent celles des 15/16 octobre 1987 (qualifiée de tempête du siècle avant les tempêtes Lothar et Martin de 1999), du 11 février 1990, du 25 au 27 décembre 1999 (tempêtes Lothar et Martin) et la tempête Xynthia des 27/28 février 2010.

**Tempête du 11 février 1990** (Jean-Pierre Rivron) : *[la tempête met à mal les digues de Beauvoir. Aux Moutiers, les dégâts (inondations, coulées de boues, chocs mécaniques dus aux vagues) conduisent à la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (arrêtés des 14 mai et 24 juillet 1990). Des dégâts ont eu lieu aussi du 26 au 27 février lors de la grande marée de 108.]*

**Tempêtes du 25 au 27 décembre 1999** (Jean-Pierre Rivron) : *[le centre-ville des Moutiers a été recouvert d'eau entre le passage à niveau et la mer. La tempête a déraciné, comme partout ailleurs, de nombreux arbres mais en plus, la mer a inondé, le dimanche 26 décembre, tout le quartier situé aux alentours du boulevard de la mer et de la place du Général de Gaulle.]*

Plus de soixante maisons ont été inondées (arrêtés d'état de catastrophe naturelle des 29 décembre 1999 et 25 septembre 2000 pour les Moutiers).

## 2.1.2 - En Vendée

Outre la Baie de Bourgneuf, précitée, E. Garnier (2010) mentionne : [trois abcès de fixation des submersions se détachent nettement sur le littoral atlantique au cours des cinq derniers siècles. Du nord au sud, il s'agit des secteurs des Sables-d'Olonne (5 événements), de l'Anse de l'Aiguillon (7 événements) et de La Rochelle (avec l'île de Ré). L'importance prise par ce risque dans la baie de l'Aiguillon souligne son extrême vulnérabilité historique, largement confirmée par le drame des 27 et 28 février 2010.]

L'illustration 8 montre l'emplacement des principaux événements survenus au cours des siècles en Poitou-Charente et Vendée.

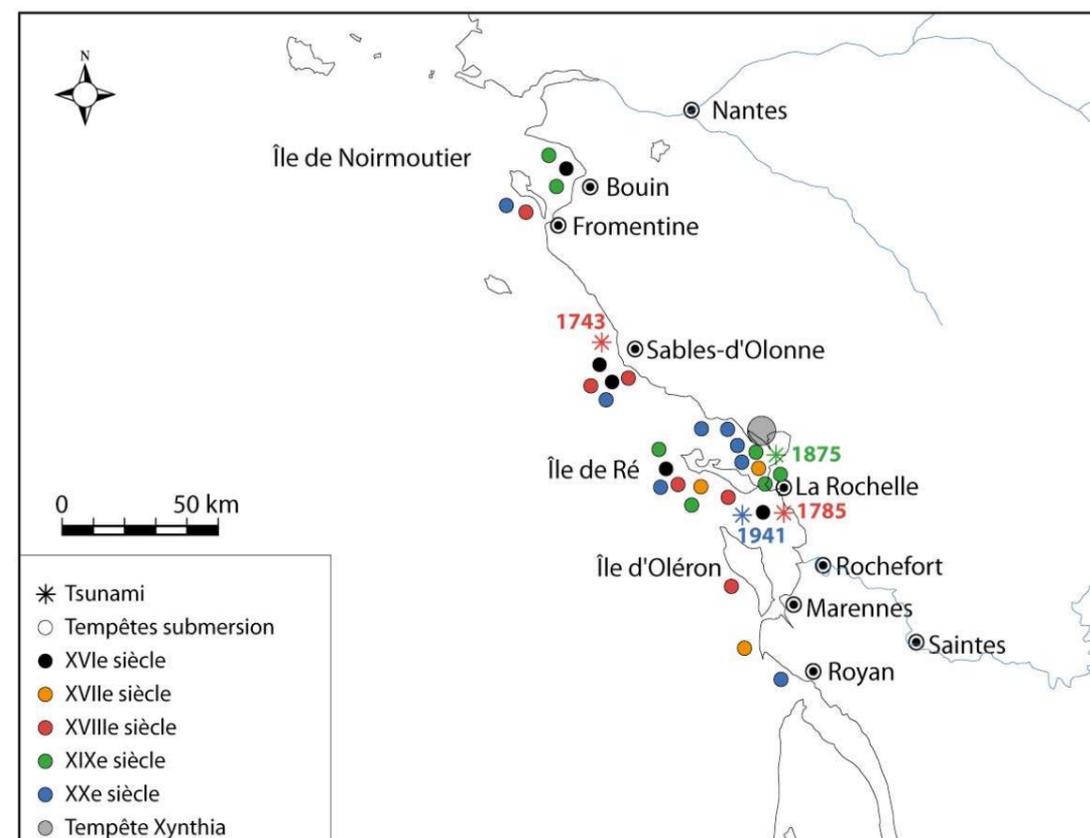


Illustration 8: Les territoires du risque maritime en Poitou-Charente-Vendée (1500-2010) – E. Garnier 2010

**Tempête du 27 octobre 1882** (archives départementales) : [A La Faute-sur-Mer, la marée des 26 et 27 octobre dernier a causé de très graves dégâts aux digues des prises dont trois de ces dernières ont été submergées par les eaux de la mer.]

La submersion concerne des terres cultivées et des pâtures et il n'est pas fait mention de pertes en vies humaines.

[Les travaux d'endiguement du village de La Guérinière (île de Noirmoutier) sont insuffisants contre les tempêtes du Sud-Ouest. Déjà la mer y est arrivée avec un courant de foudre et presque toujours en pleine nuit, envahissant l'église, la cure et les maisons voisines.]

D'après Vantier d'Ambroise dans « le littoral de la France, côtes vendéennes, 1892 », [le 27 octobre 1882, l'eau est montée à 45 cm dans les maisons, réveillant les habitants en sursaut et courant se perdre dans les marais voisins ; le vent ayant tourné subitement, la digue des Is-leaux, du côté NE, fut renversée à son tour et les deux flots marchèrent à la rencontre l'un de l'autre. Si l'on n'y prend pas garde, l'île sera coupée quelque jour en ce point.]

### Tempête du 9 janvier 1924 (M. Bresson)

[En Vendée, les dunes de Noirmoutier, pourtant protégées par des enrochements, ont été endommagées. A l'île d'Yeu plus de 500 mètres linéaires de maçonnerie ont été arrachés par la mer au musoir de la jetée nord-ouest de Port-Joinville ; des jetées et des protections en enrochements ont été endommagées aux Sables-d'Olonne, à la Tranche, aux digues de l'Aiguillon. Sur le littoral vendéen également, des dunes de sable non protégées ont reculé jusqu'à 8 m de leur ligne primitive.

Aux Sables-d'Olonne, on signale le 8 à minuit, un vent d'ouest-sud-ouest, très violent (25 m/s), avec brusque accalmie à 6 heures du matin, au maximum de la tempête. Certains observateurs ont noté en effet, avec surprise, qu'un calme de l'air avait accompagné la mer démontée. On pense naturellement aux typhons.]

**Tempête du 21 mars 1928** (archives départementales) : A La Faute-sur-Mer, les secteurs de la Vieille Prise et de la Jeune Prise sont concernés concourant aux 120 hectares submergés au total. Le bourg de La Faute est réduit à une île. Pas de mention de pertes de vies humaines. Il s'ensuivra la construction de digues notamment celle de la digue Est dès 1929 le long de l'estuaire du Lay, laquelle sera submergée lors de Xynthia.

### Tempête des 13 et 14 mars 1937 (extraits de Garnier, 2010)

[La catastrophe se produisit dans la nuit du 13 au 14 mars 1937 en raison d'un fort coefficient de marée (103) et une très violente tempête (vents supérieurs à force 11). Dans un premier temps, la mer déchaînée se heurte sans succès aux défenses naturelles que sont les cordons dunaires de la côte occidentale de l'île de Noirmoutier qu'elle contourne pour assaillir la côte opposée selon une orientation E-O et NE-SO de la houle.

Faisant fi des digues, elle pénètre à l'intérieur de l'île au nord et au sud, au niveau de la Fosse en submergeant ou en éventrant les ouvrages de défense, en la séparant pratiquement dans les marais du nord. L'assaut maritime se poursuit ensuite en direction du continent où les digues de première zone ne résistent pas davantage sur la portion littorale dépourvue de dunes. Les eaux pénètrent alors très profondément sur une distance d'environ 5 km à l'intérieur des terres.

Comme souvent lors d'événements extrêmes, les voies de communication sont coupées entre Beauvoir-sur-Mer et La Barre-de-Monts tandis que les environs de Bouin se transforment en un vaste marais mouillé. Les dommages matériels sont considérables. Outre les infrastructures, les champs et les prés sont rendus inutilisables pour plusieurs mois en raison de leur teeneur en sel. En revanche, les sources ne mentionnent aucun décès en dépit d'une inondation très étendue et très brutale dont les effets démographiques auraient pu être aggravés par son déroulement nocturne.]

L'exemple de la submersion ayant touché le secteur de l'île de Noirmoutier et de Fromentine en 1937 est emblématique des formes d'adaptation que développèrent les communautés entre les temps médiévaux et la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, avant que n'intervienne la fameuse « rupture » mémorielle et technique postérieure à la seconde guerre mondiale. Très comparable à Xynthia, la catastrophe se produisit dans la nuit du 13 au 14 mars en raison d'un fort coefficient de marée (103) et d'une très violente tempête (supérieure à force 11).

## 2.2 - Description météo-océanographique de l'événement

La tempête Xynthia a traversé la France entre 01 h 00 et 17 h 00 le dimanche 28 février 2010. Frappant la côte atlantique des Pyrénées jusqu'à la Normandie et surtout le littoral compris entre Loire et Gironde au maximum de son creusement (centre dépressionnaire à 969 hPa), elle a poursuivi son chemin en remontant vers la Normandie puis les Ardennes, selon un axe sud-ouest / nord-est.

Le vent, orienté de sud-est avant la dépression, provient principalement du sud au moment le plus intense du phénomène le long des côtes atlantiques, ce qui est plutôt inhabituel dans ces régions.

Les rafales de vent qui accompagnent la tempête atteindront 160 km/h sur le littoral et 120 km/h dans l'intérieur des terres.

Les phénomènes dépressionnaires provoquent une surélévation du niveau de la mer liée à la combinaison de trois éléments : une surcote barométrique induisant une hausse de l'ordre de 44 cm à La Pallice par rapport au niveau d'une pression atmosphérique moyenne, une modification importante du mouvement des masses d'eau liée au vent, le déferlement des vagues à l'approche des côtes.

Dans le cas de Xynthia, si les vents enregistrés lors de la tempête demeurent plus faibles que lors des événements de 1999 et 2009, leur direction était inhabituelle (illustration 9) ; leurs impacts sur le littoral se sont avérés particulièrement violents.

Quant aux conditions de houle, le pic de hauteur significative atteint 4,1 m à 02h30 le 28 février au niveau du Plateau du Four, 3,6 m à 04h00 au nord de l'île d'Yeu, plus de 7 m entre 03h00 et 6h00 dans l'ouest d'Oléron.

Ces effets ont encore été amplifiés par le fait que la tempête a atteint les côtes au plus haut d'une grande marée de vives-eaux (coefficient 102 sur une échelle variant de 20 à 120).

Ainsi, le marégraphe de La Pallice a enregistré une surcote de 1,53 m (différence entre la hauteur d'eau mesurée et la hauteur d'eau prédite, illustration 10). C'est la première fois qu'une telle surcote de pleine mer est enregistrée depuis l'installation du marégraphe en 1997.

En Loire-Atlantique, le marégraphe de Saint-Nazaire fait apparaître une surcote de 1,16 mètres.

## Xynthia : la force du vent

Valeurs maximales observées  
entre le 27 février  
et le 28 février

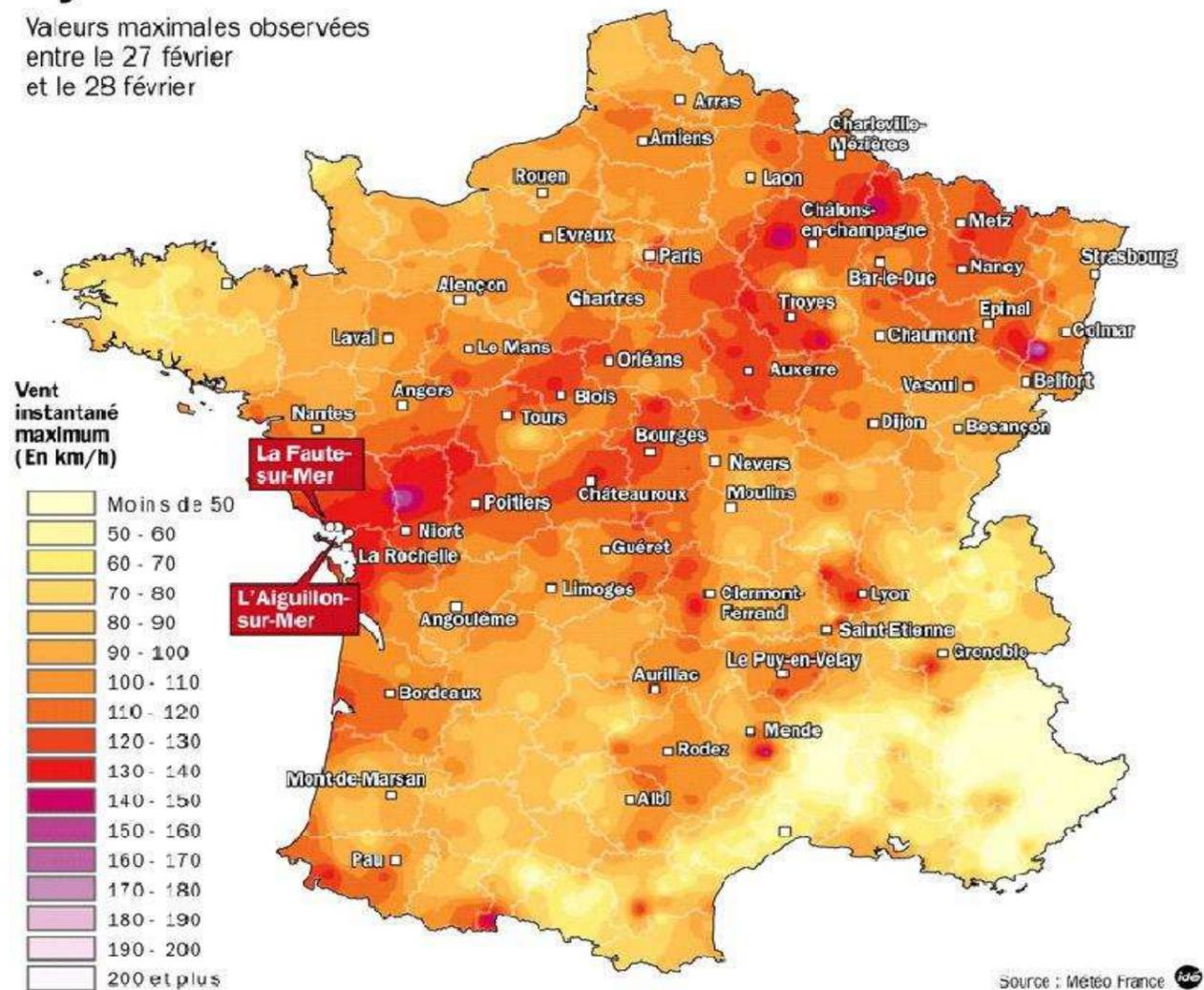


Illustration 9: Carte des vents enregistrés lors de la tempête Xynthia le 27 et 28 février 2010 - Météo France 2010

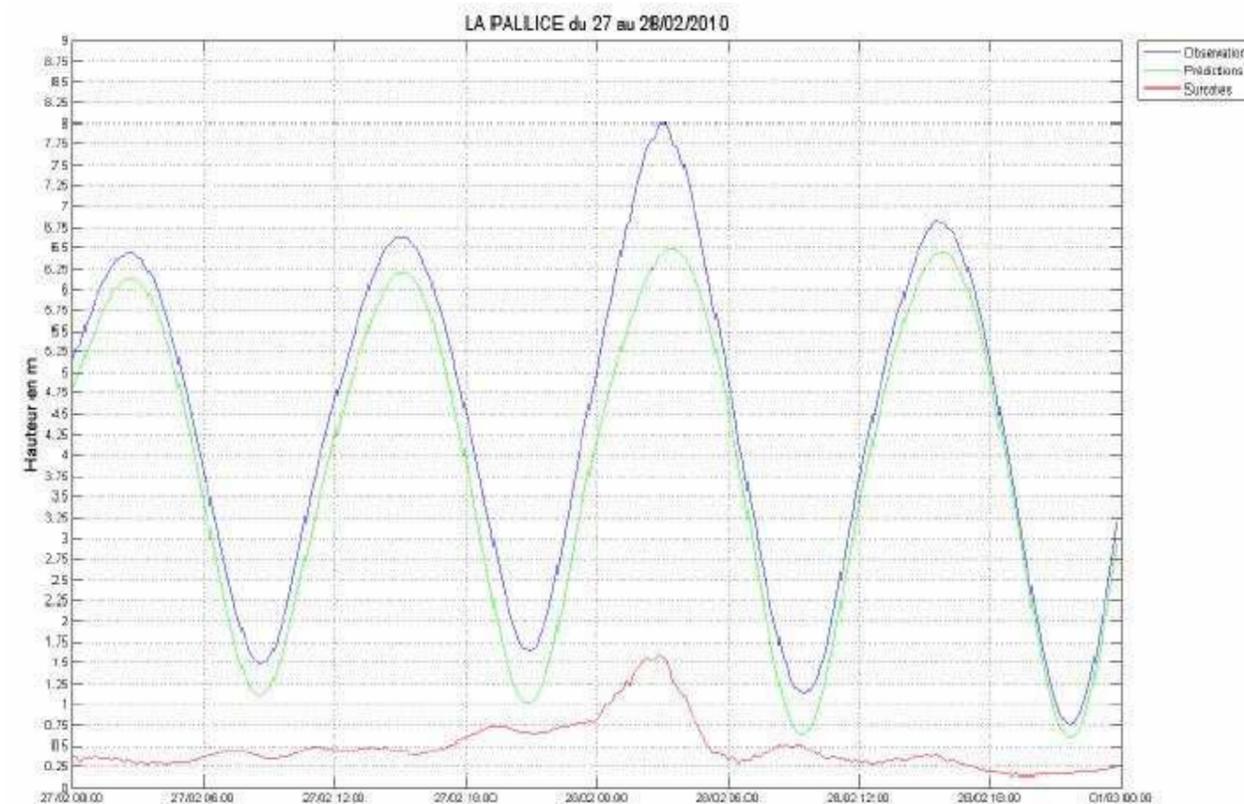


Illustration 10 : Observations au marégraphe de La Pallice de hauteur d'eau (en bleu) et estimation des surcotes (en rouge) à La Rochelle (TU). Les estimations des surcotes sont déduites des observations par soustraction de la hauteur d'eau de la marée prédite (en vert) - SHOM

Cette concomitance de la tempête avec un fort coefficient de marée et de fortes vagues est à l'origine des phénomènes de submersion rares, notamment sur les côtes de la Vendée et de la Loire-Atlantique.

Des débordements se sont ainsi produits sur de nombreux points du littoral. Conjugés à l'impact des vagues, ceux-ci ont parfois provoqué plusieurs ruptures sur le même ouvrage, occasionnant des vitesses d'écoulement très importantes.

De grandes vagues se sont à leur tour frayé un chemin pour toucher des secteurs jusqu'alors épargnés. Elles ont fortement amplifié les inondations et provoqué également des dégâts sur les ouvrages et le trait de côte naturel.

## 2.3 - Niveaux d'eau à la côte

### 2.3.1 - Relevés des marégraphes

Les hauteurs d'eau relevées sur la façade littorale de la région des Pays de la Loire confirment la trajectoire de la tempête Xynthia (tableau 1). En effet, les données de surcotes de pleine mer laissent apparaître une différence sensible entre le nord et le sud du littoral, avec des hauteurs variant entre 0,9 m et 1,16 m pour la Loire-Atlantique et une hauteur de 1,53 m constatée au marégraphe de la Rochelle.

L'onde de tempête s'est également propagée dans l'estuaire de la Loire. Les surcotes enregistrées sont de 1,1 m au marégraphe de Saint-Brévin et de 0,9 m à celui de Nantes (Anne de Bretagne), une zone dans laquelle les caractères fluviaux sont dominants. Le niveau relevé à cet endroit est en effet inférieur à ceux atteints lors des événements historiques fluviaux.

Marégraphe	Hauteur observée de la pleine mer (référentiel terrestre)	Surcote de pleine mer**	Fourchettes des niveaux marins extrêmes centennaux calculés par le SHOM en 2008	Période de retour estimée ou référence historique *
Saint-Nazaire (SHOM)	4,18 m NGF	1,16 m	[ 4,00 m ; 4,10 m NGF]	> 100 ans
Saint-Gildas (GIP Loire Estuaire)	3,88 m NGF	1,16 m	[ 3,80 m ; 3,90 m NGF]	≈ 100 ans
Le Pellerin (GIP Loire-Estuaire)	4,38 m NGF	-0,9 m	-	1910 : 4,44m NGF
Nantes Anne de Bretagne (GIP Loire-Estuaire)	4,69 m NGF	-0,9 m	-	1910 : 6,66m NGF 1982 : ~ 5m NGF
La Rochelle-La Pallice (SHOM)	4,51 m NGF	1,53 m	[ 3,90 m ; 4,00 m NGF]	> 100 ans

Tableau 1 : Données de hauteur d'eau sur le littoral Pays de la Loire. Sources : GIP Loire-Estuaire, SHOM, CETMEF, Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire.

\* la période de retour a été estimée à partir de l'étude SHOM-CETMEF (2008)

\*\* la surcote a été calculée par différence entre les valeurs mesurées et les prévisions du SHOM ou de l'annuaire du Grand Port Maritime de Nantes-St Nazaire

L'étude des périodes de retour des événements extrêmes montre que la tempête peut être assimilée à un événement centennal pour la Loire-Atlantique. En ce qui concerne la Vendée, et en particulier le sud du département, les hauteurs d'eau relevées se sont avérées sensiblement supérieures à celles d'un événement centennal. Toutefois, les données statistiques disponibles à ce jour n'ont pas permis de déterminer la période de retour des niveaux marins avec précision.

### 2.3.2 - Laises de submersion

Tout comme pour les relevés des marégraphes, les données issues des laisses de submersion laissent apparaître une intensité de l'événement plus importante dans le sud de la région. Les données fournies ci-dessous (tableau 2) sont les altitudes maximales des laisses relevées à proximité immédiate des entrées d'eau à l'origine des submersions.

La variation du niveau de la mer imposée par le cycle de marée a en effet eu pour conséquence de limiter à quelques heures la durée pendant laquelle les niveaux d'eau ont été suffisants pour engendrer des entrées d'eau. Il en résulte que la dynamique de la submersion a joué un rôle très important sur les hauteurs d'eau relevées sur les territoires. Ainsi, la présence de zones d'écoulements préférentiels, telles que des étiers ou des secteurs de basse altitude, ou au contraire la présence d'obstacles à l'écoulement, ont entraîné une grande variabilité dans les hauteurs des laisses de submersion, parfois géographiquement très proches.

En particulier, certaines laisses de submersion apparaissant sur les cartes de synthèse montrent des altitudes bien plus faibles que les niveaux relevés par les marégraphes. Il peut s'agir suivant les cas de laisses relevées à une distance éloignée du trait de côte et/ou situées dans une cuvette topographique en arrière du système de protection qui « n'a pas eu le temps de se remplir ».

Commune et source de la donnée	Altitude maximale des laisses de submersion
Saint-Molf : (DDTM44)	4,11 m NGF
Saint-Nazaire :(DDTM44)	4,17 m NGF
Corsept : (DDTM44)	4,20 m NGF
Lavau-sur-Loire : (DDTM44)	4,18 m NGF
Saint-Brévin : (DDTM44)	4,09 m NGF
Pornic :(DDTM44)	4,38 m NGF
Port de Noirmoutier-en-l'île : (CC Noirmoutier)	4,30 m NGF
La Tranche-sur-mer : (DDTM85)	4,64 m NGF
La Faute-sur-Mer, estuaire du Lay (DDTM85) :	4,53 m NGF
L'Aiguillon-sur-Mer, estuaire du Lay(DDTM85)	5,04 m NGF

Tableau 2: Hauteurs maximales des laisses de submersion

## 2.4 - Caractérisation des submersions marines

### 2.4.1 - Méthodologie

#### 2.4.1.a - Extension spatiale

La cartographie des submersions a fait l'objet d'un long travail de recueil et d'analyse des informations disponibles. Celle-ci a donc été réalisée par un processus itératif, au fur et à mesure de l'intégration des données collectées tout au long de l'étude.

Les **images satellite** (2 et 4 mars dans la Baie de l'Aiguillon et à la Faute et 7 mars dans la baie de Bourgneuf) ont permis de déterminer un premier périmètre de zones submergées.

Cette première cartographie a ensuite été complétée (illustration 11) par l'exploitation des **photos aériennes** prises par la DREAL Pays de la Loire et qui couvrent la quasi-totalité du linéaire littoral régional. Celles-ci permettent l'identification de terrains inondés (au 3 et 4 mars) avec une plus grande précision, mais requièrent un temps d'analyse relativement long, en raison de difficultés dans la détermination de la position et de l'orientation de la prise de vue.

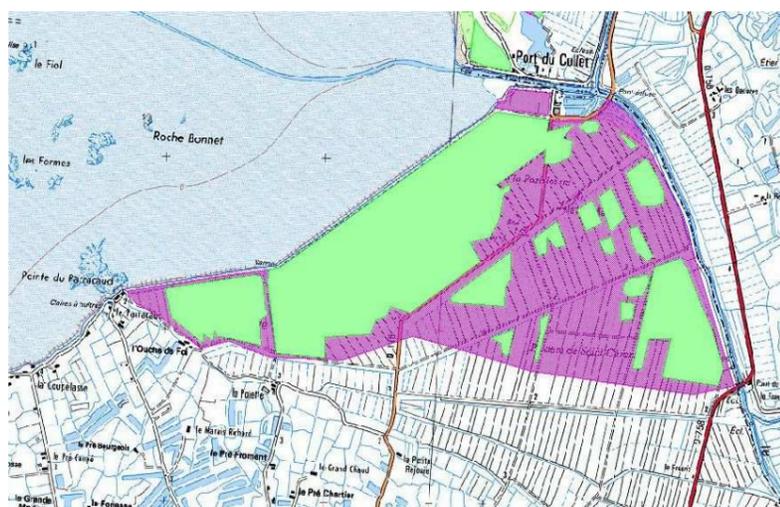


Illustration 11 : Bouin, Vendée : zones inondées déduites des photographies obliques (rose) et déduites des images satellites (vert)

Les données fournies par les **arrêtés de Catastrophe Naturelle** apportent des informations sur les dégâts provoqués par la submersion marine sur les constructions. La localisation des dégradations en lien avec la submersion (illustration 12) fournit donc également des précisions sur l'étendue des zones submergées.

L'exploitation des vidéos, des images et articles de presse a également contribué à la connaissance de la submersion et des dégâts engendrés.

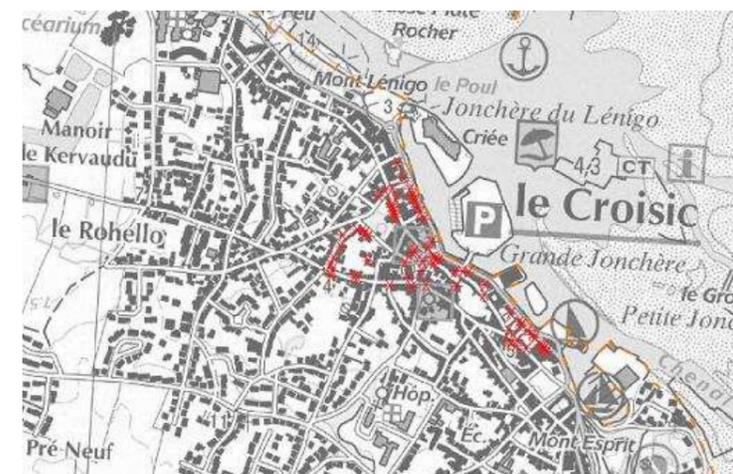


Illustration 12 : Le Croisic, Loire-Atlantique : Déclarations de catastrophe naturelle - DDTM44

La carte des zones submergées a par ailleurs été largement enrichie par les données transmises par les partenaires locaux tels que CAP Atlantique, le GIP Loire-Estuaire, la communauté de communes de Noirmoutier et l'ONF, qui ont produit des cartographies de la submersion sur leurs territoires respectifs.

Enfin, des **enquêtes** ont été réalisées auprès des **communes littorales**. Le recueil des informations s'est effectué au cours d'entretiens en mairie ou alors par échanges de courriers, ce qui a permis d'affiner les contours de l'enveloppe de la submersion et d'intégrer la micro-topographie.

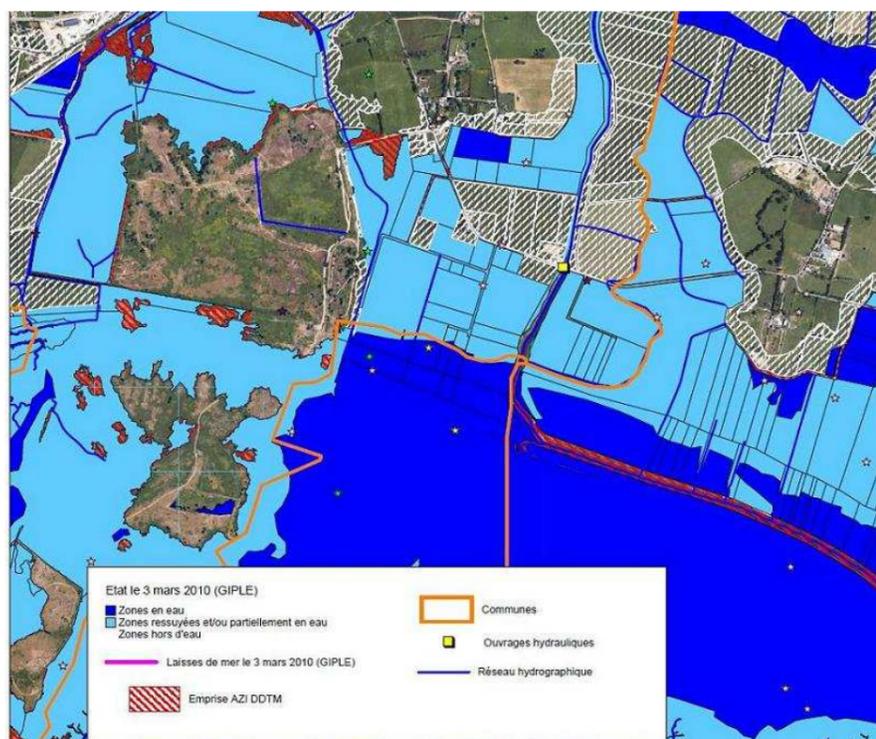


Illustration 13 : La Chapelle-Launay, Loire-Atlantique : cartographie de la submersion - GIP Loire-Estuaire

#### 2.4.1.b - Détermination des origines de la submersion

Les causes habituelles d'entrées d'eau lors de submersions marines sont les suivantes (illustration 14) :

- le débordement (ou surverse) : lorsque le niveau marin est plus élevé que l'ouvrage ou le terrain naturel, l'eau passe par dessus et inonde les terrains situés en arrière ;
- le franchissement par paquets de mer : le déferlement des vagues contre un ouvrage permet à l'eau de passer au dessus de celui-ci ;
- la formation de brèches : la rupture d'une protection naturelle (cordon dunaire) ou artificielle permet l'entrée d'eau dans les espaces situés en arrière.

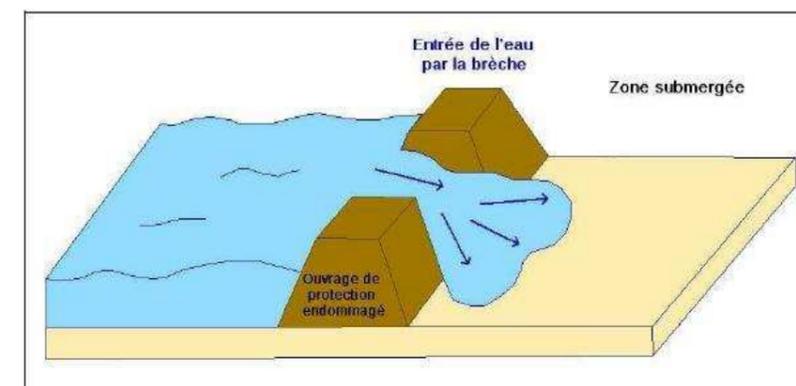
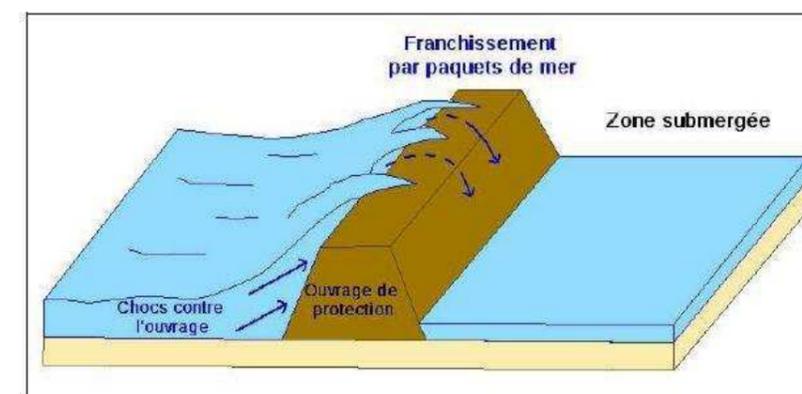
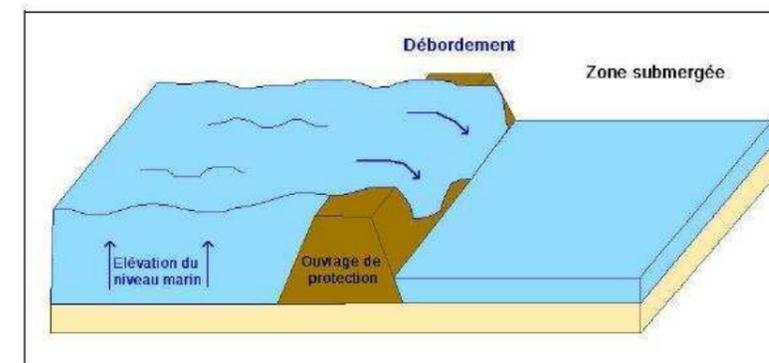


Illustration 14 : Les trois causes de submersion

Ces différents types d'entrée d'eau ont effectivement été constatés sur le trait de côte des deux départements.

Les relevés de terrain ainsi que les témoignages locaux ont permis de relever la présence de brèches ainsi que des traces de surverses. D'autre part, le Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu du programme Litto3d a également permis de déterminer les sections les plus basses du système de protection (illustration 15) et d'en déduire la localisation de secteurs de surverse dans les endroits où l'on ne disposait pas de témoignages.



Illustration 15 : Visualisation des sections inférieures à 4m NGF du système de protection (Port du Collet, Loire-Atlantique)

Au delà de l'identification des entrées d'eau, la submersion se caractérise par sa progression dans l'intérieur des terres. Celle-ci est dépendante des spécificités topographiques du terrain, telles que la présence de digues de rang secondaire ou de zones dépressionnaires. Elle dépend également de la présence d'un réseau hydraulique secondaire ainsi que d'ouvrages hydrauliques (illustration 16). Le réseau hydraulique a été localisé avec le MNT litto3D, l'orthophotographie et les cartes IGN au 1/25000.

Ces différentes configurations locales ont joué un rôle déterminant pour l'extension de la submersion dans les terres, qui varie suivant les endroits de quelques mètres à plusieurs kilomètres.

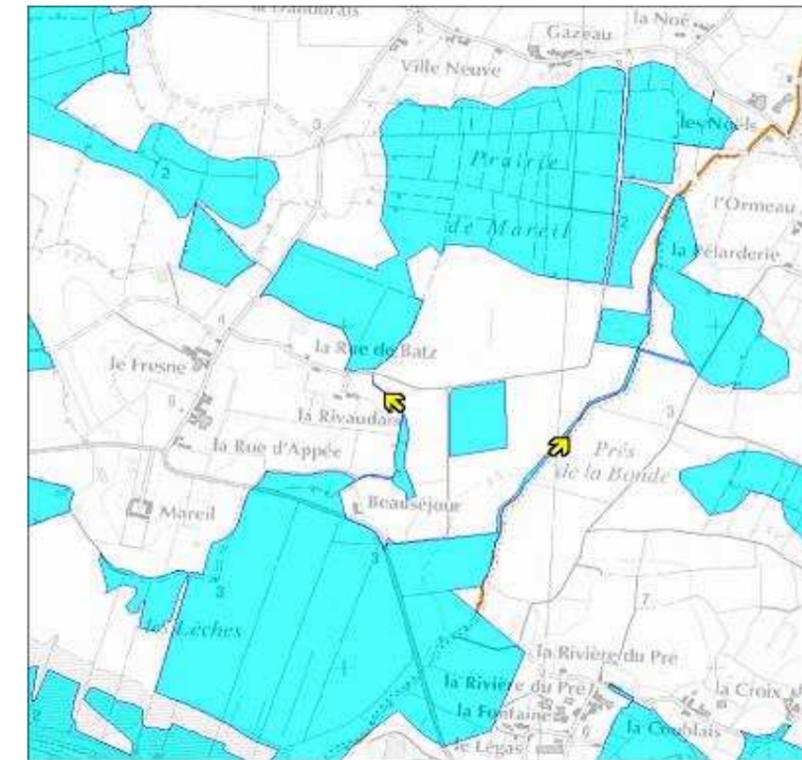


Illustration 16 : Remontée de la submersion dans le réseau hydraulique secondaire (Estuaire de la Loire)

## 2.4.2 - Synthèse par unité géographique

### *Marais du Mès (communes d'Assérac, Mesquer et Saint-Molf)*

Les marais du Mès ont été submergés sur des surfaces importantes. De nombreux dégâts ont été relevés dans les exploitations salines et ostréicoles. Les digues maritimes, qui présentent une altitude assez basse, par endroits inférieures à 3,60 m NGF, ont subi des surverses sur de larges secteurs, entraînant la formation de nombreuses brèches qui ont augmenté les volumes d'eau entrants. La submersion s'est ensuite propagée par écoulement d'eau dans les étiers et débordement des bassins d'exploitation qui ont joué le rôle de casiers hydrauliques successifs. Ce mécanisme a eu un effet retardateur, qui combiné au cycle de marée, explique que les zones basses du littoral n'aient pas été submergées dans leur totalité.

### *Marais de Guérande*

Le secteur du bassin de Guérande a été touché plus fortement que celui du marais du Mès, situé plus au nord. Le secteur submergé peut être principalement divisé en deux parties distinctes. A l'ouest, les marais ont été submergés par les entrées d'eau qui se sont produites par les digues maritimes dans la baie du Croisic. A l'est, la remontée d'eau dans l'étier du Pouliquen a entraîné des submersions dans la zone urbanisée, ainsi que dans les marais situés plus en amont.

La propagation à l'intérieur des terres de la submersion est ici semblable à celle constatée dans les marais du Mès : débordement des digues maritimes avec pour corollaire la formation de brèches, écoulement par le réseau des étiers et submersion des casiers hydrauliques successifs. De même la totalité des zones basses n'a pas été submergée.

A la pointe du Croisic, des submersions se sont produites par débordement des protections, sur de plus faibles surfaces, mais en zone urbanisée.

#### *Estuaire de la Loire*

A l'entrée de l'estuaire, des submersions se sont produites dans des zones urbanisées de Saint-Brévin et Saint-Nazaire, à la suite du débordement en rive du fleuve.

Plus en amont dans l'estuaire, la submersion a touché la quasi-totalité des rives et s'est étendue dans les marais jusqu'à plusieurs kilomètres. De manière analogue à ce qui s'est produit dans les marais du nord du département, la propagation de la submersion a été favorisée par la remontée d'eau dans le réseau hydraulique secondaire, destiné à la gestion hydraulique des marais.

#### *Nord de la baie de Bourgneuf*

La submersion a essentiellement touché le territoire de Moutiers-en-Retz, au niveau du bourg et au niveau du port du Collet.

Les entrées d'eau se sont produites en raison d'un niveau d'eau supérieur à la cote du cordon dunaire au niveau du bourg et à celui des rives du port.

De nombreuses dégradations ont été relevées. La submersion au port du Collet s'est accompagnée de vitesses d'écoulement importantes, qui ont causé de fortes dégradations sur la voirie et sur les bâtiments. Dans une moindre mesure, des dégradations ont également été relevées sur les bâtiments au niveau du bourg.

#### *Sud de la baie de Bourgneuf-Noirmoutier*

Du port du Collet jusqu'à la Barre-de-Monts, la quasi-totalité de la façade littorale a été touchée par des submersions, formant une bande de territoire de largeur très variable, d'une centaine de mètres jusqu'à plusieurs kilomètres dans le cas de la commune de Beauvoir-sur-Mer. Les entrées d'eau ont été consécutives au débordement des ouvrages en de nombreux secteurs et à la formation de brèches. La progression dans les terres a été conditionnée par la présence d'étiers.

Sur l'île de Noirmoutier, les submersions concernent principalement les communes de l'Épine et de Noirmoutier-en-l'Île, à la fois dans des secteurs de marais et dans des secteurs urbanisés (port du Boucaud), et se sont produites à la suite de la surverse du système de protection.

#### *Du Goulet de Fromentine jusqu'à Longeville-sur-Mer*

Le marais des communes de Talmont-Saint-Hilaire et Jard-sur-mer a été le lieu d'une submersion par remontée d'eau dans l'étier d'alimentation principal.

Sur le reste du littoral, des secteurs de surverse ont entraîné des submersions plus localisées, mais touchant parfois des zones urbanisées à Saint-Hilaire-de-Riez et Brétignolles-sur-Mer.

#### *Littoral du Pertuis Breton*

Les submersions se sont produites sur trois secteurs hydrauliques distincts.

A l'extrémité nord du secteur, les entrées d'eau suite aux brèches et zones de surverse dans le cordon dunaire ont entraîné la submersion de la lagune de la Belle-Henriette et ont inondé les habitations les plus proches.

La propagation de l'onde de marée dans l'estuaire du Lay a engendré de nombreux secteurs de débordements, qui ont eu pour résultat la submersion d'une partie très importante des bourgs de L'Aiguillon-sur-Mer et La Faute-sur-Mer. Un quartier, formant une cuvette topographique et situé immédiatement en arrière de la digue de protection a subi une submersion particulièrement violente, tant en terme de hauteur d'eau que de vitesse de montée des eaux.

Enfin, les terres agricoles des polders du marais Poitevin ont été submergées sur des surfaces très importantes. Les digues de protection de premier rang, qui ont été surversées sur la quasi-totalité de leur linéaire et ont subi de nombreuses brèches ont laissé passer des volumes d'eau extrêmement importants. A l'intérieur des terres, de nombreux rangs de digues historiques (construites au fur et à mesure du temps pour gagner des terrains sur la mer), présentant des altitudes inférieures aux protections en contact avec la mer ont été franchies. Le réseau des canaux d'alimentation des marais a également joué un rôle déterminant dans les secteurs les plus éloignés du trait de côte.

Si peu d'habitations ont été touchées dans les marais, les conséquences ont été très élevées pour l'agriculture, en raison de la salinisation des terres agricoles et de la noyade d'une partie du cheptel.

Les illustrations 17 à 23 représentent l'extension de la submersion sur les différentes zones du littoral des Pays de la Loire, en allant du nord au sud.



Illustration 17 : Submersions en Loire-Atlantique (des marais du Mès à l'estuaire de la Loire)

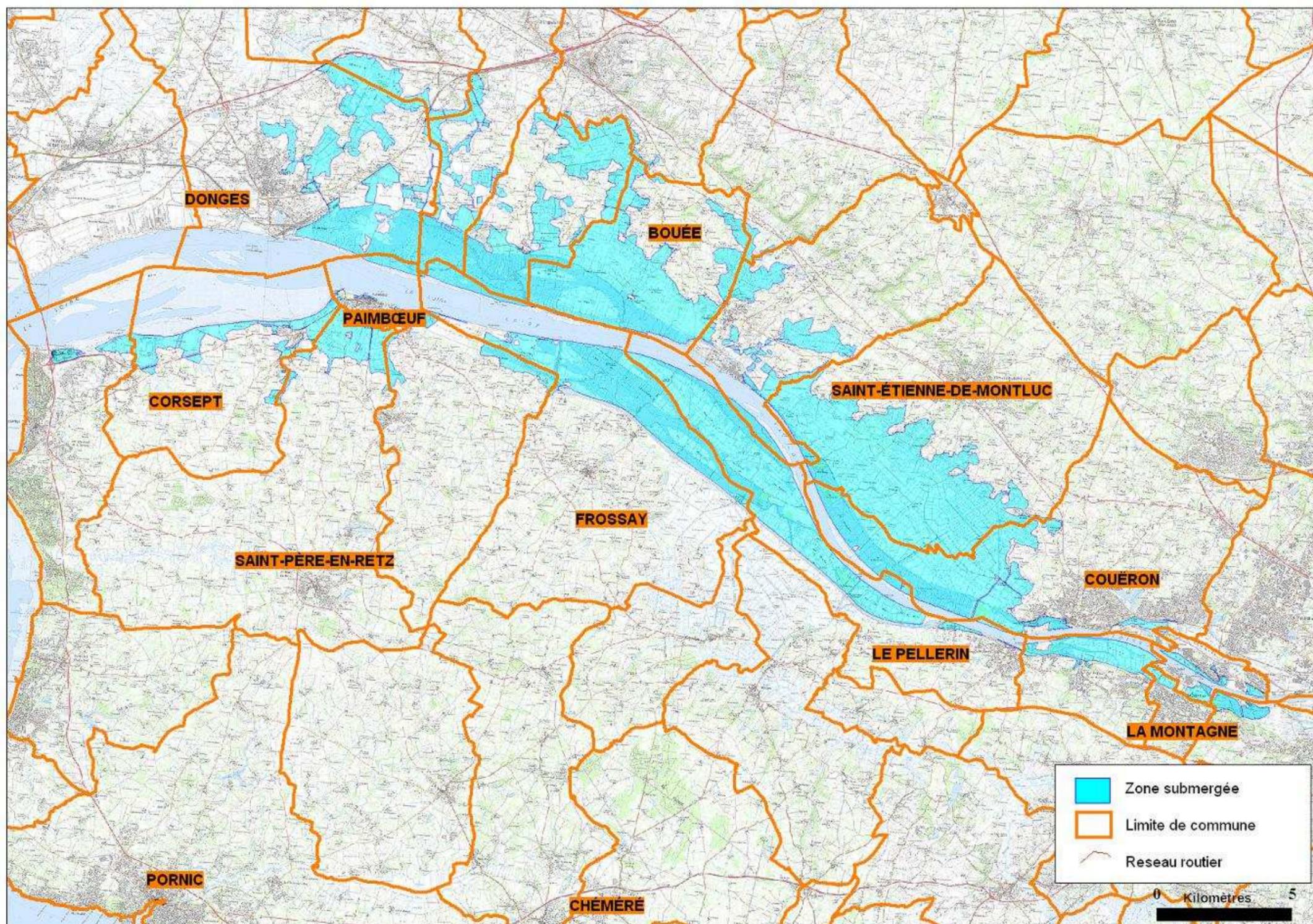


Illustration 18 : Submersions en Loire-Atlantique (estuaire de la Loire)

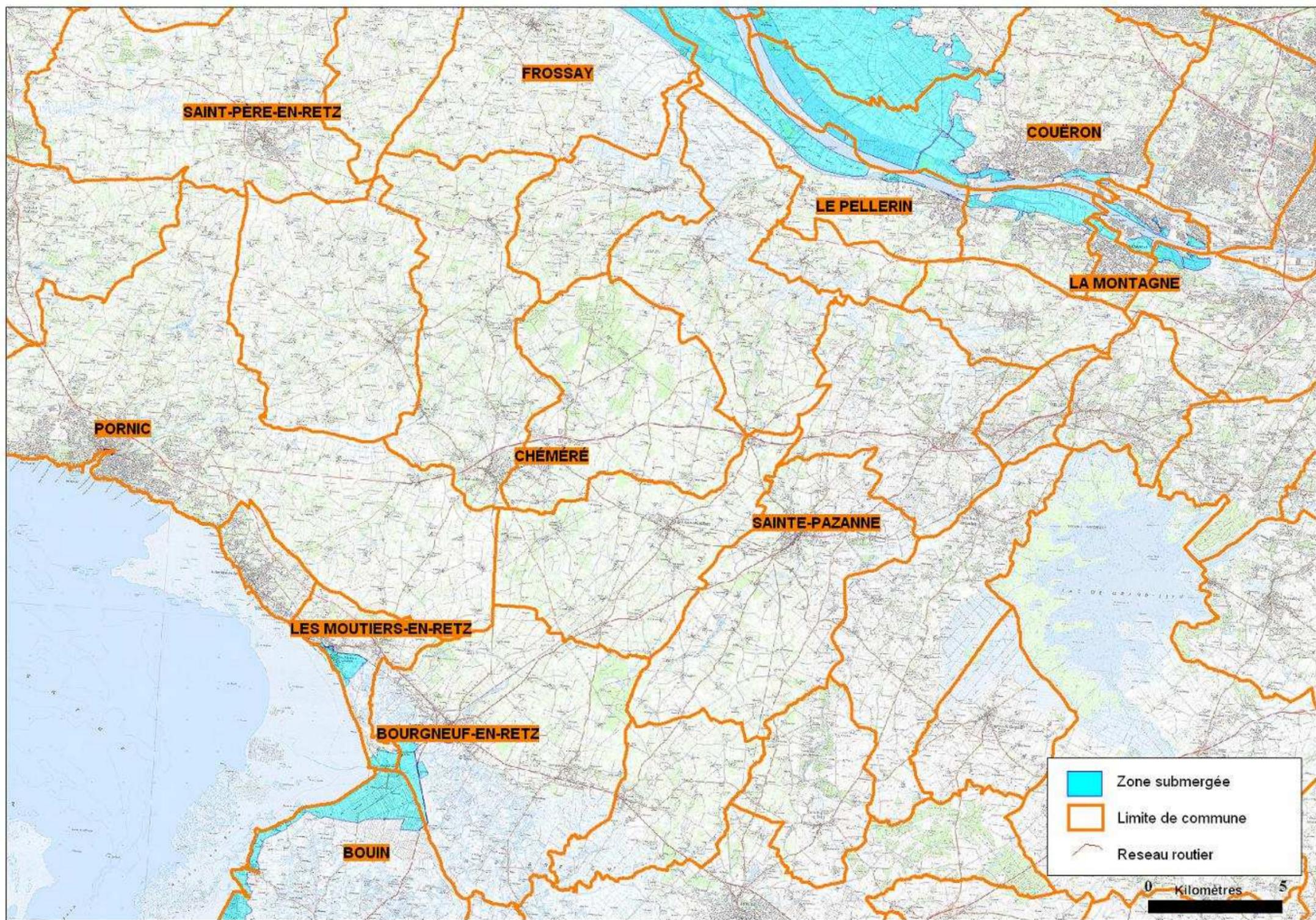


Illustration 19 : Submersions en Loire-Atlantique (baie de Bourgneuf)

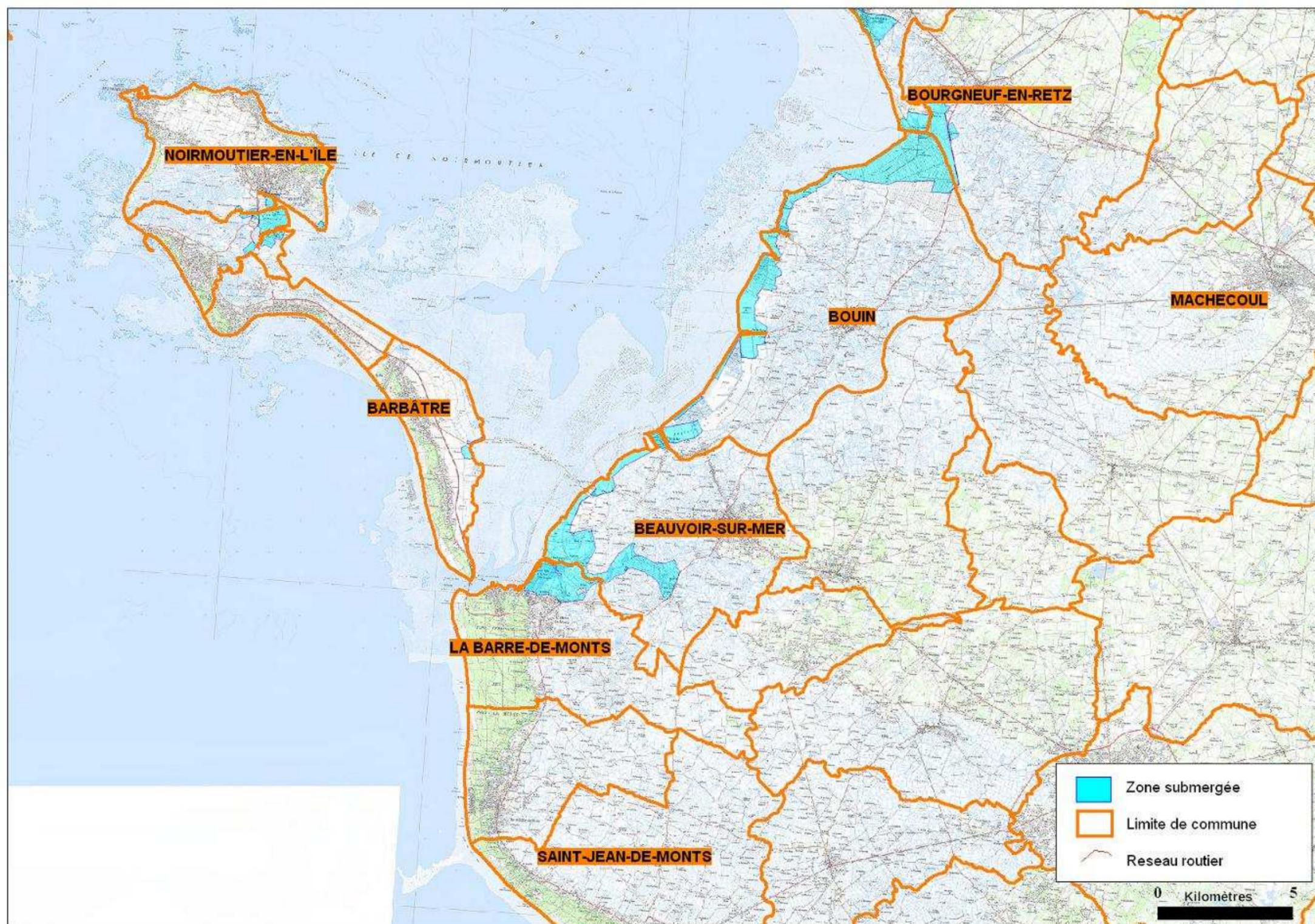


Illustration 20 : Submersions en Vendée (baie de Bourgneuf et Noirmoutier)

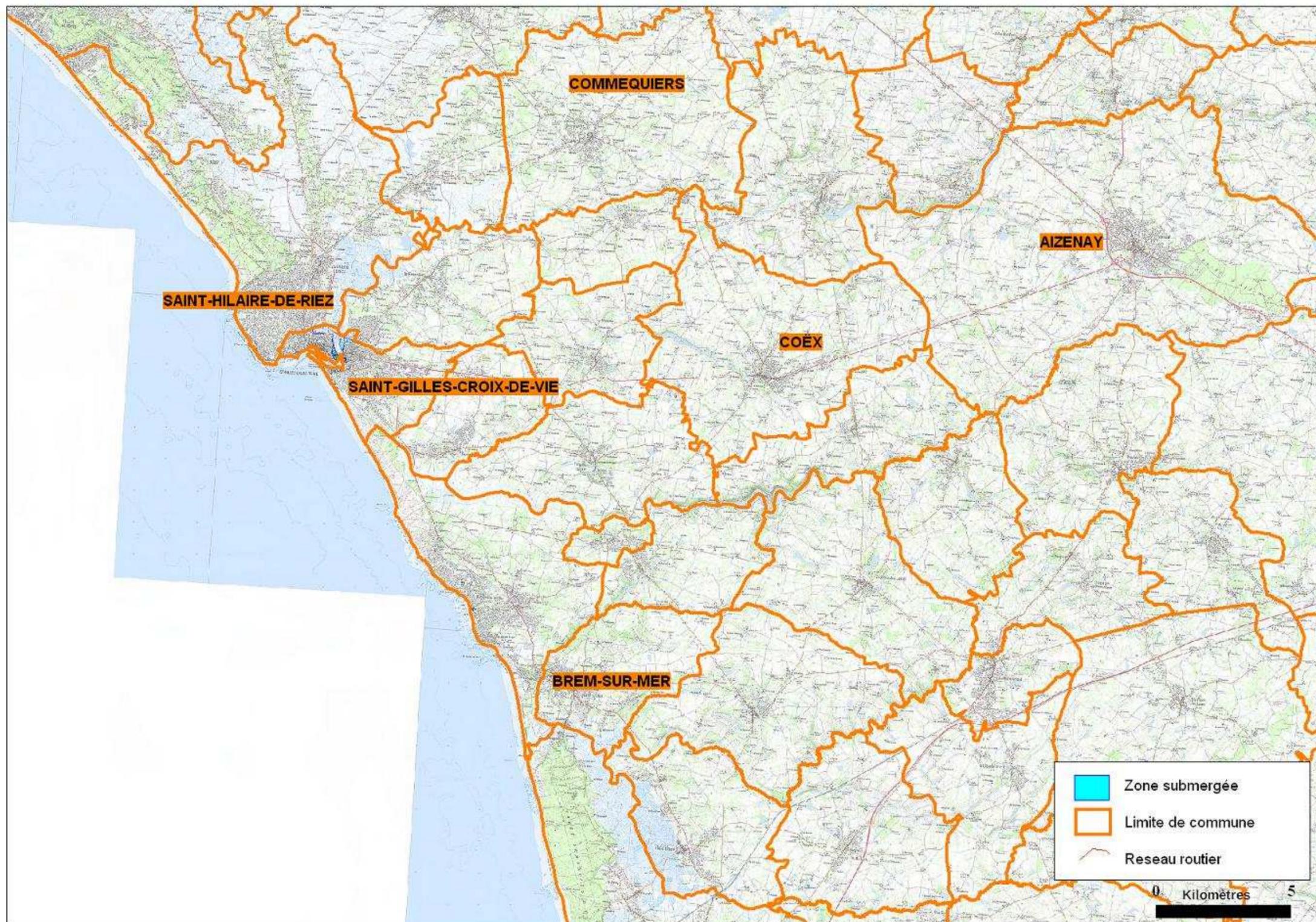


Illustration 21 : Submersions en Vendée (de Brétignolles-sur-Mer à Saint-Vincent-sur-Jard)

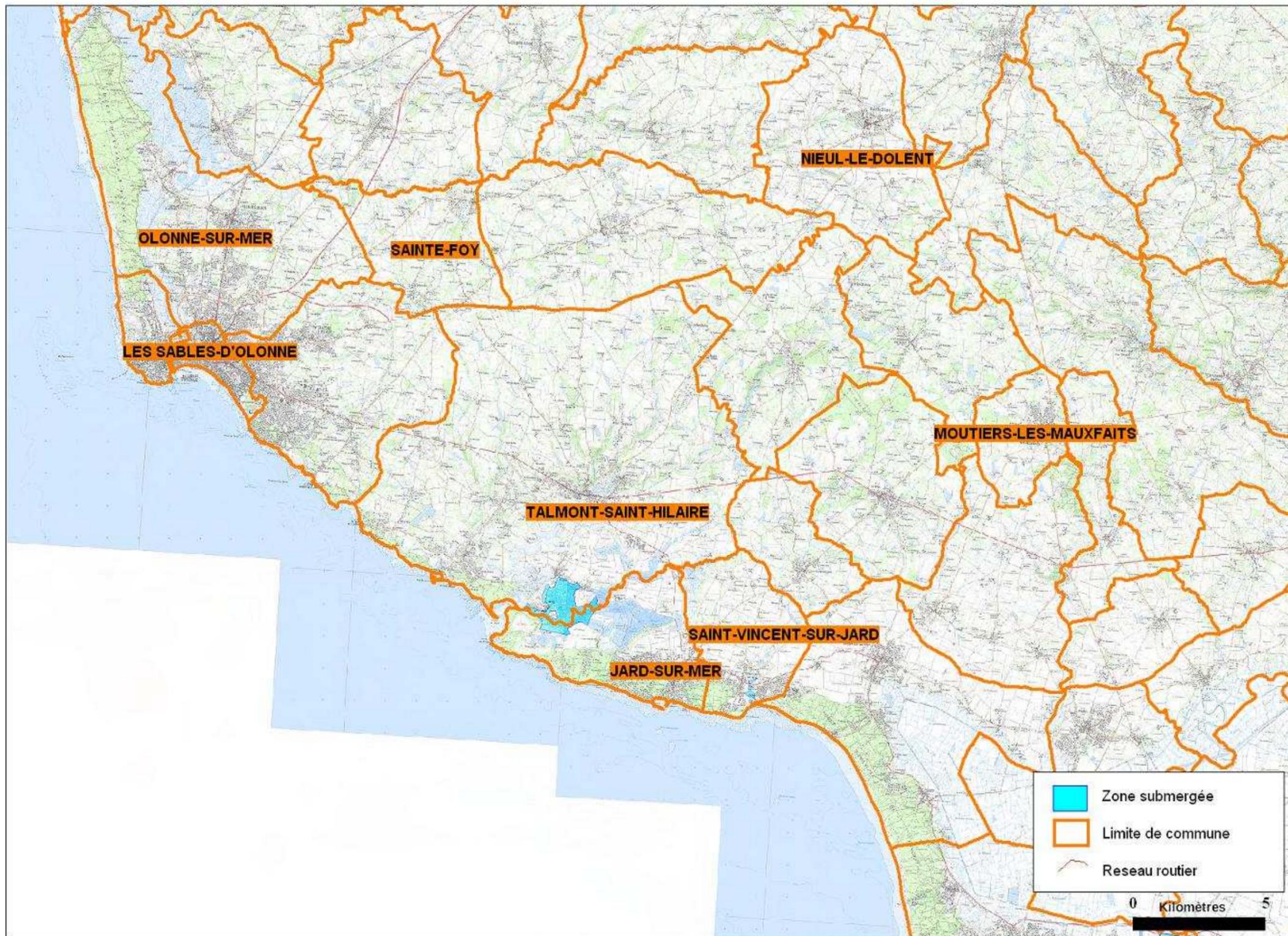


Illustration 22 : Submersions en Vendée (de Saint-Jean-de-Monts à Brétignolles-sur-Mer)

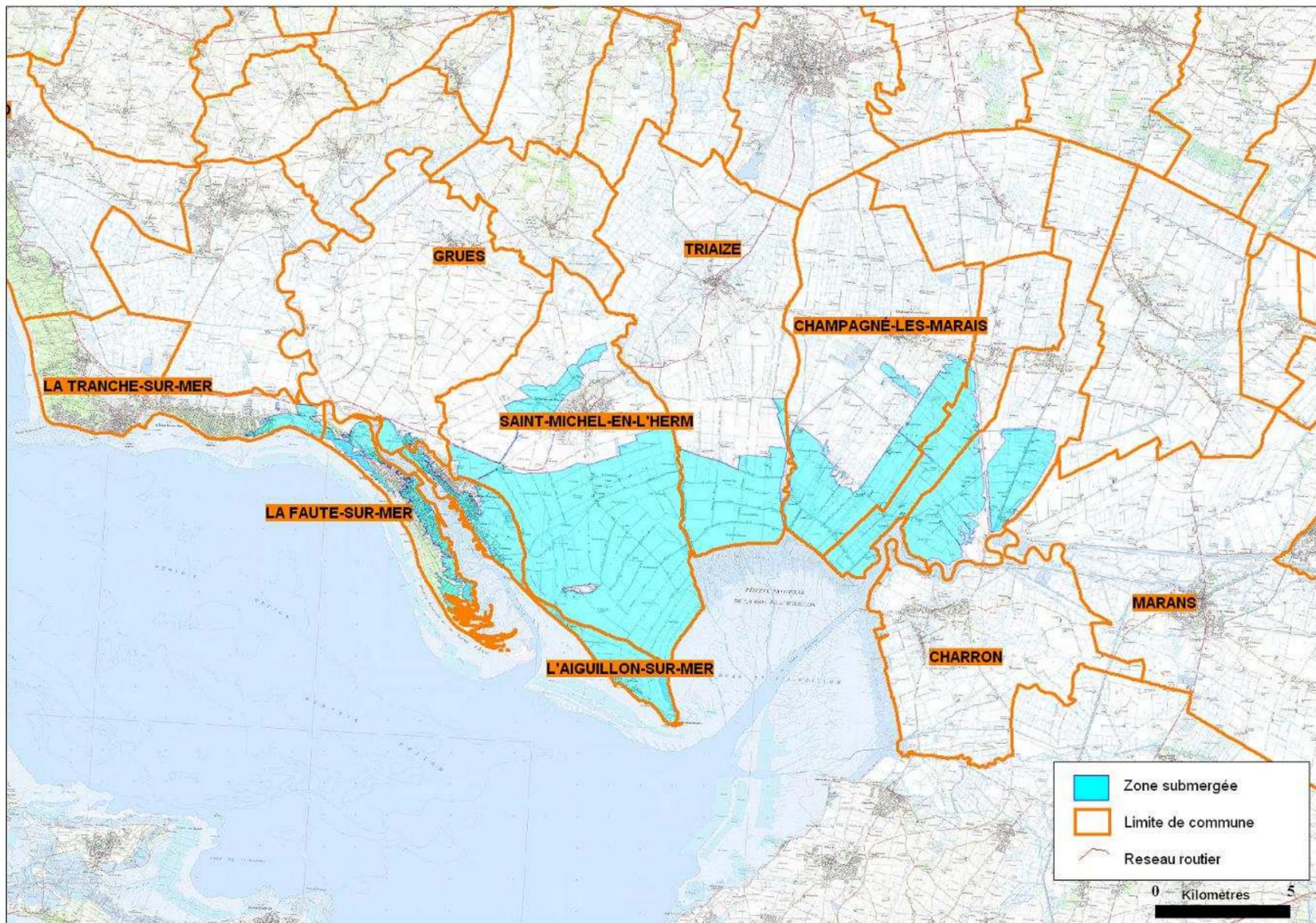


Illustration 23 : Submersions en Vendée sud (de la Tranche-sur-Mer à la Sèvre Niortaise)

### 2.4.3 - Analyse critique

Les données utilisées ainsi que les méthodes mises en œuvre sont associées à un niveau de fiabilité et de précision qui doit être pris en compte avant toute exploitation de la caractérisation de la submersion qui en est déduite.

Les photos aériennes ainsi que les images satellites correspondent à un état des lieux établi plusieurs jours après le passage de la tempête. Elles ne fournissent d'information que pour les secteurs dans lesquels l'eau n'a pas pu s'évacuer rapidement une fois passé le pic de marée haute. De plus, il n'est pas toujours aisé de discriminer les secteurs sensibles aux inondations terrestres déjà en eau au moment de la tempête. C'est le cas par exemple de l'estuaire de la Loire.

Les données fournies par les témoins, bien que très riches et parfois uniques informations sur certains secteurs, présentent des limites au regard du facteur humain, tant en terme de fiabilité que de précision. L'existence de plusieurs sources concordantes a été recherchée car elles permettent, le cas échéant, d'augmenter la qualité des données.

Les laisses de submersion, parfois nombreuses dans certains secteurs, ont donné de précieuses informations sur les caractéristiques de la submersion. Toutefois il a été constaté des disparités importantes en terme d'altitude atteinte, y compris pour des emplacements peu éloignés les uns des autres. Cette constatation a conduit à limiter l'utilisation des courbes de niveau pour affiner avec précision les contours de la submersion.

Les données issues de la campagne Litto3d, réalisée 18 mois après la tempête, ne font plus apparaître les points faibles du système de protection dans les secteurs où celui-ci a fait l'objet de travaux de réparation.

Pour le secteur de La Faute-sur-Mer et L'Aiguillon-sur-Mer, le MNT utilisé pour estimer les entrées d'eau par surverse est celui réalisé par photogrammétrie avant la tempête, pour les premières études préparatoires au Plan de Prévention des Risques Submersion.

L'étude des vidéos relatives à la tempête peut apporter des informations très localisées mais il est bien souvent difficile de les situer. Il en est de même pour les photographies (de particuliers ou de presse). Leur existence est toutefois précieuse, puisqu'une exploitation optimale pourrait par la suite être réalisée par les acteurs locaux ayant une connaissance très fine du terrain.

De la même manière, les articles de presse, très nombreux, apportent également des précisions sur le déroulement des événements lors de la tempête, mais restent peu précis quant à la localisation précise de la donnée.

## 2.5 - Les dommages subis par les systèmes de protection

Les effets de la tempête Xynthia sont à l'origine de plus de 1100 désordres (Romain, 2011) sur l'ensemble du trait de côte, naturel ou anthropique, de la région Pays de la Loire.

Le département de Loire-Atlantique a subi des dégâts beaucoup moins destructeurs qu'en Vendée alors qu'au niveau du nombre de désordres, les deux départements sont assez proches. La Loire-Atlantique, moins impactée par la tempête (zone située en bordure de l'axe de la dépression), possède en outre un linéaire important de côte rocheuse (37% du linéaire côtier) et relativement peu d'ouvrages anthropiques de protection du littoral (environ 16% du linéaire côtier).

Le littoral vendéen en revanche, situé dans l'axe de la dépression, a subi de plein fouet la tempête. Possédant moins de côte rocheuse (23% du linéaire côtier) et plus d'ouvrages de protection des côtes meubles (27% du linéaire), il a été logiquement plus impacté par les effets de la tempête.

Les ouvrages littoraux sont classés en deux familles: les ouvrages de protection et les ouvrages d'aménagement.

**Les ouvrages de protection** jouent un rôle contre l'érosion du trait de côte et/ou la submersion marine ou contre l'agitation de l'eau. Ils peuvent être implantés parallèlement au trait de côte (ouvrages longitudinaux de type digue, mur, brise-lames, etc.) ou perpendiculairement (ouvrages transversaux de type épi par exemple). Les structures de protection peuvent être d'origine anthropique ou naturelle (cordons dunaires ou de galets par exemple).

**Les ouvrages d'aménagement** ne jouent en règle générale pas de rôle de défense contre la mer, même si dans certains cas ils peuvent en faire office. Tous d'origine anthropique, il peut s'agir d'accès à la plage (cale par exemple), d'ouvrages hydrauliques (vannes, écluses, etc.), de bâtiments, de limites de propriétés, etc.

Quelle que soit leur famille, les ouvrages littoraux ont subi des dégâts importants lors de Xynthia.

Outre les ouvrages situés directement sur le trait de côte, les ouvrages de protection des marais rétro-littoraux (polders de la baie de l'Aiguillon, marais de Guérande ou du Mès, etc.) ont été également impactés, soit directement après submersion du premier rideau de protection, soit indirectement par montée des eaux dans les estuaires et les étiers.

En préambule à la description et à l'analyse des désordres sur ouvrages et de leurs mécanismes (cf. chapitre 2.5.2), la typologie des ouvrages rencontrés sur le littoral des Pays de la Loire est rappelée dans le chapitre 2.5.1. Cette typologie reprend celle établie par le CETMEF en 2009 dans la notice méthodologique pour le recensement des ouvrages de protection contre les aléas côtiers ; pour ce retour d'expérience, sont présentés uniquement les ouvrages, de protection et d'aménagement, ayant subi des désordres lors de Xynthia ou dont le dysfonctionnement est à l'origine d'une submersion des terres en arrière<sup>1</sup>. Dans ce même chapitre, sont également décrites les structures naturelles (falaises rocheuses, cordons dunaires) faisant office de protection du littoral.

<sup>1</sup> Ainsi, pour les ouvrages de protection, ne sont pas présentés dans ce chapitre les brise-lames, les drainages de plage, les rechargements et les by-pass, ni tout autre ouvrage expérimental. Pour les ouvrages d'aménagement, ne sont pas présentés les ouvrages de signalisation.

## 2.5.1 - Description des structures

### 2.5.1.a - Les structures naturelles

#### Les côtes à falaises

Ces côtes sont caractérisées par la présence d'un versant rocheux plus ou moins pentu, constitué de matériaux grossiers.

Le versant est appelé falaise lorsque sa pente est verticale voire quasi-verticale (illustration 24).



Illustration 24 : Falaise rocheuse (Château-d'Olonne, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85

Le versant ou la falaise peut, si sa hauteur est suffisante par rapport à l'événement, protéger l'arrière pays d'une submersion marine ; en fonction du type de roche qui le constitue (roche tendre ou dure), des conditions morpho-structurales et des processus d'érosion subaériens et marins se produisant localement, le versant ou la falaise peut également jouer un rôle contre l'érosion côtière. Toutefois, l'érosion d'une falaise ou d'un versant rocheux est inéluctable à terme.

Ces massifs rocheux peuvent, en fonction des enjeux, être aménagés par l'homme dans un objectif de fixation du trait de côte ou de protection contre les submersions et l'érosion côtière. A cet effet, divers dispositifs anthropiques (décrits dans le chapitre 2.5.1.b) peuvent être mis en place : cordons d'enrochements en pied, parapet en crête, revêtement par un perré, stabilisation par un mur, etc.

#### Les côtes basses meubles

Ces côtes sont sableuses ou sablo-vaseuses, en fonction du type de sédiments qui s'y accumulent.

Sur le littoral des Pays de la Loire, les protections naturelles de défense contre la mer associées à ces côtes meubles sont les dunes (ou cordons dunaires), constituées d'une accumulation de sable (illustration 25).

Deux types de dunes sont classiquement distinguées :

- **Dunes de première ligne** : en forte interaction avec la plage, elles évoluent au gré des saisons et des événements climatiques : engraissement sous conditions météo-marines clémentes, démaigrissement voire érosion brutale (création de falaises d'érosion, illustration 26) sous conditions météo-marines dégradées (automne-hiver généralement) ou lors d'épisodes tempétueux ;
- **Dunes secondaires** : elles se forment par remaniement éolien de dunes de première ligne.

En fonction des enjeux, les cordons dunaires peuvent être protégés de l'action de la mer. Deux types de techniques sont utilisées :

- **Les techniques « rigides »**, par la construction en pied de dune d'ouvrages longitudinaux de protection qui fixent le trait de côte : murs, perrés, cordons d'enrochements, etc. ;
- **Les techniques « souples »**, basées sur le concept de résilience côtière, qui intègrent la dynamique naturelle du littoral et la mobilité du trait de côte : rechargement de plage, confortement dunaire, drainage de plage, etc.

Les cordons dunaires représentent un peu plus de 30% du trait de côte de la Vendée, alors qu'ils ne représentent que 7% en Loire-Atlantique.



Illustration 25 : Dune de première ligne protégée par des ganivelles (Saint-Hilaire-de-Riez, Vendée) – CETEO-LRA



Illustration 26 : Falaise d'érosion dunaire et loupe de glissement sur dune de première ligne (Saint-Gilles-Croix-de-Vie, Vendée) - BRGM

### 2.5.1.b - Les ouvrages de défense contre la mer

Ces ouvrages de défense sont, pour la plupart, mis en place pour soutenir et/ou protéger de l'action de la mer les côtes naturelles, qu'elles soient rocheuses ou meubles.

Pour certains d'entre eux, ils n'ont pas de fonction de soutènement et ne sont pas adossés à la côte ; leur vocation dans ce cas est soit d'empêcher toute submersion en arrière de l'ouvrage (cas de certaines digues), soit d'avoir une action sur l'évolution sédimentaire et morphologique de l'espace littoral (cas des épis).

#### Les murs

Ces ouvrages longitudinaux permettent de soutenir le trait de côte, que celui-ci soit rocheux ou meuble (illustrations 27 et 28). Ils possèdent une pente côté mer très prononcée, sub-verticale à verticale.

Ils ont très souvent une fonction de protection contre les submersions, puisqu'ils sont couramment dotés d'un couronnement destiné à empêcher la projection de paquets de mer en arrière de l'ouvrage.

Leurs matériaux constitutifs sont principalement le béton (illustration 27) ou la maçonnerie (illustration 28).

Très sensibles aux affouillements en pied, ils sont souvent protégés à ce niveau par des aménagements type enrochements, palplanches ou bêche.

En Vendée, 5% du linéaire côtier est constitué par des murs, contre moins de 2% en Loire-Atlantique.



Illustration 27 : Mur béton de protection de côte meuble (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 28 : Mur-poids en maçonnerie de protection de côte meuble (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

#### Les perrés

Les perrés sont également des ouvrages de protection longitudinaux, leur fonction est de maintenir le trait de côte et, s'ils sont dotés d'un couronnement, d'empêcher la submersion. Les terrains protégés peuvent être meubles ou rocheux (Illustration 29, ils sont le plus souvent aménagés en arrière de l'ouvrage).

Contrairement aux murs, ils n'agissent pas sur la stabilité des terrains qu'ils protègent. Leur pente est plus douce, tout en restant généralement supérieure à 30°.

Leurs matériaux constitutifs peuvent être le béton (illustration 30), la maçonnerie (illustration 31) ou des enrochements.

Comme les murs, ils sont sensibles aux affouillements en pied et sont souvent accompagnés d'une protection à ce niveau.

Les perrés constituent 35% du linéaire côtier en Loire-Atlantique contre 25% en Vendée.

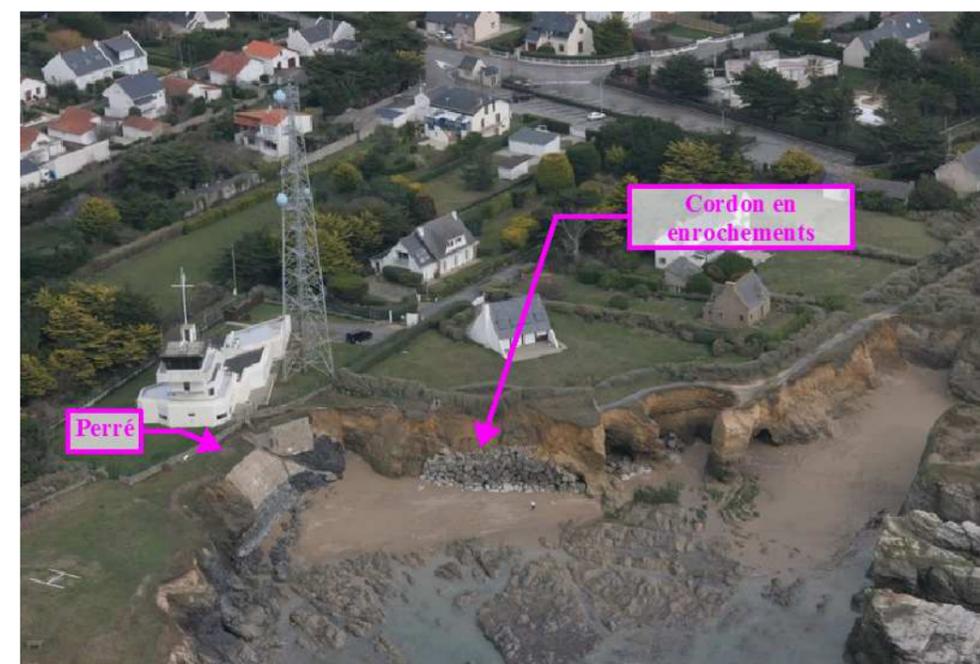


Illustration 29 : Protections de type perré et cordon en enrochements sur côte rocheuse (Piriac-sur-Mer, Loire-Atlantique) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 30 : Perré en béton (Les Sables-d'Olonne, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 31 : Perré en maçonnerie (Les Sables-d'Olonne, Vendée) - CETEO-LRA

### Les cordons

Ouvrages longitudinaux, ils sont destinés à protéger de l'érosion le terrain naturel situé en haut de plage, qu'il soit rocheux (falaise, illustration 29) ou meuble (illustration 32).

Pour être efficaces, ils doivent être normalement composés d'enrochements et mis en œuvre en suivant des règles de dimensionnement précises ; dans de nombreux cas, ils sont composés de matériaux divers (gravats, déchets inertes, etc.) et sont mis en place sans dimensionnement ni suivi, ce qui diminue leur utilité.

La plupart des cordons en enrochements rencontrés sur le littoral des Pays de la Loire sont en fait des protections de pied d'ouvrages anthropiques et ne constituent donc pas des ouvrages de défense au sens strict ; ceux-ci représentent moins de 2% des ouvrages rencontrés en Loire-Atlantique et Vendée.



Illustration 32 : Cordon en enrochements en protection de dune de première ligne (L'Épine, Vendée) - CETEO-LRB

### Les digues

Classiquement, en fonction de leur usage, deux types de digues doivent être distinguées.

Les jetées se rencontrent fréquemment en zone portuaire (illustration 33). Il peut s'agir d'ouvrages transversaux ou longitudinaux, attachés au rivage par au moins une extrémité.

Les digues de **protection contre la submersion** sont des ouvrages longitudinaux situés soit sur le trait de côte, soit en arrière-côte, qui ont vocation à protéger des enjeux en cas de rupture des ouvrages de première défense contre la mer. Certains remblais d'infrastructure, non conçus à cet effet, peuvent avoir également une fonction de protection contre la submersion (illustration 34).

Ces deux types de digues se rencontrent en Pays de la Loire, ainsi qu'un troisième type, spécifique aux activités liées à la mer. Il s'agit des digues délimitant les casiers des marais salants ou des parcs ostréicoles. Ces digues ont une double vocation, d'une part contre l'agitation de l'eau et d'autre part, contre la submersion lors des événements courants, de type marées de vives eaux ou tempêtes non exceptionnelles.



Illustration 33 : Digue-jetée (Les Sables-d'Olonne, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85

En fonction de leur mode de construction et des matériaux les constituant (terre, maçonnerie, gabions, enrochements), les digues, quelque soit leur usage, peuvent également être classifiées : **digues à talus**, constituées d'un noyau formant le cœur de l'ouvrage et surmonté d'une carapace (illustration 35), **digues verticales** (illustration 36), **digues mixtes** reprenant les deux techniques (digue à talus à la base, surmontée d'une structure verticale).

Les carapaces sont le plus souvent constituées d'enrochements, mais dans certains cas il peut s'agir de carapaces maçonnées (digue du Génie à l'Aiguillon-sur-Mer par exemple) ou en béton (digue du polder du Dain à Bouin par exemple). Pour les digues des parcs ostréicoles, les carapaces sont généralement constituées de poches d'huîtres usagées remplies de coquilles.

Ces digues peuvent également être dotées d'une protection en pied anti-affouillement, par exemple des pieux en bois et des enrochements, comme sur l'illustration 37.

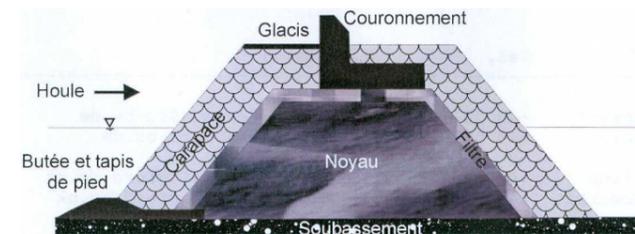


Illustration 35 : Coupe type d'une digue à talus - Wiki côtier

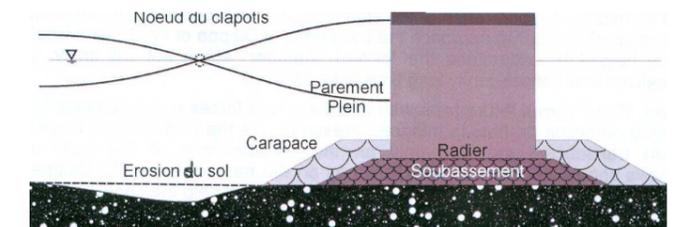


Illustration 36 : Coupe type d'une digue verticale - Wiki côtier



Illustration 34 : Remblai routier faisant office de digue (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 37 : Digue en terre avec protection de pied en petits enrochements bloqués par grillage et pieux + enrochements pare-fouille (Beauvoir-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRB

Sur le littoral des Pays de la Loire, la majorité des digues ont été mises en place pour protéger les terres gagnées sur la mer : ce sont des digues à noyau en terre, avec (illustration 38) ou sans carapace (illustration 39). La carapace peut revêtir totalement le corps de digue (illustration 40) ou ne protéger que le côté à la mer (illustration 41).



Illustration 38 : Carapace en enrochements d'une digue en terre (La Barbâtre, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 39 : Digue en terre (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

Les digues représentent environ 35% du linéaire côtier de la Vendée et un peu plus de 15% de celui de Loire-Atlantique.



Illustration 41 : Digue à talus, noyau en terre, carapace béton côté mer (Bouin, Vendée) - CETEO-LRB

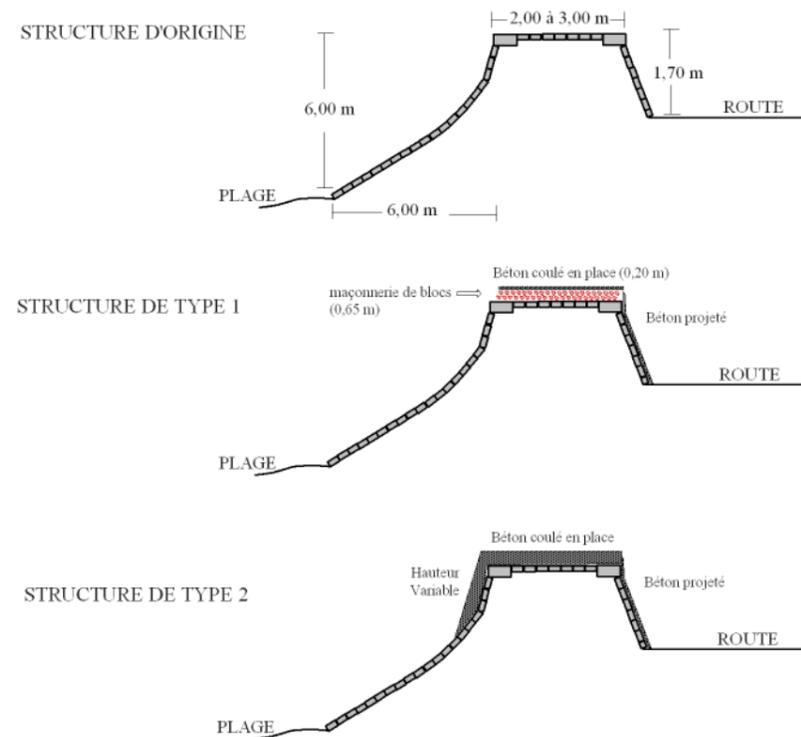


Illustration 40 : Différents types de structures en lien avec plusieurs phases de réparation de la digue du Génie à l'Aiguillon-sur-Mer, digue en terre avec carapace complète en maçonnerie à l'origine - CETEO-LRA

### Les épis

Ce sont des ouvrages transversaux, destinés à **piéger une partie du transit sédimentaire**.

De géométries et de constitutions très diverses (maçonnerie, enrochements, pieux bois comme sur l'illustration 42, etc.), ils peuvent être isolés ou fonctionner en batterie (illustration 43).



Illustration 42 : Épi en pieux bois liaisonnés par des planches (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 43 : Batterie d'épis (Les Moutiers-en-Retz, Loire-Atlantique) - IFSTTAR

### Les pieux battus

Sur certaines plages vendéennes restées relativement naturelles, des pieux battus en bois ont été mis en place en haut de plage parallèlement au trait de côte (illustration 44). Ils ont pour but d'atténuer l'énergie des houles incidentes et de permettre un accroissement du volume de la dune par accumulation sédimentaire.



Illustration 44 : Pieux bois protégeant le cordon dunaire (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### Le confortement dunaire

Cette technique souple, non caractérisée par son orientation par rapport au trait de côte, a vocation à **augmenter la capacité d'une dune à jouer un rôle de défense contre la mer**, tout en préservant sa conservation. Pour engraisser ou stabiliser un cordon dunaire, diverses méthodes peuvent être mises en œuvre : revégétalisation, reprofilage dunaire, canalisation de la fréquentation, implantation de ganivelles destinées à piéger le sable éolien (illustration 25), etc.

#### 2.5.1.c - Les ouvrages d'aménagement du littoral

Ces ouvrages, longitudinaux, transversaux ou ponctuels, n'ont pas comme fonction principale de protéger des impacts de la mer (érosion et submersion). Toutefois, ils peuvent avoir un **impact sédimentaire** sur l'environnement de l'ouvrage et même dans certains cas, jouer un rôle de défense contre la mer, par exemple lorsqu'ils sont dotés d'un couronnement.

### Les accès

Ils permettent la **circulation d'usagers** dans une zone côtière, soit pour accéder à l'eau (quai, ponton [illustration 45], cale [illustration 46], passerelle [illustration 47], escalier [illustration 30], etc.), soit pour traverser la zone (chemin [illustration 48], voie submersible, etc.).



Illustration 45 : Ponton (Bouin Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 46 : Cale d'accès à la plage et de mise à l'eau avec protection en enrochements (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) – CETEO-LRA



Illustration 47 : Passerelle (La Tranche-sur-Mer, Vendée) – CETEO-LRA



Illustration 48 : Chemin permettant l'accès à la plage (La Faute-sur-Mer, Vendée) – CETEO-LRA

### Les ouvrages hydrauliques

Ouvrages ponctuels, ils permettent la gestion et la régulation des flux hydrauliques. Il peut s'agir de vannes (illustration 49), d'écluses (illustration 50), de barrages, d'exutoires.



Illustration 49 : Vanne gérant les échanges hydrauliques entre les polders (à droite de la digue) et la baie (à gauche) (Anse de l'Aiguillon, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 50 : Écluse traversant une digue (Bouin, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 51 : Club sportif en front de mer considéré comme un ouvrage d'aménagement (La Barre-de-Monts, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 52 : Mur de propriété protégé par un cordon d'enrochements (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### Les bâtiments

Spécifiquement liés à la présence de la mer, ils peuvent avoir diverses fonctions : récréatives (clubs sportifs par exemple, illustration 51), agricoles (cabanes d'ostréiculteurs), de surveillance (postes de secours). Les blockhaus sont également considérés comme des ouvrages d'aménagement.

Enfin, certaines constructions résidentielles situées en front de mer ainsi que leurs aménagements associés (limites de propriétés, palissades, etc.) fixent le trait de côte et doivent être considérés à ce titre comme des ouvrages d'aménagement. Les murs de propriété peuvent également jouer un rôle de défense contre la mer (illustration 52).

### 2.5.2 - Les mécanismes de dégradation des ouvrages et les désordres associés

Par l'identification et l'étude des mécanismes des dégradations affectant les ouvrages, il est possible d'analyser le mode d'action de la tempête sur ces ouvrages et de les réparer de manière adéquate.

Chaque type d'ouvrage a des mécanismes de dégradation qui lui sont propres, dépendants des matériaux qui le constituent et de son mode de fonctionnement.

Ainsi, pour les digues et les cordons naturels, les diagnostics réalisés en urgence par le CETE de l'Ouest sur les ouvrages littoraux identifient quatre mécanismes de ruptures, correspondant aux mécanismes de rupture des digues décrits dans la littérature spécialisée :

- **Problème de stabilité à l'érosion<sup>2</sup> externe suite à une surverse,**
- **Problème de stabilité à l'érosion externe de contact,**
- **Problème de stabilité à l'érosion interne** (phénomène de renard hydraulique),
- **Problème de stabilité d'ensemble.**

Le schéma de l'illustration 53 présente de façon synthétique ces mécanismes de rupture appliqués à une digue.

<sup>2</sup> Érosion : processus par lequel un matériau (sol, roche, remblai,...) est enlevé de son milieu, par l'action d'agents naturels éoliens ou hydrauliques.

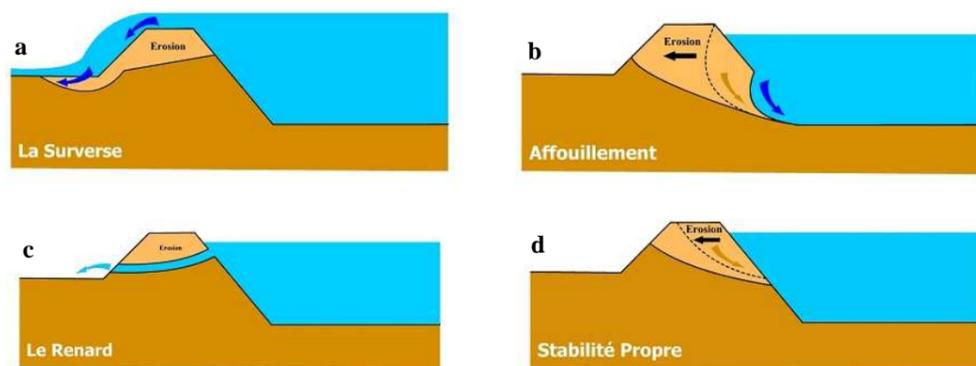


Illustration 53 : Schémas des mécanismes de rupture d'une digue [Symbhi.fr] : a) érosion externe suite à une surverse – b) érosion externe de contact – c) érosion interne – d) instabilité d'ensemble

Pour les ouvrages autres que les digues et les cordons (perrés, murs, etc.), seule l'érosion externe, de contact ou provoquée par la surverse, est à l'origine des désordres et ruptures constatés.

- **L'érosion externe suite à une surverse** est provoquée par l'action des courants hydrauliques sur les talus des ouvrages côté terre, une fois que l'ouvrage est submergé. Dans le cas d'ouvrages en matériaux meubles, on observe tout d'abord un affouillement<sup>3</sup> du pied de talus côté terre qui par érosion régressive va atteindre petit à petit la crête de l'ouvrage jusqu'à former une brèche<sup>4</sup>.

Ce type d'érosion va également affecter les talus naturels, notamment ceux constitués de matériaux meubles, qu'ils soient protégés côté mer ou non.

Après érosion des talus naturels, les murs, perrés et cordons qui les protègent côté mer peuvent en effet à leur tour subir des phénomènes d'érosion lors du reflux des eaux, en lien avec la poussée hydrostatique sur les éléments constituant l'ouvrage : les parements, les revêtements, les banquettes, les enrochements, etc., peuvent être soufflés par la poussée de l'eau et se désolidarisent voire sont arrachés du noyau de l'ouvrage.

- **L'érosion externe de contact** est provoquée par l'action des courants hydrauliques sur les talus des ouvrages en période de crue. Les désordres associés à une érosion externe de contact sont les mêmes que ceux associés à l'érosion externe après surverse : sur les ouvrages constitués de matériaux meubles ou sur les structures naturelles, cette érosion de contact s'initie par des affouillements en pied d'ouvrage côté mer, qui peuvent par érosion régressive gagner la crête de l'ouvrage et créer à terme une brèche.

Dans le cas d'ouvrages en maçonnerie ou en béton ainsi que sur les protections de pied en enrochements, l'érosion de contact va provoquer la désorganisation des blocs et/ou parements puis leur arrachement et leur dispersion. Le noyau de l'ouvrage se trouve alors en contact direct avec l'agent érosif, ce qui accélère sa dégradation. Par suite, des désordres liés à la poussée hydrostatique sur l'ouvrage peuvent être constatés. Le stade ultime est la destruction de l'ouvrage.

3 Affouillement : érosion du pied d'un ouvrage causé par l'action de courants hydrauliques violents.

4 Brèche : rupture brutale d'une digue ou d'un cordon naturel, par érosion externe de contact ou suite à une surverse.

A noter qu'une érosion externe de contact « inversée » peut se produire lors du reflux des eaux de surverse des terres vers la mer (ou le fleuve).

- **L'érosion interne** se produit lorsque l'ouvrage présente dans son corps des hétérogénéités de perméabilités, qui forment autant de zones de circulation préférentielle de l'eau. Si l'ouvrage est en contact prolongé avec l'eau, des axes de circulation préférentielle de l'eau se créent dans le corps de l'ouvrage (renards hydrauliques), pouvant évoluer en cavités<sup>5</sup> par entraînement des matériaux du noyau et à terme provoquer la destruction de l'ouvrage. Les désordres associés à une érosion interne sont donc les cavités et, en stade ultime, les brèches. Enfin, toute infiltration d'eau se manifestant au sein d'un ouvrage peut signaler un mécanisme d'érosion interne.

- **L'instabilité d'ensemble** d'un ouvrage indique généralement une mauvaise conception géotechnique : pente du talus trop forte par rapport aux caractéristiques géomécaniques intrinsèques du matériau, mise en œuvre des matériaux ne respectant pas les règles de l'art, etc. Une instabilité d'ensemble peut également se manifester pour un ouvrage ancien qui vieillit mal (fatigue de la structure) ou qui est affecté de pathologies diverses le fragilisant.

Les désordres associés sont les glissements<sup>6</sup> d'ensemble, qui peuvent être annoncés par des fissures<sup>7</sup> et/ou des fractures<sup>8</sup>.

Le relativement faible pourcentage de désordres causés par ce mécanisme de rupture indique que les ouvrages dans leur ensemble étaient correctement dimensionnés pour résister à des phénomènes courants.

Les deux tiers des désordres constatés après Xynthia ont comme origine une **érosion externe**, qu'elle soit de contact ou provoquée par la surverse. Ce chiffre est à mettre en relation avec d'une part la violence du phénomène, conjugaison de forts courants hydrauliques et de fortes vagues et d'autre part l'altimétrie insuffisante de nombreux ouvrages, qui ont été submergés.

Les deux chapitres suivants présentent, pour chaque type d'ouvrage, les désordres observés mis en relation avec le ou les mécanismes de rupture correspondants.

### 2.5.2.a - Les désordres observés sur les structures naturelles

#### Les falaises

Les falaises et versants rocheux restés à l'état naturel ont été peu touchés par la tempête et n'ont donc pas fait l'objet d'un diagnostic systématique. Ont été constatées toutefois **quelques chutes de blocs** dans des zones sans enjeux, comme par exemple sur l'illustration 54.

5 Cavité : Vide dans un matériau ou une construction résultant d'une perte de matière.

6 Glissement : phénomène de descente d'une masse de terre le long d'un plan plus ou moins continu, plus ou moins plan ou incurvé.

7 Fissure : discontinuité au sein d'un matériau ou d'une construction débouchant ou non à leur surface et ne partageant pas cet élément en 2 parties distinctes.

8 Fracture : discontinuité au sein d'un matériau ou d'une construction, partageant cet élément en 2 parties distinctes.



Illustration 54 : Chute de blocs consécutive à la tempête (Talmont-Saint-Hilaire, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 55 : Recul du trait de côte en lien avec l'érosion externe directe d'un cordon dunaire reposant sur un substrat rocheux (Olonne-sur-Mer, Vendée) - BRGM



Illustration 56 : Recul du trait de côte en lien avec une érosion externe directe d'un cordon dunaire (Château-d'Olonne, Vendée) - CETEO-LRA

### Les cordons dunaires

Les cordons dunaires non protégés ont subi principalement des désordres liés à **l'érosion externe directe ou provoquée par une surverse**. En Vendée par exemple<sup>9</sup>, 99% des désordres constatés sur des dunes sont liés à une érosion externe.

Les différents stades des conséquences d'une érosion externe de contact ont été identifiés sur le terrain, de **l'affouillement** en pied de structure (illustration 55) jusqu'à des **glissements** ponctuels affectant le talus sur toute sa hauteur (illustration 56).

Les **brèches**, stades ultimes de l'érosion, représentent quasiment 20% des désordres ; il est difficile une fois la brèche créée de déterminer si celle-ci a été créée par érosion externe directe ou érosion externe après surverse. Ainsi, le mécanisme de formation de la brèche principale du cordon dunaire de *la Belle-Henriette* (illustration 57) reste indéterminé dans l'état actuel des connaissances.

Enfin, il est à noter que la plupart des entrées d'eau par les cordons dunaires se sont faites au niveau de **points sensibles** : point bas (accès aux plages, connexions hydrauliques, etc.) ou zones plus fragiles comme les emplacements d'anciennes brèches.



Illustration 57 : Brèche principale du cordon dunaire de la Belle-Henriette (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

<sup>9</sup> Aucun diagnostic de cordon dunaire n'a été réalisé en Loire-Atlantique.

## 2.5.2.b - Les désordres observés sur les ouvrages de défense contre la mer

### Les murs

Les observations réalisées en Vendée<sup>10</sup> montrent que les murs, qu'ils soient en béton ou en maçonnerie, ont subi des désordres majoritairement liés (à 80% pour les murs en béton et à 85% pour les murs en maçonnerie) à **l'érosion externe, de contact ou après surverse** : disjointoiements et désorganisation des parements ou des blocs, décollements des revêtements et arrachement des parapets en crête d'ouvrage, désorganisation des protections de pied en enrochements, etc.

Ce mécanisme d'érosion a conduit pour les murs en maçonnerie à une **destruction complète** pour un certain nombre d'entre eux (20% des désordres), ce qui indique la disparition totale du talus soutenu. Aucune destruction complète en revanche n'a été observée sur les murs en béton, ce qui peut s'expliquer par la meilleure tenue à l'érosion externe de ces ouvrages, qui présentent peu de points de faiblesse (joints par exemple) par lesquels l'eau peut agir.

Enfin, de nombreuses **fissures et fractures** (environ 20% des désordres pour les deux types de mur), antérieures à l'événement Xynthia, ont été constatées (illustration 58). Ces désordres, attendus pour ce type d'ouvrage, sont à mettre en relation avec l'ancienneté de la plupart des murs, qui sont en outre peu, voire ne sont pas, entretenus.

### Les perrés

Les perrés montrent des désordres très majoritairement liés à de **l'érosion externe de contact et/ou consécutive à une surverse** (liée à une submersion ou à la projection de paquets de mer) : 90% des désordres (affouillements, disjointoiements et désorganisation des blocs [illustration 59], des parements [illustration 60], des revêtements, des enrochements de protection de pied, arrachement des parapets en crête d'ouvrage [illustration 61]) sont liés à ce mécanisme de rupture, que les ouvrages soient maçonnés ou en béton.

Des **destructions totales** ont été observées (environ le quart des désordres), elles sont à mettre en relation avec la disparition du talus protégé consécutive à l'érosion.

Comme pour les murs, un certain nombre de **fissures et fractures** (entre 5 et 10% des désordres suivant la constitution du perré) ont été constatées : certaines sont liées à l'érosion du talus protégé, d'autres existaient avant Xynthia.



Illustration 58 : Fracture liée à la fatigue sur mur en maçonnerie (La Faute-sur-Mer, Vendée - CETEO-LRA



Illustration 59 : Destruction partielle par érosion externe de contact d'un perré en maçonnerie (Les Sables-d'Olonne, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 60 : Destruction du parement béton d'un perré suite à une érosion externe (Brétignolles-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 61 : Disparition du parapet d'un perré maçonné consécutive à une érosion externe (Les Sables-d'Olonne, Vendée) - CETEO-LRA

### Les cordons

En Vendée<sup>11</sup>, les cordons d'enrochements endommagés ont tous subi une **érosion externe de contact ou consécutive à une surverse**.

Les enrochements ont été désorganisés et se sont dispersés (illustration 62), rendant plus vulnérable à l'érosion la structure qu'ils protégeaient. Cette dispersion des enrochements explique la présence de **cavités** (environ 15% des désordres constatés) au sein de certains cordons diagnostiqués.

<sup>10</sup> Aucun diagnostic de mur n'a été mené en Loire-Atlantique.

<sup>11</sup> Aucun diagnostic de cordon d'enrochements n'a été mené en Loire-Atlantique.

Les **disparitions totales** des cordons (15% des désordres) indiquent que la structure protégée par le cordon a totalement disparu.



Illustration 62 : Désorganisation et dispersion par érosion externe d'un cordon d'enrochements (Brétignolles-sur-Mer, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85

### Les digues

Les digues de protection contre l'agitation de l'eau ont subi de nombreux dégâts en liaison avec **l'érosion externe de contact ou après surverse** (par submersion ou projection de paquets de mer), comme par exemple la disparition de la maçonnerie constituant la carapace d'une jetée (illustration 63).

Les digues de protection contre les submersions, constituées majoritairement de terre sur le littoral des Pays de la Loire, ont également subi une **érosion externe de contact ou consécutive à une surverse** : 100% des désordres constatés sur ces ouvrages en Loire-Atlantique sont liés à une érosion externe, ce chiffre est à peine moins élevé en Vendée (90%).

Les différents stades de cette érosion ont été constatés sur le terrain : **affouillements** en pied d'ouvrage, **glissements ponctuels** englobant l'ouvrage sur toute sa hauteur (illustrations 64 et 65), **brèches partielles** (écrêtage de l'ouvrage, illustration 66) ou **totales** (illustration 67). Ces désordres ont été constatés côté terre, indiquant une surverse de l'ouvrage au préalable (illustration 64), mais aussi côté mer, indiquant soit une érosion externe de contact (illustration 65), soit, dans certains cas, une érosion consécutive à une surverse en retour (reflux des eaux à la décrue).

Lorsque l'ouvrage possédait une carapace (maçonnerie ou béton), des figures d'érosion spécifiques à ces matériaux ont été relevées : dispersion et arrachement des blocs de maçonnerie (illustration 68), fracturation (illustration 69) et arrachement (illustration 70) des revêtements, destruction des banquettes (illustration 71), disparition des parapets, désorganisation et dispersion des enrochements de protections de pied. Ce type de désordre est à mettre en relation avec la puissance de l'événement et l'existence de phénomènes houleux.

Un deuxième mécanisme de rupture a été identifié sur les digues de protection en terre en Vendée : un peu moins de 10% des désordres sont des **glissements d'ensemble** (illustration 72) ou des fissures et fractures indiquant une instabilité d'ensemble de l'ouvrage. Ce type d'instabilité concerne quasi-exclusivement les digues des polders, réalisées de façon artisanale par les exploitants agricoles lors de l'assèchement des terres, en utilisant les terres argileuses extraites au pied même de ces ouvrages. Les règles de l'art en matière de dimensionnement de tels ouvrages n'ont manifestement pas été observées, notamment en terme de pente de talus.



Illustration 63 : Disparition ponctuelle de la carapace en maçonnerie d'une jetée suite à une érosion externe (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 64 : Érosion côté terre d'une digue après surverse (La Barbâtre, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 65 : Érosion côté mer d'une digue protégée par une carapace en maçonnerie (Mesquer, Loire-Atlantique) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 67 : Brèche totale d'une digue en terre consécutive à une érosion externe après surverse (Batz-sur-Mer, Loire-Atlantique) - CETEO-LRA



Illustration 68 : Destruction partielle de la carapace maçonnée d'une digue en terre par érosion externe (Batz-sur-Mer, Loire-Atlantique) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 66 : Matérialisation de l'écristage subi par une digue en terre surversée (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 69 : Fracturation de la carapace béton d'une digue, en liaison avec la disparition du noyau argileux de l'ouvrage consécutive à une érosion externe après surverse (Bourgneuf-en-Retz, Loire-Atlantique) - CETEO-LRA



Illustration 70 : Arrachement du revêtement béton d'une carapace de digue suite à une érosion externe de contact (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 71 : Arrachement de la banquette béton de crête de digue par érosion externe de contact (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 72 : Loupe de glissement d'une digue en lien avec une instabilité d'ensemble, suite à surverse (Puyravault, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 73 : Destruction partielle d'un épi bois (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 74 : Érosion dunaire en arrière d'une rangée de pieux battus (à noter la dispersion des bottes de paille) (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

#### Les épis

Ces ouvrages ont été soumis à des vagues et courants hydrauliques intenses. Ceux qui ne disposaient pas de protections pare-fouilles en enrochements ont subi des dégâts importants (illustration 73).

#### Les pieux battus

Ces ouvrages ont subi l'attaque directe des vagues et courants. Les pieux sont restés généralement en place, mais la dune en arrière a été érodée (illustration 74) ; les bottes de paille qui étaient disposées entre les pieux et la dune ont été pour la plupart emmenées par l'eau et dispersées jusqu'à plusieurs dizaines de mètres sur l'estran.

#### Les confortements dunaires

En relation avec l'attaque frontale des vagues et des courants sur les cordons dunaires, les confortements existants ont subi une érosion externe de contact : certaines rangées de ganivelles ont disparu (illustration 75), d'autres ont été déchaussées, la végétation a été dans certains cas détruite.



Illustration 75 : Destruction de ganivelles en crête de dune (à noter les rangées de pieux battus en aval sur l'estran) (L'Épine, Vendée) - CETEO-LRB

Les tableaux suivants présentent pour la Loire-Atlantique (tableau 3) et la Vendée (tableau 4) les types de désordres rencontrés mis en relation avec le type de structure.

Structure		Type								TOTAL
		Poussée hydro	Affouillement	Infiltration	Brèche ou Destruction	Fissure	Glissement	Cavité	Erosion	
Digue terre	nb enregis	12	368	1	51		3		25	460
	%	2,6	80,0	0,2	11,1		0,7		5,4	100,0
Perre béton	nb enregis									
	%									
Perre maçonnerie	nb enregis	7			4	1			13	25
	%	28,0			16,0	4,0			52,0	100,0
Cordon dunaire	nb enregis									
	%									
Mur béton	nb enregis									
	%									
Mur maçonnerie	nb enregis									
	%									
Digue enrochement	nb enregis		3						1	4
	%		75,0						25,0	100,0
Cordon enrochement	nb enregis									
	%									
Talus	nb enregis									
	%									
Autres	nb enregis									
	%									

Tableau 3 : Répartition des désordres en fonction des types de structures en Loire-Atlantique

Structure		Type								TOTAL
		Poussée hydro	Affouillement	Infiltration	Brèche ou Destruction	Fissure	Glissement	Cavité	Erosion	
Digue terre	nb enregis	53	38		19	5	14	3	87	219
	%	24,2	17,4		8,7	2,3	6,4	1,4	39,7	100,0
Perre béton	nb enregis	14	2		17	5	1		17	56
	%	25,0	3,6		30,4	8,9	1,8		30,4	100,0
Perre maçonnerie	nb enregis	16	6		8	4	2	1	29	66
	%	24,2	9,1		12,1	6,1	3,0	1,5	43,9	100,0
Cordon dunaire	nb enregis	0	14		25		1		99	139
	%	0,0	10,1		18,0		0,7		71,2	100,0
Mur béton	nb enregis	10	3			9			25	47
	%	21,3	6,4			19,1			53,2	100,0
Mur maçonnerie	nb enregis	3			2	2			4	11
	%	27,3			18,2	18,2			36,4	100,0
Digue enrochement	nb enregis	2	1		1				4	8
	%	25,0	12,5		12,5				50,0	100,0
Cordon enrochement	nb enregis	2			1			1	2	6
	%	33,3			16,7			16,7	33,3	100,0
Talus	nb enregis								2	2
	%								100	100,0
Autres	nb enregis	5	4			1		1	10	21
	%	23,8	19,0			4,8		4,8	47,6	100,0

Tableau 4 : Répartition des désordres en fonction des types de structures en Vendée

## Les accès

Ces ouvrages ont pour la plupart subi des dégâts importants en lien avec la force des vagues, l'intensité des courants et la surverse : arrachement et destruction des revêtements béton des cales d'accès à l'eau (illustration 76), affouillements du sol support sous l'extrémité des cales (illustration 77), des voies d'accès aux plages (illustration 78) et des escaliers (illustration 79), destruction par érosion des accès piétonniers aux plages (illustration 80), destruction plus ou moins complète d'ouvrages d'art (illustration 81), etc.



Illustration 76 : Destruction de l'extrémité d'une cale (Brem-sur-Mer, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 77 : Affouillement sous l'extrémité d'une cale (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 78 : Destruction par érosion de contact d'une voie d'accès à la plage (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 79 : Affouillement sous un escalier d'accès à la plage (Les Sables-d'Olonne, Vendée) - CETEO-LRA



*Illustration 80 : Destruction par érosion de contact de l'extrémité d'un accès piétonnier à la plage (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA*



*Illustration 81 : Destruction partielle des éléments constitutifs d'une passerelle submergée lors de Xynthia (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA*

#### *Les ouvrages hydrauliques*

Les ouvrages hydrauliques ont été impactés par les effets des vagues et des courants hydrauliques : certains des ouvrages présentent des pathologies empêchant leur bon fonctionnement (illustration 82), d'autres sont totalement ruinés (illustration 83).

Dans un certain nombre de cas, ces ouvrages hydrauliques ont été les premiers points d'entrée des eaux à l'intérieur des terres, bien avant la surverse.



*Illustration 82 : Vanne affectée de pathologies structurelles importantes empêchant son bon fonctionnement (Triaize, Vendée) - CETEO-LRA*



*Illustration 83 : Vanne ruinée (Triaize, Vendée) - CETEO-LRA*

#### *Les bâtiments*

Les bâtiments et les aménagements en front de plage ont subi d'une façon générale une érosion externe de contact de leur sol support à l'origine d'affouillements des fondations (illustration 84). L'érosion des cordons dunaires a provoqué le basculement de certains blockhaus, illustration 85).

Enfin, la destruction de certains aménagements situés sur l'estran, notamment les murs de délimitation de propriétés privées sous-dimensionnés aux poussées hydrostatiques, est à l'origine de l'érosion du terrain naturel en arrière (illustration 86).



*Illustration 84 : Affouillement des fondations d'une résidence située en front de plage (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA*



*Illustration 85 : Basculement d'un blockhaus suite à l'érosion du sol support (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA*



illustration 86 : Destruction d'un mur de propriété à l'origine de l'érosion du cordon dunaire en arrière (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

#### 2.5.2.d - Synthèse et discussion sur le mécanisme de formation des brèches

Les chiffres tirés des tableaux 3 et 4 permettent d'affirmer que **l'érosion externe, directe ou consécutive à une surverse**, est à l'origine de la quasi-totalité des désordres constatés sur les ouvrages de défense et d'aménagement du littoral, que ce soit en Loire-Atlantique (99% des désordres) ou en Vendée (93% des désordres).

Les quelques désordres non liés à une érosion externe en Vendée trouvent leur origine dans une **instabilité d'ensemble de la structure**, en lien avec une mauvaise conception géotechnique de l'ouvrage. A noter que ces désordres ont tous été constatés sur des digues des polders de la baie de l'Aiguillon, digues en terre montées au cours des siècles par les exploitants agricoles. Il s'agit donc de digues artisanales, dont la construction n'a pas fait l'objet d'études de dimensionnement ni de mise en œuvre respectant les règles de l'art, notamment en terme de pente de talus.

Un seul mécanisme de rupture n'a pas été clairement identifié à partir des diagnostics réalisés : il s'agit de l'érosion interne. Pourtant, certains facteurs déclenchant ou aggravant ce type de mécanisme (végétation développée, terriers d'animaux fouisseurs) ont été constatés sur un grand nombre d'ouvrages, pour la plupart peu, voire non, entretenus. Ce mécanisme aboutissant à la formation d'une brèche, il est possible que certaines des brèches constatées après Xynthia aient été initiées par un phénomène de renard hydraulique. A défaut d'observations antérieures à l'événement, ce point ne peut être précisé.

D'après les chiffres des tableaux 3 et 4, les brèches ouvertes suite à des phénomènes d'érosion représentent donc entre 11% (pour la Loire-Atlantique) et 12% (pour la Vendée) des désordres.

Au total **128 brèches** se sont ouvertes sur les digues et cordons, qu'ils soient protégés par des murs et perrés (33 brèches) ou qu'ils soient non protégés (95 brèches).

De largeur comprise entre quelques mètres et 170 m pour la plus importante, les brèches peuvent être considérées dans leur majorité comme « ponctuelles », 80% d'entre elles atteignant une largeur comprise entre quelques mètres et 30 mètres.

En Vendée, 70% des brèches se sont produites sur les cordons dunaires naturels ou protégés, contre 25% sur les digues en terre. Ce chiffre est à mettre en relation avec la différence de linéaire entre les deux structures, les cordons naturels et protégés représentant 60% du trait de côte vendéen contre 35% pour les digues en terre. Ces chiffres montrent néanmoins que les cordons dunaires ont subi plus de brèches que les digues en terre dans ce département.

En Loire-Atlantique, la quasi-totalité des brèches se sont produites sur des digues en terre (95%), dont le linéaire est environ 2 fois plus important que celui des cordons dunaires. Ce chiffre indique une vulnérabilité à l'érosion plus forte pour les digues en terre dans ce département.

Une fois la brèche créée, et sauf à avoir assisté au phénomène, il est difficile de déterminer le mécanisme d'érosion externe qui a joué. Toutefois, les observations réalisées sur le terrain lors des diagnostics d'ouvrages ainsi que l'étude des photographies aériennes obliques prises après la tempête, peuvent aider à expliquer l'initiation de la rupture.

#### Cas des digues en terre

En premier lieu, il convient de prendre en compte que la plupart des digues en terre qui ont subi des brèches étaient des digues de protection de terres agricoles terrestres (polders) ou marines (marais salants, parcs ostréicoles). Leur hauteur était relativement peu importante (entre 2 et 3 m), ces ouvrages ayant été conçus à l'origine pour permettre d'exploiter les marais dans des conditions hydro-météorologiques « normales ». Ainsi, ces digues devaient protéger des grandes marées et d'événements tempétueux classiques, mais pas d'événements exceptionnels, notamment en terme de hauteur d'eau.

Lors des diagnostics de terrain, il a été constaté sur la quasi-totalité des digues en terre de protection des marais des **traces de surverse**, ponctuelles ou généralisées (illustration 87). Ces laisses de submersion indiquent sans équivoque que l'ouvrage a été surversé.

Enfin, une photographie aérienne prise au-dessus des marais de Guérande trois jours après la tempête (illustration 88), montre clairement les différents stades de formation d'une brèche par surverse. On y voit en effet, à proximité d'une brèche totale, un affouillement côté terre, prémisses d'une brèche. On remarque également la dispersion des enrochements côté mer (signe de la force du flot refluant vers la mer à marée descendante).

Ces différents éléments nous permettent d'affirmer que **les brèches survenues sur les digues en terre ont été causées par une surverse de l'ouvrage**.



Illustration 87 : Laissez de submersion sur digue en terre (La Barre-de-Monts, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 88 : Deux stades de la formation d'une brèche par surverse : à gauche, affouillement côté terre, à droite brèche totale (Batz-sur-Mer, Loire-Atlantique) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85

### Cas des cordons dunaires

Les investigations menées sur le terrain montrent que la plupart des brèches survenues sur les cordons se sont produites au niveau de secteurs qui ont été surversés ; on peut donc penser que **la surverse est également la principale cause des brèches des cordons dunaires**.

Un doute subsiste pour la brèche principale de la dune de la Belle-Henriette ; compte-tenu de la hauteur de la dune à cet endroit, il peut s'agir d'une brèche créée par érosion externe directe sur un point fragile préexistant (cordon moins épais, ancienne connexion hydraulique avec la lagune, etc.), mais à défaut d'observations préalables à l'événement, on ne peut conclure avec certitude.

### 2.5.2.e - Les facteurs aggravants des désordres

Outre la revanche insuffisante de la plupart des digues en terre des polders par rapport à la cote altimétrique atteinte par la mer pendant la tempête, d'autres facteurs ont été mis en évidence lors des diagnostics.

### L'hétérogénéité des ouvrages

L'hétérogénéité de certaines structures a très certainement aggravé les désordres. Par exemple, l'existence d'enrochements ponctuels protégeant la côte est à l'origine d'une érosion plus marquée des zones situées entre ces enrochements (illustration 89).

De même, les réparations anciennes de certains ouvrages ont été des points durs qui ont bien résisté aux effets de la tempête et de la submersion, alors que les zones non réparées de part et d'autre ont été le siège de désordres plus importants. Ce fait a été particulièrement mis en évidence sur la digue du Génie à l'Aiguillon-sur-Mer (illustration 90).



Illustration 89 : Discontinuité de protection sur côte rocheuse à l'origine d'une érosion différentielle du trait de côte (Brétignolles-sur-Mer, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 90 : Hétérogénéité du revêtement de la digue du Génie à l'origine d'une érosion différentielle (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### Les points bas

Certains ouvrages n'ont pas une cote altimétrique homogène : des points plus bas ont été fréquemment rencontrés, principalement au niveau d'ouvrages hydrauliques et d'aménagements liés aux infrastructures (illustration 91). Ces points bas ont permis l'entrée de l'eau à l'intérieur des terres bien avant la surverse des ouvrages, voire même parfois sans qu'aucune surverse d'ouvrage ne se soit produite. A ce titre, ils ont considérablement aggravé les effets de la submersion, en augmentant les hauteurs et les vitesses de circulation de l'eau dans les terres et en provoquant parfois des surverses en retour : certaines figures d'érosion (affouillements en pied d'ouvrage), constatées lors du diagnostic de la digue longeant les lotissements les plus impactés de la Faute-sur-Mer, indiquent que la surverse s'est produite des terres vers le Lay.

Cette interruption de protection a été également fréquemment rencontrée sur les cordons dunaires, au niveau des accès aux plages (piétonniers ou pour véhicules), qui ont été les premiers et principaux points d'entrée de la mer à l'intérieur des terres (illustration 92).

Un autre type de point bas plus rarement rencontré est constitué par une interruption de protection entre deux ouvrages, comme par exemple en rive droite du Lay, entre la digue du camping de la Faute-sur-Mer et les ouvrages de franchissement de la RD 46. Cette ouverture non protégée d'une quinzaine de mètres de largeur a été l'un des principaux points d'entrée de l'eau dans le camping communal.



Illustration 91 : Interruption de digue au niveau d'un accès portuaire (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 92 : Points d'entrée préférentiels de l'eau au niveau d'accès plages traversant le cordon dunaire (La Faute-sur-Mer, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85

### 2.5.3 - Les confortements d'urgence

Les confortements d'urgence, démarrés dès le lendemain de la tempête, avaient un double objectif :

- **Les travaux d'extrême urgence (niveau 1)** visaient à restaurer un niveau minimal de protection en vue des grandes marées de 2010 ;
- **Les travaux complémentaires (niveau 2)** visaient à rendre aux ouvrages leur capacité initiale de protection en vue des grandes marées de la fin 2010 – début 2011.

Sur cette période, ce sont plus de 22 M€ de travaux d'urgence qui ont ainsi été mis en œuvre sur l'ensemble du littoral régional pour la mise en sécurité des ouvrages de défense contre la mer.

### 2.5.3.a - La typologie des confortements réalisés

#### Les reconstructions

Pour la majorité des ouvrages, les confortements ont consisté à mettre en œuvre des techniques « dures », visant à leur reconstruction partielle ou totale :

- **Réparations de brèches, colmatage des érosions, rechargements** : par apport de matériaux de natures diverses : terre (illustration 93), sable, brut de carrière (illustrations 94 et 95), sacs de sable (illustration 96), etc.

Le choix a fortement dépendu de la proximité des sites d'approvisionnement et des enjeux de la zone à protéger. Ainsi, les digues de protection des marais ont pour la plupart fait l'objet d'un rechargement en terre, prélevée au pied de la digue (illustration 97). Dans les zones à enjeux, ou lorsque le matériau ne pouvait être prélevé sur place, des blocs de roche ou des enrochements ont été mis en place.

- **Réparations des revêtements des talus** : les désordres engendrés par l'érosion et les poussées hydrostatiques ont été réparés par la mise en œuvre de béton (projeté ou coulé en place) après rechargement du cœur de l'ouvrage (illustration 98), ou par la mise en place de blocs de roche ou d'enrochements (illustration 99).
- **Constructions d'ouvrages neufs** : en certains points d'entrée de la submersion, des ouvrages ont été créés, soit en terre, soit en blocs de roches ou en enrochements (illustration 100). Sur les plages, des merlons de sable provisoires ont parfois été mis en place pour protéger des aménagements préexistants (illustration 101).

Les protections de pied d'ouvrages endommagées ont été réparées, par apports de blocs de roche ou d'enrochements neufs (illustration 102).



Illustration 93 : Rechargement en terre d'une digue en terre (Barbâtre, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 94 : Rechargement en brut de carrière d'une digue à talus en terre (Bouin, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 95 : Réparation d'un affouillement par déversement de brut de carrière (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 96 : Réparation d'un affouillement par dépose de sacs de sable (La Barre-de-Monts, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 97 : Rechargement d'une digue en terre par prélèvement de matériaux en pied (Bourgneuf-en-Retz, Loire-Atlantique - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85)



Illustration 98 : Plaquage béton sur rechargement en brut de carrière d'une digue en terre (Bouin, Vendée) - CETEO-LRB



Illustration 99 : Carapace de digue reconstituée en enrochements (Olonne-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 101 : Merlon de sable en protection d'un aménagement touristique (La Baule, Loire-Atlantique) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 102 : Enrochements de protection de pied de digue (Saint-Gilles-Croix-de-Vie, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 100 : Digue en terre avec carapace d'enrochements construite après Xynthia (La Faute-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

#### Les rechargements de plage

Il a été procédé sur les plages à des extractions de sable qui a été ensuite utilisé pour fermer les brèches et pour engraisser le pied du cordon (illustration 103). Les volumes de ces rechargements ont été dans certains cas très importants : par exemple, la principale brèche de la dune de la Belle-Henriette a pu être fermée après l'apport d'environ 30 000 m<sup>3</sup> de sable.

Sur quelques zones de plage sans enjeux importants, des techniques plus douces ont été choisies : ainsi, la plage de Longeville-sur-Mer et la grande plage nord de Saint-Gilles-Croix-de-Vie ont fait l'objet de pose de ganivelles destinées à permettre le ré-ensablement de la dune primaire (illustration 104).

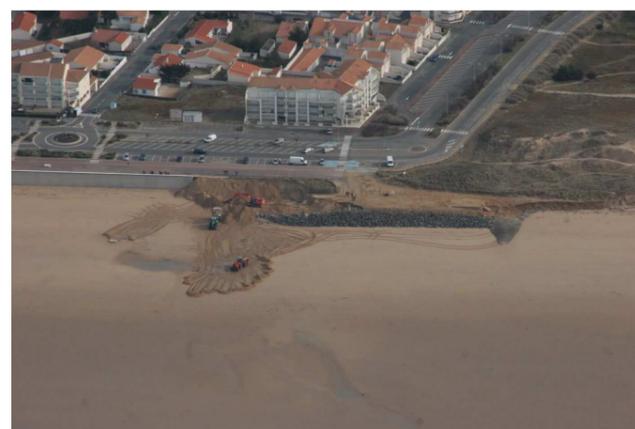


Illustration 103 : Rechargement d'un cordon dunaire par prélèvement de sable sur la plage (Saint-Jean-de-Monts, Vendée) - DREAL Pays de la Loire/DDTM 85



Illustration 104 : Ré-ensablement du pied de dune suite à la pose de ganivelles (Longeville-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### Les surélévations

Bien que l'objectif des travaux d'urgence soit de rendre aux ouvrages leur capacité initiale de protection, certains rechargements ont nettement dépassé la cote originelle de l'ouvrage (illustrations 105 et 106), parfois sur près d'un mètre de hauteur.



Illustration 105 : Surélévation d'une digue en terre par rechargement en terre (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 106 : Digue surélevée par rechargement en terre (L'Aiguillon-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### L'évolution naturelle des côtes sableuses

Les cordons dunaires sans enjeux forts en arrière n'ont le plus souvent fait l'objet d'aucun travaux de confortement. L'évolution naturelle des dunes a pu être observée lors des diagnostics complémentaires de novembre 2010 : adoucissement de la pente des falaises d'érosion (retour au profil d'équilibre, illustration 108), engraissement du haut de plage (illustration 107).



Illustration 108 : Adoucissement de la falaise d'érosion dunaire (Longeville-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 107 : Engraissement du pied de cordon dunaire (Longeville-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### 2.5.3.b - Conclusion sur les confortements d'urgence

Les confortements mis en œuvre dans le cadre des travaux d'urgence ont été réalisés très rapidement après la tempête et dans l'objectif de réparer les désordres avant les grandes marées suivantes. La rapidité d'exécution et l'important volume des travaux (plus de 70 chantiers) n'ont pas toujours permis le strict respect de l'ensemble des règles de l'art, à la fois en amont (investigations préalables, dimensionnement, contrôle des matériaux) mais aussi à l'aval (récolement, contrôles de réalisation). Ces confortements en urgence ont permis néanmoins la mise en sécurité des populations dans un délai très contraint.

Certaines de ces interventions menées en urgence en 2010 devront être pérennisées à terme par les maîtres d'ouvrage dans le cadre d'interventions plus structurées. C'est l'objectif actuellement recherché par les collectivités au travers de la mise en place des Programmes d'actions de prévention des inondations (les « PAPI ») sur le littoral. Dans ce cadre de ces PAPI, les collectivités territoriales définissent une stratégie globale pour la gestion du risque inondation (gestion de l'urbanisme, amélioration des connaissances, de la gestion de crise, confortement des ouvrages...). Une programmation pluri-annuelle de travaux sur les ouvrages de protection y est définie puis mise en œuvre selon les priorités identifiées dans le diagnostic préalable.

## 2.5.4 - Analyse critique des données étudiées

### 2.5.4.a - La non exhaustivité des données

Les données ne présentent pas une vision exhaustive de l'état des ouvrages de protection sur le littoral des Pays de la Loire.

D'une part, seuls les ouvrages de défense contre la mer ont fait l'objet d'un diagnostic détaillé ; les ouvrages d'aménagement n'ont, sauf exceptions, pas été contrôlés de façon aussi précise.

D'autre part, les diagnostics détaillés des ouvrages de défense contre la mer ont concerné quasi-exclusivement le département de Vendée. Ceci s'explique par le fait que les dégâts ont été moindres en Loire-Atlantique, en raison de la diminution d'intensité de la tempête sur ce département et de sa plus forte proportion de côtes rocheuses. Ainsi, la DDTM 44 en charge du contrôle des travaux d'urgence, n'a pas eu besoin de faire réaliser des diagnostics sur l'ensemble des ouvrages de défense contre la mer de ce département.

### 2.5.4.b - L'absence de pathologies liées à l'érosion interne

Comme expliqué précédemment, quasiment aucune pathologie, correspondant à une érosion interne d'un ouvrage par circulation d'eau et formation d'un gradient hydraulique critique, n'a été constatée.

Cette absence de constat ne veut pas dire que ce type de pathologies n'existait pas avant Xynthia, mais que les dégâts causés aux ouvrages par la tempête ont pu les masquer.

### 2.5.4.c - Les limites des investigations réalisées

Les données utilisées pour ce retour d'expérience (rapports d'expertises, diagnostics des ouvrages, inspections des cordons, etc.), sont issues de reconnaissances de terrain réalisées en urgence. Il s'agit donc de diagnostics visuels réalisés à dire d'experts, qui ont analysé et interprété leurs observations puis émis des préconisations en se basant sur leur compétence technique et leur expérience.

L'absence d'investigations complémentaires, justifiée par le caractère d'urgence, laisse donc une incertitude sur les mécanismes d'apparition des désordres.

De plus, la non exhaustivité de suivi des travaux de renforcement d'urgence, n'a pas permis de pouvoir juger du respect des règles de l'art pour les ouvrages ne présentant pas de pathologies décelables visuellement.

## 2.6 - L'évolution du trait de côte

### 2.6.1 - Le recul du trait de côte

#### 2.6.1.a - Les côtes meubles

Le recul des cordons dunaires non protégés par des techniques « dures » a pu être quantifié lors des diverses missions de terrain (expertise BRGM, diagnostics des ouvrages CETEO, mission ONF). Il varie selon les endroits de quelques mètres (illustration 109) à une trentaine de mètres (illustration 110), la moyenne étant comprise entre 3 et 5 mètres. La hauteur atteinte par les falaises d'érosion varie entre 2 et une dizaine de mètres.

Pour les cordons dunaires protégés en pied par des enrochements ou d'autres structures (murs), le recul a pu atteindre dans certains cas 10 mètres (illustrations 111 et 112).

Ces constats montrent la grande variabilité du recul, plus important généralement sur les cordons dunaires non protégés : les ouvrages mis en place pour protéger des enjeux ont donc rempli leur mission en retardant et atténuant le mécanisme d'érosion.



Illustration 109 : Recul du cordon dunaire (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 110 : Recul du cordon dunaire (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 111 : Recul du cordon dunaire derrière la protection en enrochements (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 112 : Recul du cordon dunaire derrière un mur béton (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - BRGM



Illustration 113 : Ré-ensablement naturel d'une plage (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA



Illustration 114 : Disparition du rechargement en sable mis en place sur un accès plage (La Tranche-sur-Mer, Vendée) - CETEO-LRA

### 2.6.1.b - Les côtes rocheuses

Les documents étudiés pour ce retour d'expérience ne donnent quasiment pas d'informations sur le recul des côtes rocheuses. Géologiquement, ces formations font partie du massif armoricain, constitué sur le littoral des Pays de la Loire de roches dures (schistes, gneiss, granites, etc.), peu sensibles à l'érosion météorique et aux actions de la mer et de la houle. Cette faible sensibilité à l'érosion explique le peu d'effets de la tempête Xynthia sur les côtes rocheuses, qui ont pu ponctuellement reculer de un à deux mètres.

### 2.6.2 - L'évolution du profil des plages

Lors de la tempête, les plages ont généralement subi un démaigrissement, jusqu'à faire apparaître dans certains cas les sols fossiles sous-jacents (plattiers rocheux).

Les constats réalisés quelques mois après l'événement montrent que certaines des plages qui n'ont pas fait l'objet de travaux se sont rechargées naturellement pendant l'été (illustration 113).

Dans d'autres zones ayant subi un remodelage mécanique, les constats de terrain ont parfois révélé la diminution des apports sableux (illustration 114), ce qui signale un changement du fonctionnement hydrosédimentaire du système littoral.

### 3 - Analyse locale de la submersion marine

Cette partie se propose de décrire à l'échelle communale les effets de la tempête Xynthia, en synthétisant l'ensemble des données issues des constatations réalisées sur le terrain.

#### 3.1.1 - Loire-Atlantique

##### 3.1.1.a - Traict de Pen-Bé (Communes d'Assérac, Saint-Molf et Mesquer)

Voir planches cartographiques **25000-44-01 à 25000-44-03**

##### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Cette zone est représentée principalement par des marais salants. La majorité des ouvrages recensés sont les digues en terre des étiers de ces marais avec, pour certains, un perré maçonné en protection.

Ces ouvrages ont été impactés par de nombreuses érosions de type affouillement. Quelques désordres liés à une poussée hydrostatique se sont également produits, comme des têtes de digue emportées ou des perrés entièrement détruits (illustration 115).

En baie de Pont-Mahé, un recul dunaire de quelques mètres a été constaté.

##### *Submersion*

##### Au nord de la baie (Traict de Pen-Bé)

Des secteurs de surfaces peu importantes ont été submergés par surverse du cordon dunaire en baie de Pen-Bé (avec submersion de la RD 282) ainsi qu'en baie de Keravelo.

##### Au centre et au sud de la baie

Les zones d'exploitation de marais salants ont été très largement submergées. Toutefois, à l'extrémité Est, la submersion n'a pas dépassé la RD 33. Au sud de la baie, la submersion n'a pas atteint la totalité des marais salants des communes de Mesquer et Saint-Molf.

Les zones urbanisées touchées par la submersion demeurent peu étendues et concernent essentiellement le bourg de *Kercabellec* au sud de l'entrée de la baie où une quinzaine de bâtiments a été touchée.

Une laisse de submersion d'altitude 4,11 m NGF a été relevée à proximité de l'entrée des marais salants, le long de l'étier de la Barre. A l'extrémité Est de la zone submergée, l'altitude de la nappe d'eau est restée inférieure à 3,20 m NGF.

##### Déroulement de la submersion

Les premiers rangs des digues des marais salants ont été largement surversés. La plupart des ouvrages se trouvent en effet à une altitude inférieure à 4 m NGF, dont un linéaire important inférieur à 3,50 m NGF.

La submersion s'est alors propagée de proche en proche, au fur et à mesure du « remplissage » des bassins et de la progression de l'eau dans les étiers.

Le linéaire très important des zones de surverse laisse penser que les volumes d'eau de la submersion sont en grande partie dues à ces dernières.

Les brèches, engendrées par cette surverse, apparaissent ici comme un facteur aggravant de la submersion.



Illustration 115 : Destruction d'un perré (Mesquer)

### 3.1.1.b - De la Pointe de Merquel à La Turballe

Voir planches cartographiques **25000-44-03, 25000-44-04 et 25000-44-05**

Cette partie du littoral ligérien est bordée par des falaises rocheuses ; ne présentant pas ou peu de zones basses, elle n'a pas subi de submersion. Très localement, des dispersions d'enrochements ou des phénomènes d'érosion ont été relevés sur les communes de Piriac et de La Turballe.

### 3.1.1.c - Marais de Guérande (commune de Guérande )

Voir planches cartographiques **25000-44-05 et 25000-44-06**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Les marais de Guérande ont été principalement touchés par des affouillements sur les rives des étiers des marais. La plupart ont évolué en brèches (illustration 116), qui ont détruit les salines et les vasières, obligeant les paludiers à reconstruire dans l'urgence de nouvelles digues.

Les traces laissées par les sédiments montrent que certaines de ces brèches ont pu se former au moment du retrait des eaux de submersion (surverse inversée).



Illustration 116 : Brèche dans le marais de Guérande (Batz-sur-Mer)

### *Submersion*

Les zones touchées par la submersion représentent des surfaces très importantes. Toutefois, bien que situé à une altitude faible, le marais n'a pas été submergé en totalité.

#### Déroulement de la submersion

Pour la partie ouest du marais, le mécanisme de la submersion est comparable avec celui constaté dans les marais du traict de Pen-Bé. Sur la plus grande partie de la façade littorale, les premiers rangs de digues des salines, comprenant de nombreuses zones inférieures à 3,5 m NGF, ont été touchés par une surverse quasi-généralisée, le niveau de l'eau dépassant 4 m NGF.

La progression vers l'intérieur des terres a été facilitée par la présence d'étiers, qui ont permis des chemins d'écoulement préférentiels.

La plupart des brèches qui se sont formées correspondent aux endroits fortement touchés par des surverses, elles apparaissent donc comme une conséquence du débordement des ouvrages.

L'ampleur du débordement des digues laisse penser que les volumes entrant sont majoritairement dus au phénomène de surverse, les brèches apparaissant comme une cause aggravante. Comme souligné plus haut, certaines d'entre elles se sont formées au moment du retrait des eaux.

En raison de l'amortissement de l'onde de submersion du à l'effet « casier » des rangs successifs de digues, la submersion n'a pas touché les zones du marais les plus éloignées du littoral.

### 3.1.1.d - Pointe du Croisic (communes du Croisic et de Batz-sur-Mer)

Voir planches cartographiques **25000-44-05 et 25000-44-06**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Aucun désordre n'a été recensé sur cette commune, hormis une érosion sur un perré maçonné.

### *Submersion*

#### Le Croisic

Les submersions se sont essentiellement produites sur la côte nord de la Pointe, au niveau du centre urbain proche du port et dans une bien moindre mesure sur la côte sud.

Au nord-ouest de la commune, la submersion a touché les quartiers du Port-Val, de la Maison-Rouge et du Pré-Brulé, coupant la RD 45 à de multiples endroits. Les entrées d'eau se sont produites au niveau des zones les plus basses du cordon dunaire.

Certains terrains d'altitude 4,5 m NGF et très proches du rivage (Quartiers Pré-Brulé et Maison-Rouge) ont pu être touchés par la submersion (sur de faibles surfaces toutefois), en raison de l'effet du déferlement des vagues.



Bien que débordés par le niveau d'eau élevé, les ouvrages ont toutefois permis de limiter dans une certaine mesure les entrées d'eau. En effet les laisses de submersion, qui sont inférieures à 2,90 m NGF, c'est-à-dire à une cote inférieure à celle des ouvrages, montrent que les « cuvettes » topographiques ne se sont pas remplies complètement.

Au nord de la ville, les volumes d'eau entrant par l'étier du Pouliguen ont entraîné la submersion d'une partie des marais de Guérande, jusqu'au village de Saillé.

**3.1.1.f - Estuaire de la Loire (communes de Saint-Nazaire, Donges, Montoir-de-Bretagne, La-Chapelle-Launay, Lavau-sur-Loire, Bouée, Cordemais, Saint-Etienne-de-Montluc, Couéron, Basse-Indre, Saint-Jean-de-Boiseau, Le Pellerin, Rouans, Vue, Frossay, Saint-Viaud, Paimboeuf, Saint-Père-en-Retz, Corsept)**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Au niveau de la rive droite, une bonne partie des rives de Corsept a subi une érosion. Des zones d'érosion ponctuelle se retrouvent sur les rives jusqu'au Pellerin.

#### Submersion (synthèse en illustration 126)

#### Rive droite

##### Saint-Nazaire

Voir planches cartographiques **25000-44-7 et 25000-44-8**

Au niveau du quartier de Méan, des entrées d'eau se sont produites par débordement, en rive droite de la rivière du Brivet.

Les laisses de submersion relevées vont de 4,10 m NGF à 3,77 m NGF pour la plus éloignée de la rivière.

##### De Donges à Boué

Voir planches cartographiques **25000-44-9 à 25000-44-12**

Le long du fleuve, le débordement généralisé des rives a entraîné la submersion d'une bande de territoire sur une largeur allant de 1,5 à 2,5 kilomètres (illustration 119).

Dans la partie ouest, la remontée des eaux dans le canal de Martigné a entraîné la submersion de surfaces importantes au nord de la RD 100, notamment dans le marais de Donges, jusque sur le territoire de la commune de Prinquiau, au niveau de la RN 171, à environ 6 km de la rive de la Loire.

Plus à l'ouest, la submersion a progressé vers le nord par circulation d'eau dans les canaux et étiers. On notera en particulier le canal de la Taillée, alimentant vraisemblablement à la fois la submersion du marais de Donges et du marais de la Blanche Couronne (Illustration 126).

Sur les communes de Lavau-sur-Loire (illustration 120) et Bouée (illustration 121 et 122), la submersion s'est propagée vers le nord par les canaux et les étiers. En particulier, elle s'est étendue au delà de la RD 90 jusqu'au marais de la Roche (Illustration 126), par l'ouvrage hydraulique de l'étier du Syl passant sous la chaussée.

Au sud du bourg de Lavau, quelques habitations ont été submergées. Les laisses de submersion ont été mesurées à environ 4,15 m NGF. Étant donnée la topographie locale, la hauteur d'eau est restée inférieure à 1 mètre.

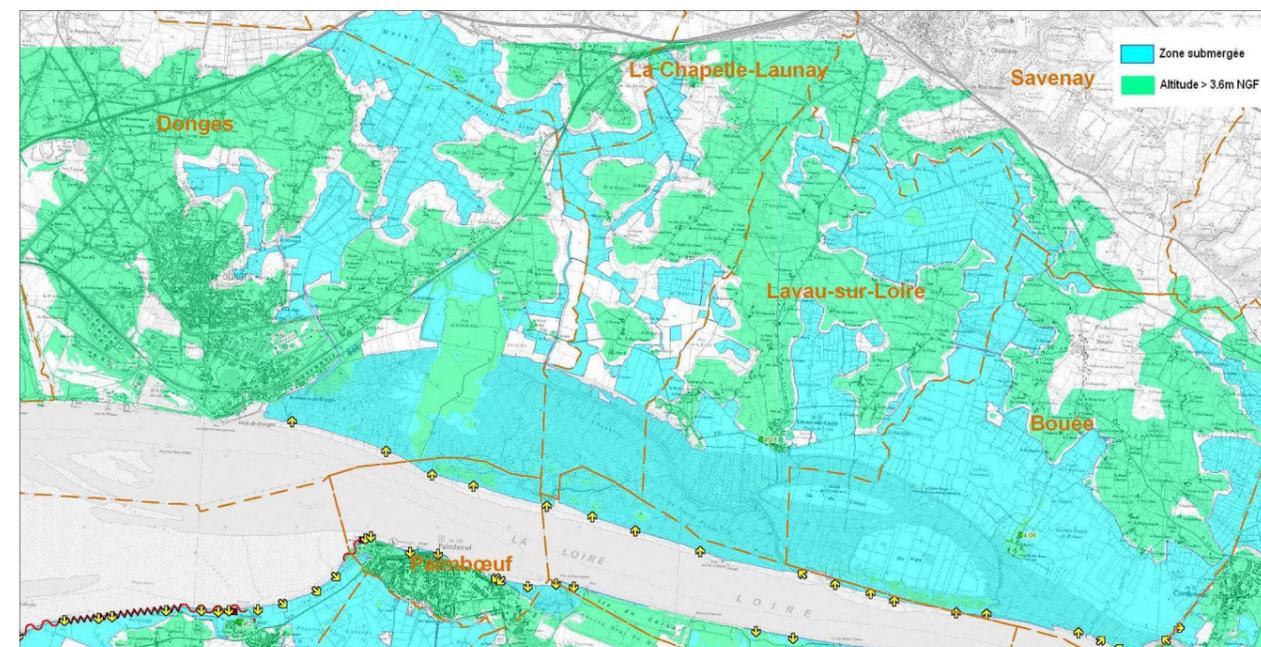


Illustration 119 : Topographie et submersions de Donges à Bouée

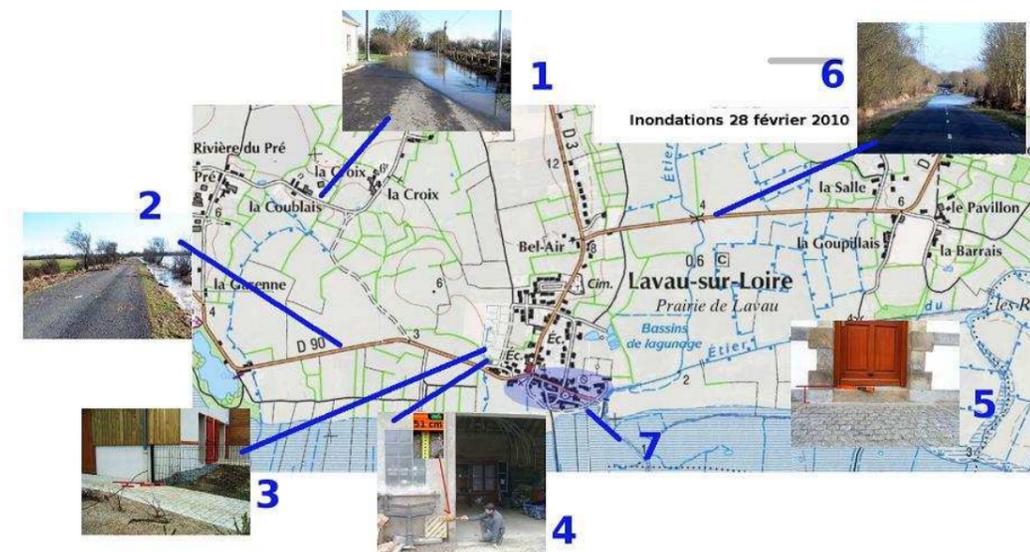


Illustration 120 : Submersions à Lavau-sur-Loire – DDTM44

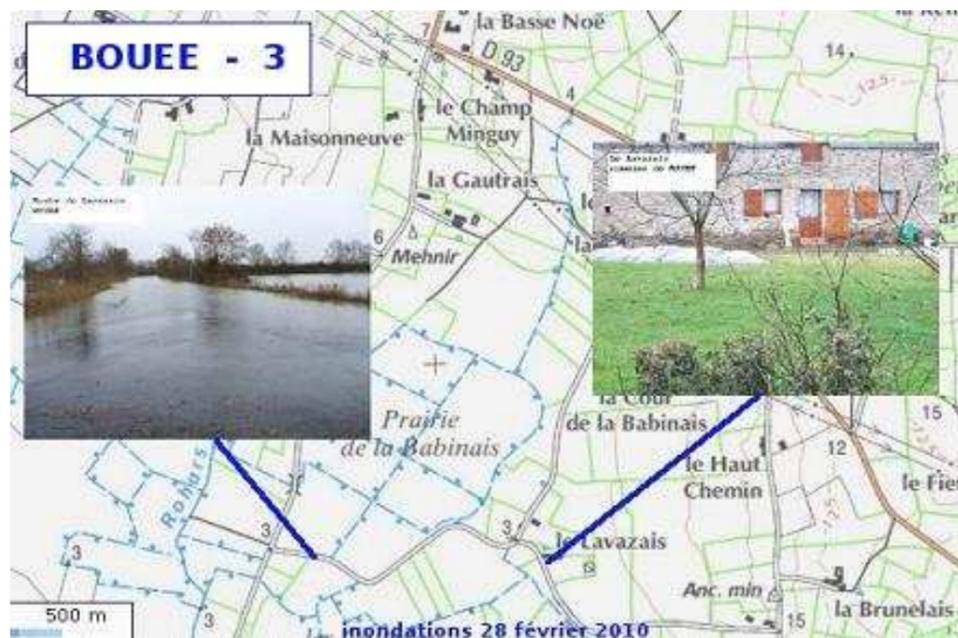


Illustration 121 : Submersion à Bouée – DDTM44



Philippe Graindorge - Gerpho

Illustration 122 : Rive droite de la Loire (Bouée) – GIP Loire-Estuaire

### Cordemais

Voir planche cartographique **25000-44-12**

Au nord du bourg, à la frontière avec le bourg de Bouée, le canal du Marais de la Roche (Illustration 126) a permis des entrées d'eau au delà de la RD 93 (franchie par l'ouvrage hydraulique), inondant les marais situés de part et d'autre sur les deux communes. Au nord du périmètre, la submersion a atteint par endroit les abords de la voie ferrée.

A l'est du bourg, la submersion a atteint le marais du Lot, principalement par remontée des eaux par l'étier du Port.

### Saint-Etienne-de-Montluc et Couëron

Voir planches cartographiques **25000-44-12 à 25000-44-15**

Le débordement généralisé du fleuve sur les rives a entraîné la submersion des marais situés plus au nord, la propagation des eaux ayant été facilitée par l'importante densité d'étiers et de canaux (illustration 123). L'inondation (illustration 124) a atteint la limite des villages situés en bordure des marais.

Aux abords de la ville de Couëron, la submersion a touché le quartier du Port de Launay et le quartier du Pont de Retz. Dans le premier cas, les zones les plus basses ont été inondées directement par débordement du fleuve, dans le second cas, l'eau s'est propagée par remontée dans le réseau secondaire des étiers.



Philippe Graindorge - Gerpho

Illustration 123 : Réseau hydraulique du Marais de Saint-Etienne-de-Montluc - GIP Loire-Estuaire



Illustration 124 : Marais de Saint-Etienne-de-Montluc - GIP Loire-Estuaire

### Indre

Voir planche cartographique **25000-44-15**

Les zones les plus basses en rive de la Loire ont été touchées, en particulier l'île de la Motte et une partie de la Montagne (rive gauche). La présence d'un étier a permis la progression de la submersion qui a touché quelques bâtiments dans les terres, au niveau de Basse-Indre.

### **Rive gauche (illustration 125)**

#### De Bouguenais à Saint-Jean-de-Boiseau

Voir planches cartographiques **25000-44-14 et 25000-44-15**

De même qu'en rive droite, les zones les plus basses en rive gauche de la Loire ont été submergées. Des inondations de bâtiments ont été relevées en particulier à la Roche-Ballue (commune de Bouguenais) et au niveau du quartier Boiseau à Saint-Jean-de-Boiseau, suite à la remontée d'eau dans le réseau hydraulique secondaire.

#### Le Pellerin, Frossay et Saint Viaud

Voir planches cartographiques **25000-44-12, 25000-44-13 et 25000-44-16**

Le débordement de la Loire a entraîné la submersion des îles de la Loire, topographiquement basses. L'inondation n'a cependant pas dépassé le canal de la Martinière, qui délimite ces îles dans leur partie sud. Les terrains situés au sud de ce canal, dont certains sont pourtant situés à basse altitude, n'ont pas été touchés.

### Paimboeuf

Voir planches cartographiques **25000-44-16 et 25000-44-17**

Le bourg de Paimboeuf étant situé en majeure partie à une altitude supérieure à 4,5 m NGF, seule une frange du territoire localisée en bordure immédiate de la Loire a été submergée.

Les conséquences sur les habitations se limitent à quelques caves inondées.

### St Père en Retz

Voir planches cartographiques **25000-44-16 et 25000-44-17**

Une partie des marais situés au nord de la commune a été submergée.

Les eaux de submersion proviennent d'une part du débordement de l'estuaire au niveau du trait de côte de la commune de Corsept. La submersion s'est ensuite propagée vers l'est dans les zones de prairies, situées à basse altitude, en suivant des chemins préférentiels formés par les canaux.

D'autre part, plus à l'est, de l'eau en provenance d'un étier traversant la RD 723 a également pu alimenter la submersion. Il convient toutefois de rester prudent quant à la délimitation de la zone submergée à l'est de la voie ferrée. En effet, la contribution de la tempête Xynthia à la submersion de ce secteur n'a pas pu être clairement établie.

### Corsept

Voir planches cartographiques **25000-44-17 et 25000-44-18**

A l'est du bourg, au niveau du *Cul de l'Angle*, la rive se trouvant à basse altitude (inférieure à 3,60 m NGF), les entrées d'eau se sont propagées jusqu'au nord des marais de Saint-Père-en-Retz. La RD 77, dont les sections les plus basses sont inférieures à 4 m NGF, a pu être au moins localement inondée et n'a pas stoppé la progression de la submersion vers l'est.

Au sud du bourg, la submersion s'est propagée grâce à la présence d'un système de canaux, jusqu'à environ 2,5 km du rivage.

A proximité immédiate du bourg, des laisses de submersion ont pu être relevées, indiquant des altitudes de 4,10 m NGF à 4,45 m NGF.

A l'ouest du bourg, la rive qui est protégée par des ouvrages a également été concernée par des entrées d'eau. Si les ouvrages ont subi des dégradations, aucune brèche n'a été relevée.

La partie la plus basse du système de protection étant inférieure à 4 m NGF, les altitudes des laisses de submersion relevées au niveau du bourg laissent penser que des entrées d'eau ont pu se produire sous forme de paquets de mer, voire de surverses localisées.

En arrière des protections, la submersion s'est propagée par les étiers, jusqu'à plus de 2 km du trait de côte, au delà de la RD 277 qui est toutefois restée hors d'eau.



Illustration 125 : Une partie de la submersion en rive gauche de la Loire - GIP Loire-Estuaire

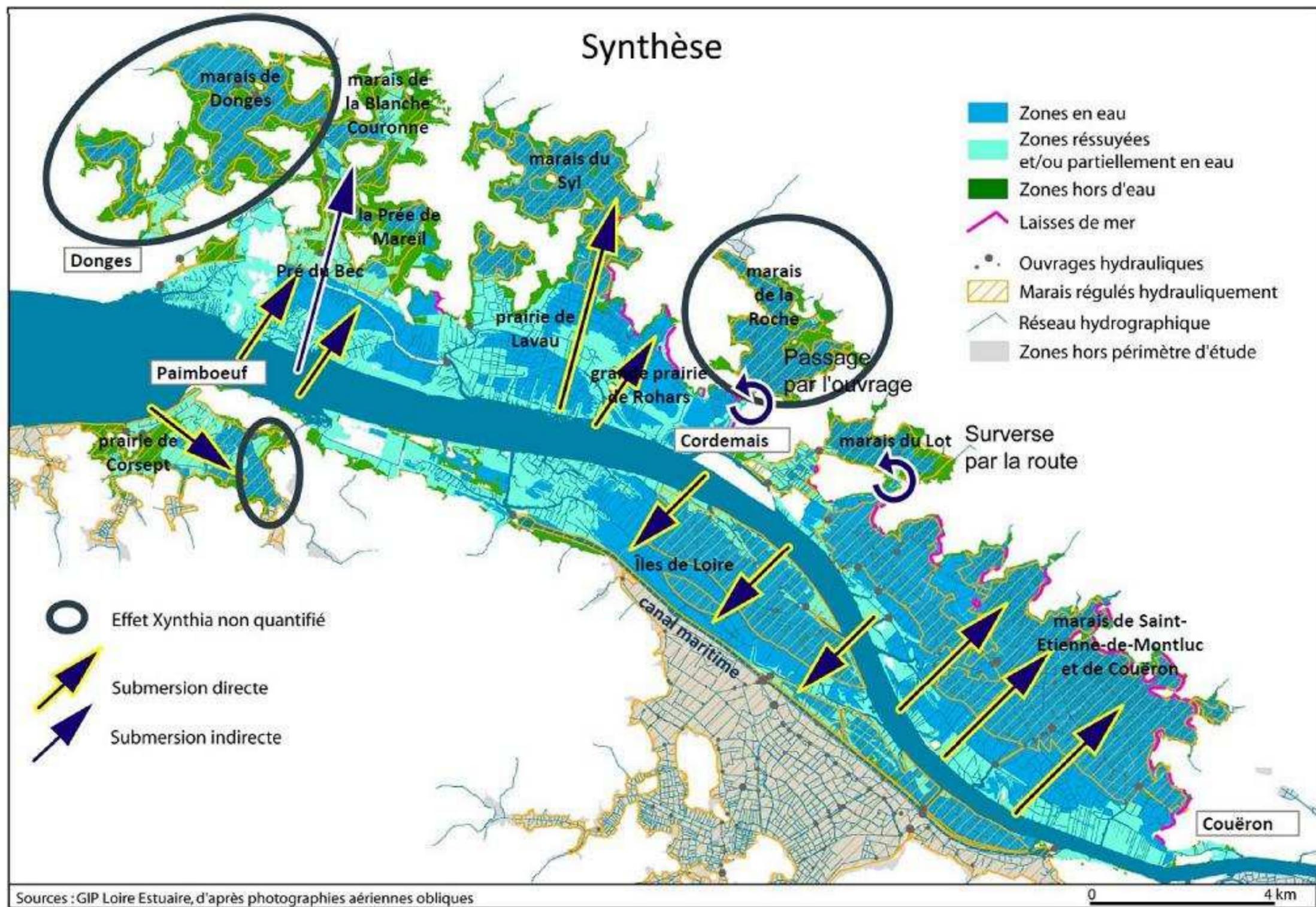


Illustration 126 : Estuaire de la Loire - Carte de synthèse de la submersion des marais - GIP Loire-Estuaire

### **3.1.1.g - Saint-Brévin-les-Pins**

Voir planches cartographiques **25000-44-8, 25000-44-17, 25000-44-18 et 25000-44-19**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Une érosion ponctuelle du littoral a été relevée à l'ouest de la commune.

#### *Submersion*

Les zones submergées se situent au nord de la commune.

Une première zone de submersion, à l'est du pont de Saint-Nazaire, a enregistré une laisse de submersion à 4,09 m NGF. Étant donnée la topographie locale, la hauteur d'eau est restée inférieure à 1 m dans cette zone qui comprend des habitations.

Les entrées d'eau principales se sont produites d'une part au niveau de la rive du fleuve, comprenant des secteurs inférieurs à 3,60 m NGF et d'autre part au niveau de l'étier du Bodon.

Plus à l'est, des secteurs de prés ont été submergés, jusqu'au delà de la RD 277. La protection en bordure du fleuve, en grande partie inférieure à 4 m NGF a donc été largement surversée. Certaines sections d'altitude inférieure à 3,60 m NGF ont constitué les entrées d'eau principales.

### **3.1.1.h - De Saint-Michel-Chef-Chef à Préfailles**

Voir planches cartographiques **25000-44-19 et 25000-44-20**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Au niveau de la commune de la Plaine-sur-Mer, quelques désordres par poussées hydrostatiques ont été recensés comme des soulèvements de parapets de digues, ainsi que la destruction du mur de La Tara.

#### *Submersion*

Le littoral de ces communes présente une alternance de plages et de côtes rocheuses avec des altitudes assez élevées. Aucune submersion n'a été relevée.

### **3.1.1.i - Pornic et La Bernerie-en-Retz**

Voir planches cartographiques 25000-44-21 et 25000-44-22

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Quelques érosions ont été constatées au niveau du port de Pornic et de son écluse ainsi qu'une dispersion des enrochements dans la commune de la Bernerie-en-Retz.

#### *Submersion*

Une partie du port de Pornic a été submergée de part et d'autre du canal, par débordement des quais. La laisse de submersion la plus élevée étant de 4,38 m NGF, la hauteur de submersion est restée inférieure à 1 mètre.

### **3.1.1.j - Les Moutiers-en-Retz et Bourgneuf-en-Retz**

Voir planches cartographiques 25000-44-22 et 25000-44-23

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Une brèche de 15 m a été recensée au niveau des Moutiers-en-Retz, ainsi qu'un recul dunaire de quelques mètres.

Le port du Collet, à cheval entre les Moutiers et Bourgneuf a subi divers désordres sur toute ses berges.

Des dégâts, provoqués ponctuellement par l'assaut des vagues, ont été relevés au nord du bourg des Moutiers (affouillements, érosion). Au sud de la commune, la tempête a provoqué l'érosion de la côte entre le port du Collet et le camping situé près du domaine du Collet.

#### *Submersion*

#### Bourg des Moutiers-en-Retz

Au nord, au niveau de l'Ermitage, une zone dépressionnaire a été inondée. La protection au droit étant dans ce secteur à une altitude de 4,70 m NGF, les entrées d'eau par l'océan ont ici été très certainement limitées. La commune indique que l'eau est arrivée par les canaux. Il est également possible que l'eau soit remontée par les canalisations d'eau pluviales.

Plus au sud, le bourg des Moutiers-en-Retz a été largement submergé (illustrations 127, 128 et 129). La progression de la submersion a été stoppée par le remblai de la voie ferrée, hormis un secteur où l'eau a pu progresser par un ouvrage hydraulique sous la voie.

Les entrées d'eau ont pu se produire dans les parties les plus basses de la protection de la côte (inférieures à 4,50 m NGF), composée d'un cordon dunaire surmonté d'un muret. Il est cependant difficile d'estimer si elles sont dues à des franchissements par surverse ou par paquets de mer.



Illustration 127 : Traces de surverse, Les Moutiers-en-Retz



Illustration 128 : Avenue de la mer, Les Moutiers-en-Retz – DDTM 44

La submersion qui a touché le bourg s'est ensuite écoulee vers le sud, en direction des marais. L'écoulement dans le réseau des canaux a par la suite eu un effet de dissipation. La commune précise en effet qu'il apparaît difficile de déterminer avec précision la limite des zones inondées dans les marais attribuable à l'effet de la tempête, mais précise toutefois que la station d'épuration n'a pas été atteinte.



Illustration 129 : Camping, Les Moutiers-en-Retz – DDTM 44

#### Port du Collet

La zone submergée (illustrations 130 et 131) s'étend de part et d'autre du canal du Falleron. Les entrées d'eau se sont produites par débordement des secteurs bas des rives du canal, inférieurs à 4 m NGF. Au nord du secteur, au Petit Collet, 5 maisons ont été inondées, avec des hauteurs d'eau comprises entre 0,4 m et 1,5 mètres. Les vitesses d'écoulement ont entraîné des dégâts importants sur la chaussée.

A l'est, la RD 758 a été franchie par la canalisation passant sous la chaussée au niveau du lieu-dit Les Œuvres. Les maisons présentes à cet endroit ont été isolées par la submersion, qui a atteint le seuil des portes, mais n'a pas pénétré à l'intérieur des bâtiments.



Illustration 130 : Secteur du port du Collet, Les Moutiers-en-Retz – DDTM 44



Illustration 131 : Secteur du port du Collet, Les Moutiers-en-Retz

### 3.1.2 - Vendée

#### 3.1.2.a - Bouin

Voir planches cartographiques **25000-85-01** et **25000-85-02**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Les digues protégeant les polders ont été durement impactées par la tempête. Une vingtaine de brèches se sont créées. Les autres ouvrages ont subi de nombreuses dégradations (décollement de perrés, fractures, ravinements).

#### Submersion

La quasi totalité du linéaire de façade marine de la commune a été touchée par des submersions.

Au nord, les polders de la Parisienne, qui se situent à des altitudes extrêmement basses, ont été largement submergés (illustration 132). Les entrées d'eau se sont produites par les brèches qui se sont formées sur la digue de la Parisienne d'une part et par le débordement en rive gauche du canal du port du Collet d'autre part.



Illustration 132 : Port du Collet et polder de la Parisienne - DREAL Pays de la Loire

De la pointe du Parracaud jusqu'au port du Brochet, la submersion concerne une bande de terrain en arrière des digues, d'une largeur allant de 150 à 200 mètres.

La submersion est ici due à une circulation d'eau longitudinale en arrière de la digue, en provenance du port du Brochet (au sud) et du polder de la Parisienne (au nord). La digue présente en effet sur ce secteur une altitude élevée (6 m NGF) et n'a pas subi de brèche.

Au sud du port du Brochet, des polders et des installations ostréicoles se trouvant directement en arrière du système de protection ont été submergés (illustration 133).

Des entrées d'eau se sont produites par débordement au niveau des ports (port du Brochet, port des Champs et port du Bec) et au niveau du Pré Paillé, au sud immédiat du port du Bec.

Les nombreuses brèches qui se sont formées sur les digues ont également contribué à la submersion des polders.



Illustration 133 : Polder des Champs (Bouin) - DREAL Pays de la Loire

### 3.1.2.b - Beauvoir-sur-Mer

Voir planches cartographiques **25000-85-05 et 25000-85-06**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Les désordres sont répartis sur le littoral de la commune. Quatre brèches se sont formées : 2 au nord du Gois à hauteur des zones de rattachement de l'ancienne digue et 2 au sud au niveau de l'entrée de l'étier.

L'étier de Sallertaine a été très impacté. Plusieurs zones d'érosion avec des désorganisations d'enrochements ont été recensées et le perré de la digue du grand pont au sud-ouest du bourg sur la RD 22 a éclaté.

### Submersion

Une surface de 678 ha a été submergée, la quasi-totalité du trait de côte a été surversé.

Au nord de la RD 948 (passage du Gois), des polders ont été submergés consécutivement à l'ouverture de brèches et par une surverse au nord.

Dans la partie sud de la commune, la submersion s'est étendue le long du grand étier de Sallertaine. A l'est, elle a atteint la RD 22, à environ 4 km à l'intérieur des terres. Les entrées d'eau se sont produites principalement par débordement de l'étier. En effet, si les dégâts sur les ouvrages de protection ont été nombreux dans cette partie sud de la commune, peu de brèches s'y sont produites.

En outre, les volumes d'eau entrant à l'entrée de cet étier ont pu se propager vers le nord, par écoulement dans le réseau secondaire (présent en particulier en arrière immédiat de la digue).

### 3.1.2.c - La Barre-de-Monts

Voir planches cartographiques **25000-85-05 et 25000-85-06**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Au nord, la digue du polder de la Petite Prise a subi une dégradation du perré en maçonnerie et la digue de la Taillée du polder des Rouches a également été touchée. La plage de Fromentine a subi un affouillement sous les dalles et au pied du mur de soutènement.

Au sud, la plage des Lays a reculé de 2 m sur un linéaire de presque 2 kilomètres.

### Submersion

La submersion a touché les polders du nord de la commune et s'est étendue plus au sud jusqu'en limite de la zone urbanisée de la commune.

Des entrées d'eau se sont produites par surverse à l'entrée de l'étier de la Tailleraie (frontière avec la commune de Beauvoir), à l'entrée du canal de la Taillée et au sud de l'ancien polder de la Prise, sur la façade océanique.

L'eau a également pu progresser par deux brèches importantes, l'une le long du canal de la Taillée, l'autre à l'extrémité sud des installations ostréicoles (Le Tendeau).

Plus à l'intérieur des terres, le long de l'étier de la Tailleraie, la hauteur de la digue (environ 4,20 m NGF) laisse supposer que les éventuelles entrées d'eau y ont été peu importantes.

### 3.1.2.d - L'île de Noirmoutier

Voir planches cartographiques **25000-85-03 à 25000-85-05**

L'île comprend 4 communes. La façade sud-ouest de l'île est constituée sur la quasi totalité de sa longueur de cordons dunaires et de massifs forestiers d'altitude supérieure à 5,20 m NGF. La façade nord-est est constituée de zones basses poldérisées, excepté à l'est de Noirmoutier-en-l'Île où on retrouve un littoral constitué de plages, de dunes et de massifs forestiers en arrière.

### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

#### Barbâtre

Un recul d'environ 2 m du cordon dunaire (façade sud-ouest) est constaté sur un linéaire de plus de 6 kilomètres. Des affouillements importants ainsi que des dégâts sur la structure des digues de la pointe de la Fosse ont été constatés.

Des dégradations multiples et des zones d'érosion ont été constatées sur le littoral des secteurs inondés de la façade nord-est.

#### Noirmoutier-en-l'Île

Divers dégâts ont été constatés. L'écluse du Moulin a subi une fissuration du béton en partie supérieure du quai. La digue Jacobsen a subi un glissement sur un tiers de sa longueur côté marais au niveau de Banzeau. Au Fort Larron, le muret de la digue s'est effondré.

Le rivage est, du Fort Larron à la pointe de Saint-Pierre, a subi des dégâts avec notamment un recul généralisé de 1 m du trait de côte sur environ 1,7 km de plage. Au nord de la commune, le perré en enrochements de la plage de la Clère présente une désorganisation des blocs de tête sur une longueur d'environ 250 mètres. A l'extrémité est de cette plage, dans le quartier du Moulin de la Lande, des murs en maçonnerie ont subi une brèche et un affouillement important.

A la pointe des Charniers, dans le secteur de la Madeleine, la dune présente une brèche de 4 m de long en bout de mur, une zone d'érosion (au bout de la RD 95) et un recul de quelques mètres sur une longueur d'environ 170 m du côté de l'ancienne Abbaye (La Blanche). L'effondrement d'un mur en maçonnerie a été également constaté.

Sur le littoral ouest, à la pointe de l'Herbaudière, on note un recul de la côte de 2 m à l'intérieur des terres sur une longueur d'environ 60 mètres. Plus au sud, le cordon dunaire au niveau du parking des camping-cars a subi un glissement sur 30 m de long et plus bas, on constate une érosion en arrière des protections. La plage de Luzéronda a subi un recul de 5 m sur plus d'1 km de long avec à son extrémité sud des zones érodées.

#### L'Épine

La digue du Terrain Neuf, sur la côte est, présente un ravinement en pied.

#### *Submersion*

#### Barbâtre

Plusieurs zones de submersion se sont produites sur la côte orientale. Deux entrées d'eau de faible ampleur ont été constatées dans la partie méridionale.

Les zones de submersion les plus importantes sont situées de part et d'autre de la RD 948 (passage du Gois) et ont pour origine des surverses localisées du système de protection dont certaines sections sont inférieures à 4 m NGF. Une brèche a également été relevée entre la RD 948 et l'étang du Vide.

#### L'Épine

Des submersions se sont produites côté baie, dans des zones de marais salants et d'élevages aquacoles. L'altitude des ouvrages de protection directement en contact avec la baie étant relativement élevée (supérieure à 4,50 m NGF), les entrées d'eau ont eu lieu par débordement des rives des étiers des Coëfs et de l'Arceau, d'altitudes plus basses (inférieures à 4 m NGF, voire 3,70 m NGF par endroits).

#### Noirmoutier-en-l'Île

Une submersion s'est produite des deux côtés du port, par débordement des rives (par endroits inférieures à 4 m NGF). Au nord du canal, l'eau qui a inondé la zone urbanisée s'est ensuite écoulee, au moins en partie, vers les marais de la réserve naturelle.

Plus à l'est, à l'extrémité de la digue Jacobsen, des entrées d'eau se sont produites par surverse.

Au nord de la plage des Sableaux, deux zones de surverse ont eu pour conséquence la formation d'une nappe d'eau, atteignant une altitude d'environ 3 m NGF.

Enfin, sur la côte nord de la commune, quelques entrées d'eau de faible ampleur se sont produites par surverse du cordon dunaire.

#### **3.1.2.e - Notre-Dame-de-Monts**

Voir planches cartographiques **25000-85-06 et 25000-85-07**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La majorité du littoral formé par les cordons dunaires a subi une érosion caractérisée par un recul de la protection allant de 1 à 5 mètres.

Sur la plage du Murier, un recul de 1 m sur une longueur d'environ 900 m a été constaté sur la partie sud de la plage. Sur la partie nord, un recul de 5 m sur une longueur d'environ 2,5 km a été observé.

Seule la partie de la plage des Parées n'a pas été endommagée.

#### *Submersion*

La quasi-totalité de la façade littorale de la commune est constituée d'un cordon dunaire dont la hauteur est supérieure à 5,20 m NGF. Aucune zone submergée n'a été constatée.

#### **3.1.2.f - Saint-Jean-de-Monts**

Voir planches cartographiques **25000-85-07 et 25000-85-08**

### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La commune a subi un recul du trait de côte sur les plages du nord et des dégâts sur les protections au sud au droit de la station balnéaire de Saint-Jean-de-Monts.

Les plages du Pont d'Yeu, de la Tonnelle, de la Parée et du Jonc ont subi un recul de 5 mètres. Le chemin d'accès à la plage de la Tonnelle a été détruit.

La quasi-totalité du front de mer de la station a subi de lourds dégâts sur les structures de protection : zone d'accrétion en pied du mur de soutènement et de l'escalier de l'esplanade, érosion au pied du mur de soutènement, épaufrures sur le couronnement du parapet, fracturation du plot en béton du couronnement du mur et destruction du couronnement de la rampe d'accès. L'estacade de la jetée a été partiellement détruite.

### *Submersion*

Le littoral étant essentiellement constitué de massifs dunaires de hauteurs supérieures à 5,20 m NGF, il n'y a pas eu sur la commune de zone inondée.

L'altitude du système de protection s'est avérée suffisante pour éviter les submersions, sauf au niveau de l'hippodrome où les dégâts sur le cordon dunaire (illustration 134) ont permis une entrée d'eau dans l'arrière-dune basse.



Illustration 134 : Dégâts sur le cordon dunaire (Saint-Jean-de-Monts) – ONF

### **3.1.2.g - Saint-Hilaire-de-Riez**

Voir planches cartographiques **25000-85-08 et 25000-85-09**

### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Le littoral de la commune a été touché sur plus de 8 km de long avec un recul du trait de côte atteignant par endroit 15 mètres.

Du nord au sud, la plage des Demoiselles a subi une diminution de son niveau de 1,10 mètres.

Les plages des Soixante Bornes et des Salins ont reculé de 15 m, la plage des Becs de 10 m (avec une érosion de 3 m en arrière des enrochements) et la Plage des Mouettes de 5 mètres.

La plage de la Pège a également reculé de 5 m, trois brèches se sont partiellement ouvertes et ont été remblayées juste après la tempête. Cette plage a également subi une désorganisation des enrochements ainsi qu'une disparition du sable en pied de rampe et une érosion du pied de la dune.

Le reste de la commune n'a pas été touché.

### *Submersion*

Il n'y a pas eu de submersion car la façade littorale est constituée essentiellement de massifs dunaires de hauteurs supérieures à 5,20 m NGF.

### **3.1.2.h - Saint-Gilles-Croix-de-Vie**

Voir planches cartographiques **25000-85-09 et 25000-85-10**

### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Quasiment toute la façade littorale de cette commune a été touchée par la tempête, qui a occasionné un recul dunaire sur les plages et des désordres sur les structures de protections.

Les trottoirs et les parapets au niveau de la plage de Boisvinet se sont effondrés suite à la surverse.

La plage de la pointe de la Garenne a subi un recul de 3 m tandis que le recul observé sur la Grande Plage de Saint-Gilles-Croix-de-Vie a été plus limité.

La digue de la Garenne a été cisailée en partie supérieure du mur en bout de jetée et le couronnement du mur de l'entrée de la digue a été détruit.

Des fractures horizontales ont été observées dans la partie arrondie du mur au droit du centre de réadaptation fonctionnelle.

### *Submersion*

Bien que le front de mer soit situé à une altitude relativement élevée, des franchissements par paquets de mer ont pu se produire.

D'autre part, des submersions ont été relevées aux abords du port, par débordement des rives de la Vie. D'après des informations transmises par la commune, des remontées d'eau dans le réseau d'eaux pluviales se sont également produites.

#### **3.1.2.i - Brétignolles-sur-Mer**

Voir planches cartographiques **25000-85-10** et **25000-85-11**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Un léger recul dunaire s'est produit à l'extrême nord, au niveau d'anciens blockhaus à hauteur du Pont Jaunay ainsi qu'au sud sur les dunes domaniales de Brétignolles-sur-Mer où le recul a été plus important (5 mètres).

La façade littorale du bourg de Brétignolles-sur-Mer a été touchée, notamment au niveau de la plage de la Parée où le mur poids en maçonnerie a été partiellement détruit. Plusieurs points d'entrée d'eau par surverse ont été repérés, la surverse a causé la déstabilisation des enrochements voisins. Un affouillement sous le perré a également été recensé.

Sur la plage du Marais Girard, on retrouve une érosion généralisée avec déstabilisation des enrochements et désordres ponctuels sur les structures de protection : sape des fondations, érosion de la crête du perré et déstabilisation du mur poids.

Deux brèches de 20 m de large se sont créées à l'embouchure du chenal du Havre, entraînant la destruction du barrage ainsi qu'une destruction partielle du mur poids en maçonnerie.

### *Submersion*

Au niveau de la plage de la Parée, la submersion, consécutive à une surverse, s'est par la suite propagée dans les rues parallèles à la plage avant de se dissiper.

A l'extrémité sud de la commune, les entrées d'eau qui se sont produites suite à la formation de brèches à l'écluse de la Gachère ont été « absorbées » par le lit du chenal du Havre, sans débordement.

#### **3.1.2.j - Olonne-sur-Mer**

Voir planches cartographiques **25000-85-11** à **25000-85-13**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La quasi-totalité du littoral de cette commune est constituée de plages qui ont toutes subi un recul de 2 à 10 m à la hauteur de la pointe rocheuse des Pierres Noires. Ce fort recul s'est par endroit accompagné d'une érosion des dunes. La route qui permet d'accéder à la plage au niveau du parking du lieu dit l'Étang Bourdin a été partiellement détruite.

### *Submersion*

Il n'a pas été consigné de submersion sur cette commune.

#### **3.1.2.k - Les Sables-d'Olonne**

Voir planche cartographique **25000-85-13**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

L'essentiel des dégâts causés par la tempête est localisé sur la façade du centre ville avec un affouillement sous les remblais, une destruction partielle des murs poids et des rampes d'accès et un arrachement des trottoirs sur la majorité de leur longueur (illustration 135). On note que les désordres sont nettement plus importants que dans les communes vues précédemment.

Un léger recul de la côte (1 m) a été relevé au nord de la commune, au nord du parking de l'Anse de Chaillé.

### *Submersion*

Il n'a pas été consigné de submersion sur cette commune.



Illustration 135 : Dégâts sur le remblai des Sables-d'Olonne – Ouest-France

### **3.1.2.l - Château-d'Olonne**

Voir planche cartographique **25000-85-14**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La commune, qui présente un linéaire côtier d'environ 5 km, a subi un léger recul du trait de côte (1 m) à la pointe et dans la baie de Cayola. Le mur de soutènement de la RD 32 de l'anse du Vieux Moulin, un peu plus au nord, a été complètement détruit.

#### *Submersion*

Il n'a pas été consigné de submersion sur cette commune.

### **3.1.2.m - Talmont-Saint-Hilaire**

Voir planches cartographiques **25000-85-14 et 25000-85-15**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Le littoral de la commune a subi un recul dunaire limité (1 m) au niveau du Bois de la Mine au nord de Bourgenay. Au sud, la plage du Veillon a subi un recul du trait de côte plus important que dans le nord de la commune, avec des valeurs de l'ordre d'une vingtaine de mètres notamment à la hauteur du méandre de la rivière Le Payré.

Au niveau du Grand Quezeau, des enrochements se sont effondrés et le mur de soutènement menace les habitations en arrière à long terme.

Au niveau du lieu dit Les Murailles, la cale est endommagée, les enrochements se sont effondrés et menacent d'interrompre la continuité du sentier piéton.

#### *Submersion*

La remontée d'eau dans le Payré a entraîné la submersion d'une partie des marais, atteignant au nord le village de la Guitière. Au sud de la commune, dans le village du Port, les bâtiments situés en bordure du marais, d'altitudes inférieures à 3,60 m NGF environ, ont été inondés.

### **3.1.2.n - Jard-sur-Mer**

Voir planche cartographique **25000-85-15**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La commune a subi un recul de son trait de côte de 2 m à la pointe du Payré, de 10 m à la plage de la Mine et de 5 m au niveau des plages de la Ragounite et de la Légère.

#### *Submersion*

Au nord de la commune, une partie des marais a été submergée, par remontée d'eau dans le Payré.

### **3.1.2.o - Saint-Vincent-sur-Jard**

Voir planches cartographiques **25000-85-15 et 25000-85-16**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La commune possède un linéaire de littoral restreint (moins de 2 km), qui a subi un recul quasi généralisé de 5 mètres. La dune au niveau de la maison de Clémenceau a été érodée de 3 mètres.

#### *Submersion*

Une petite zone basse d'environ 8 ha au lieu dit Les Roulettes a été inondée.

Il y a eu ici la conjonction de plusieurs phénomènes. D'une part, des entrées d'eau se sont produites localement par surverse des ouvrages de protection au niveau de la plage du Goulet (commune de Longeville-sur-Mer). D'autre part, la montée du niveau de l'eau côté océan a bloqué l'écoulement habituel de la rivière par la canalisation passant sous la RD 19, entraînant en amont des débordements.

### **3.1.2.p - Longeville-sur-Mer**

Voir planche cartographique **25000-85-16**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La façade littorale de la commune est constituée d'une forêt domaniale bordée de plages, qui ont pour la plupart subi une érosion. La zone érodée au niveau du lieu-dit Le Rocher menace les habitations.

#### *Submersion*

Au niveau de la plage du Goulet, quelques entrées d'eau se sont produites par surverse (voir commune de Saint-Vincent-sur-Jard).

### 3.1.2.q - La Tranche-sur-Mer

Voir planches cartographiques 25000-85-16 à 25000-85-18

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La commune présente un linéaire de côte d'une quinzaine de kilomètres qui a été touché dans son ensemble par la tempête. C'est l'une des trois communes les plus impactées en Vendée.

La partie nord de la commune a subi un recul du trait de côte d'environ 5 mètres.

De la plage de la Côte Sauvage à la Grande Plage, une érosion et un recul de 10 à 15 m de la dune ont été observés ainsi que plusieurs destructions ponctuelles, notamment celles de blockhaus.

De la Grande Plage aux Rouillères, le même genre de désordre est présent : une érosion générale du trait de côte d'une dizaine de mètres, des destructions ponctuelles de murs et des affouillements des fondations de bâtiments situés en front de mer (illustration 136).



Illustration 136 : Dégâts sur le front de mer (La Tranche-sur-Mer)

La zone de la Belle Henriette a subi une très forte érosion de la dune allant jusqu'à 35 m au niveau de la zone des Rouillères.

De nombreuses brèches se sont ouvertes ; la plus grande, qui mesurait 170 m au sud de la commune, est à l'origine d'une submersion de la lagune, d'inondations au niveau des campings, de désordres sur les protections de second rang (destruction d'un mur en gabions le long de la route départementale, affouillements en arrière des ouvrages) et de la submersion des terres situées en arrière de ces protections.

### *Submersion*

Une surface de 33 ha a été submergée.

A l'ouest de la commune, les dégradations de la dune et des enrochements ont mis en communication le plan d'eau du Maupas avec l'océan. Après la tempête, une brèche a du être ouverte dans le cordon dunaire pour permettre l'évacuation des eaux.

A l'est de la commune, les nombreuses brèches et zones de surverse dans le cordon dunaire ont entraîné des entrées d'eau massives dans la lagune de la Belle-Henriette, avec pour conséquence une submersion atteignant le camping des Rouillères et le quartier des Jars.

### 3.1.2.r - La Faute-sur-Mer

Voir planches cartographiques 25000-85-18, 25000-85-23 et 25000-85-24

Cette commune est essentiellement constituée d'une bande de terre d'1 km de large en moyenne pour une longueur d'environ 10 km, comprise entre l'océan et la rivière le Lay.

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

Le cordon dunaire a subi une forte érosion sur toute la façade maritime de la commune, de nombreuses brèches en formation ont été constatées. Les accès aux plages, considérablement élargis par l'action des vagues et du vent, représentaient des interruptions de la protection qui ont constitué les principaux points d'entrée de l'eau.

Sur les rives du Lay, les interruptions de protection sont la principale origine de l'entrée de l'eau dans les zones urbanisées. A noter qu'en plusieurs points ont été constatés des désordres dont les caractéristiques montrent qu'ils se sont formés au moment du retrait des eaux (affouillements côté Lay liés à une surverse provenant de l'intérieur des terres), donnant ainsi une idée de la force du courant et de la hauteur d'eau atteintes à l'intérieur des terres.

Sur les digues des parcs ostréicoles, qui constituaient le premier rideau d'ouvrages de protection contre les inondations, ont été constatés de multiples désordres (affouillements et érosions principalement), qui indiquent que ces ouvrages ont été intégralement surversés.

### *Submersion*

La submersion qui a touché la commune de La Faute-sur-Mer s'est avérée particulièrement violente et a causé la mort de 29 personnes. L'illustration 137 montre son extension et les hauteurs d'eau atteintes sur cette commune.

### *Quartiers Nord*

Les quartiers Nord de la commune ont été touchés par la submersion, du quartier des Violettes jusqu'à celui de la Chenollette, avec coupure de la RD 46.

#### Entrées d'eau côté océan

Une brèche très importante s'est formée (à l'emplacement d'une entrée de plage) dans le cordon dunaire de la Belle-Henriette au droit du chemin du Platin.

Plus au sud, au droit du parking de la plage du centre-ville, une entrée d'eau importante s'est produite au niveau d'un accès à la plage aménagé dans le cordon dunaire, accès qui s'est considérablement élargi sous l'effet de la tempête.

Il est important de noter que si le cordon dunaire a subi de nombreuses brèches et surverses, celui-ci n'a pas été totalement arasé et a pu limiter le volume des entrées d'eau. Derrière ce cordon, la lagune a joué un rôle de rétention, limitant la propagation de la submersion.

#### Entrées d'eau côté Lay

De nombreuses entrées d'eau ont été relevées le long de la digue Est, en raison de la formation d'une brèche et de zones de surverse. Les laisses de submersion, ici inférieures à 3 m NGF, montrent que le système de protection a tout de même permis de limiter l'ampleur de la submersion.

#### **Quartiers Sud**

La submersion s'est étendue tout le long de la digue Est, du pont de la RD 46 sur le Lay jusqu'à la pointe d'Arçay, touchant une partie importante des habitations. En particulier, le quartier de Claire Joie, se trouvant immédiatement derrière la digue dans une cuvette topographique, a été le plus durement touché, en terme de hauteur de submersion et de vitesse de montée des eaux.

#### Côté océan

Le cordon dunaire de l'ouest étant ici bien plus élevé que dans sa partie nord (jusqu'à 10 m NGF par endroits), aucune entrée d'eau ne s'est produite côté océan.

#### Côté Lay

La digue Est, qui n'a pas subi de dégâts importants, a été touchée par un phénomène de surverse sur une partie importante de son linéaire : environ 2000 m au moment de la marée haute. Bien que la lame d'eau soit certainement restée inférieure à 50 cm, la longueur de la partie mouillée a entraîné des débits de débordement importants. L'intensité du phénomène de submersion a été très importante, en particulier dans le secteur de Claire Joie, avec par endroit une hauteur de submersion élevée (jusqu'à 2,50 m) et une montée des eaux très rapide de l'ordre d'une vingtaine de minutes pour 1,50 m à l'intérieur d'une maison proche de la digue (d'après témoignages).

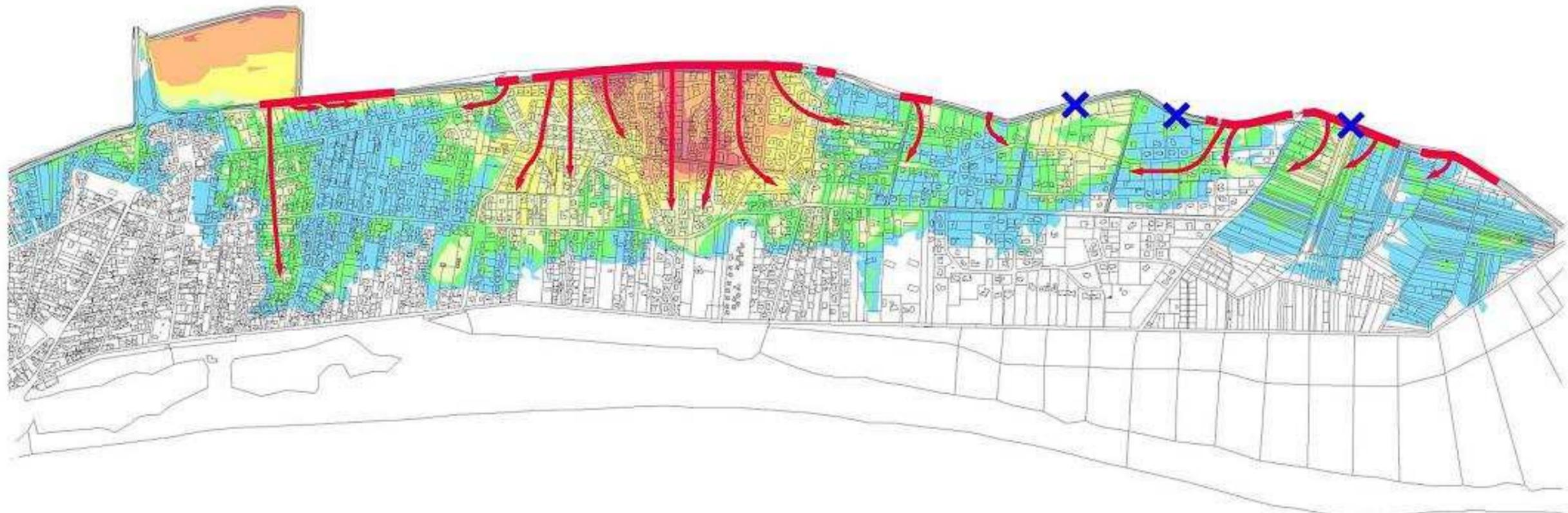
A l'extrémité sud de la commune, la pointe d'Arçay a également subi des entrées d'eau, qui se sont produites par surverse et par formation de brèches dans les digues. Ces entrées d'eau n'ont a priori pas aggravé la submersion du quartier des Amourettes, situé plus au nord, puisque les écoulements se sont effectués dans ce secteur en direction du sud.

#### Remarques sur les laisses de submersion

De nombreuses laisses de submersion ont été relevées, elles présentent des différences d'altitude sensibles, de 3,50 m NGF à 4,50 m NGF environ, pas forcément en lien avec leur éloignement par rapport à la digue (le niveau du Lay a donc quant à lui atteint une altitude supérieure à 4,50 m NGF).

En conséquence, la nappe de submersion constatée n'était pas « plane ». Les hauteurs relevées correspondent à la hauteur maximale atteinte par l'eau, qui n'a pas forcément eu lieu au même moment partout. La propagation de la submersion, favorisée par les réseaux (routes, canalisations) d'une part et déviée par les obstacles (bâtiments, murs, végétations, etc...) d'autre part, apparaît donc comme particulièrement complexe dans cette zone urbanisée.

h = 4,50m  
L = 1917m



-  Écoulement probable des eaux de submersion
-  Zones probables de surverse des digues
-  Zones de brèches localisées

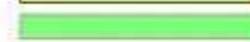
	3.50	≤ Hauteur d'eau <
	3.00	≤ Hauteur d'eau < 3.50
	2.50	≤ Hauteur d'eau < 3.00
	2.00	≤ Hauteur d'eau < 2.50
	1.50	≤ Hauteur d'eau < 2.00
	1.00	≤ Hauteur d'eau < 1.50
	0.50	≤ Hauteur d'eau < 1.00
	0.00	≤ Hauteur d'eau < 0.50



Illustration 137 : Écoulements et hauteurs de submersion (La Faute-sur-Mer) – DDTM85 « Tempête Xynthia – Rapport technique de première analyse »

### 3.1.2.s - L'Aiguillon-sur-Mer

Voir planches cartographiques **25000-85-18 et 25000-85-19, 25000-85-23 et 25000-85-24**

#### *Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte*

La commune a subi une érosion importante, au niveau du lieudit les Grands Relais, avec un affaissement de talus ainsi que de nombreux dégâts sur le pont de la RD 46 comme une fracturation et une disparition du béton.

Du pont de la RD 46 à la digue du Génie, de nombreux affouillements se sont créés, ainsi que quelques brèches notamment au niveau de la jetée des Caves.

La digue du Génie a été très endommagée par la tempête et comptabilise, à elle seule, une centaine de désordres, avec de nombreuses disparitions du parement ainsi que des destructions du corps de la chaussée et la création de plusieurs cavités.

Au niveau de la pointe de l'Aiguillon, plusieurs brèches ont été ouvertes dans le cordon dunaire, la plus importante sur une longueur de 133 m sur la plage de la Batterie. Une forte érosion avec la mise à jour ponctuelle du platier rocheux affecte la pointe de l'Aiguillon.

Enfin, plusieurs points bas présents sur les ouvrages de protection des polders de la baie de l'Aiguillon ont favorisé la submersion des terres agricoles.

L'ensemble de ces désordres indique une surverse quasi généralisée des ouvrages.

#### *Submersion*

L'illustration 139 montre l'extension et les hauteurs d'eau atteintes sur cette commune.

#### Bourg de l'Aiguillon et sud du territoire de Grues

Du pont sur le Lay jusqu'au quartier des Caves, le bourg de l'Aiguillon est construit sur un ancien cordon dunaire qui forme une croupe entre l'estuaire et le marais de la Dive.

La totalité des quartiers en façade du Lay a été touchée par la submersion. Les relevés de laisses de submersion indiquent des altitudes élevées, supérieures pour certaines à 4,70 m NGF, voire 5 m NGF pour l'une d'entre elles. Ces hauteurs s'avèrent supérieures à celles relevées dans le bourg de la Faute sur Mer. La position de la rive, plus exposée aux entrées de la houle dans l'estuaire pourrait expliquer cette différence.

L'altitude relativement élevée des planchers des habitations, presque toujours supérieure à 4 m NGF, a généralement permis de limiter les dégâts. Toutefois, lorsque l'eau était canalisée par le bâti, les vitesses d'écoulements ont été fortes, provoquant, par érosion du sol sablonneux, des dégâts importants à plusieurs bâtiments.

En amont du pont, les points bas de la digue du Lay ont été submergés avec des venues d'eau particulièrement importantes à proximité du pont. Cette digue, proche du lit mineur, est éloignée des lieux habités ce qui a modéré la vitesse de montée des eaux.

En façade du Lay, l'eau est montée à environ 4,5 m NGF, sauf à proximité du pont où plusieurs relevés indiquent 5 m NGF. En raison de l'altitude du sol, la hauteur d'eau dans les maisons est restée inférieure à 1 m, sauf quelques cas de topographie en cuvette ou de niveaux semi-enterrés. A l'extrémité nord, sur le territoire de Grues (quartier de Bel-Air), une petite quantité d'eau a franchi la ligne de crête sans faire de dégâts.

En partie sud du bourg, l'eau a franchi le cordon dunaire et s'est déversée dans le marais en traversant les quartiers bâtis (les Glaireaux, les Marais Verts, Gâte-Bourse, les Caves, illustration 138). La lame d'eau a été peu épaisse sauf dans le quartier des Caves où le cordon littoral s'abaisse localement jusqu'à 3 m NGF au débouché nord du chemin du Fort : le courant a entraîné de grandes quantités de sable, ruiné une maison et inondé sous plus d'un mètre d'eau les maisons situées en face, à l'est de la route de la Pointe.



Illustration 138 : Dégâts suite à des écoulements violents, lieudit Les Caves (L'Aiguillon-sur-Mer)

Dans le quartier de la pointe du Fort des phénomènes d'érosion ont été observés, même là où la submersion était moins importante, en raison de l'aménagement très sommaire du site, qui laissait souvent à nu le sable dunaire, et de l'effet des vagues, déjà sensible au débouché de l'estuaire du Lay. Les fondations d'une maison ont été gravement affouillées plaçant les occupants en position très précaire. Une construction légère a été détruite.

Le réseau d'évacuation des eaux usées s'est mis en charge provoquant, avant même l'arrivée de l'inondation, des reflux nauséabonds dans de nombreuses maisons.

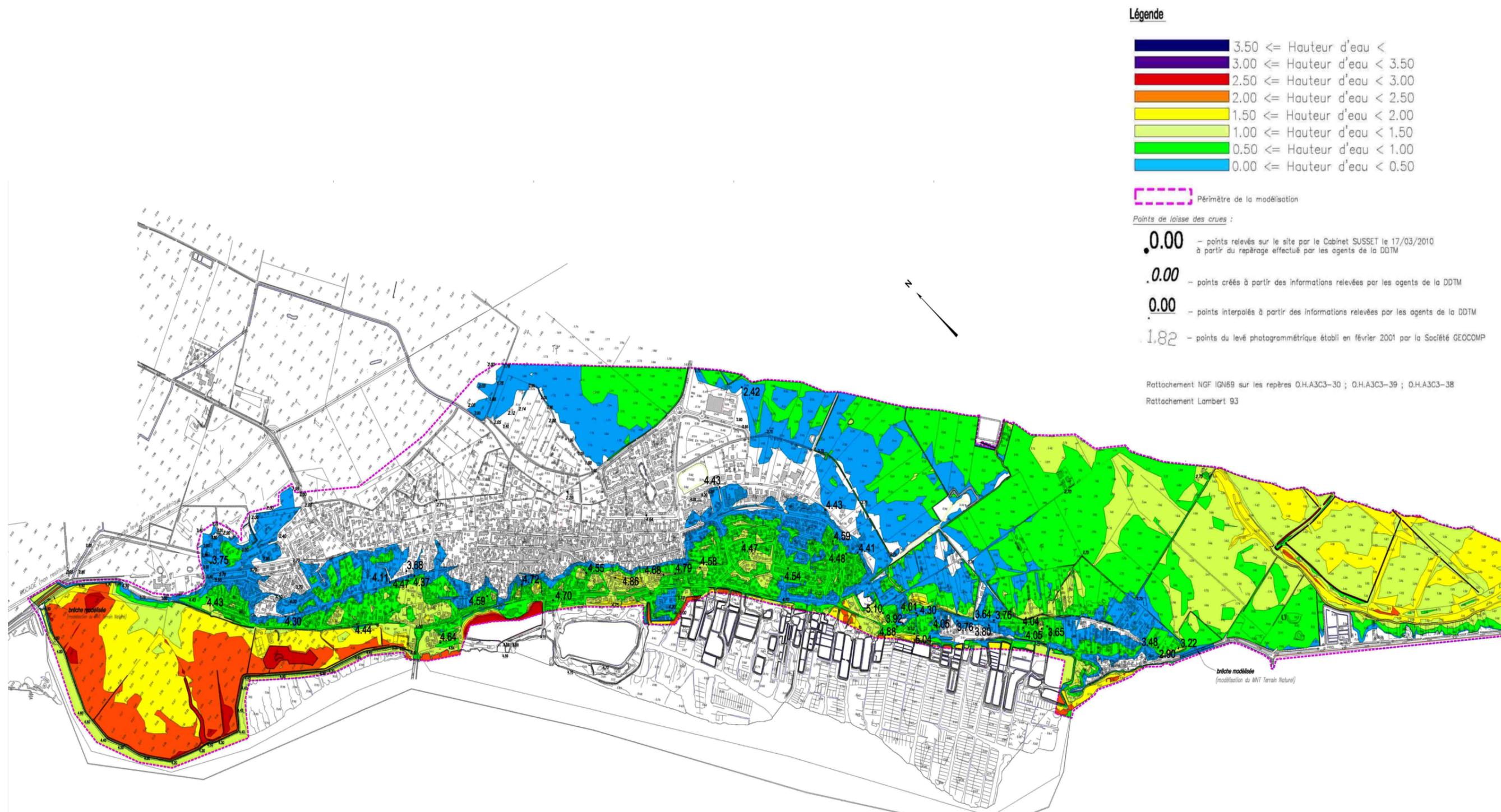


Illustration 139 : Écoulements et hauteurs de submersion (L'Aiguillon-sur-Mer) – DDTM85 « Tempête Xynthia – Rapport technique de première analyse »

### La Pointe de l'Aiguillon

Les quartiers du Génie et des Sablons sont desservis par la route de la Pointe de l'Aiguillon s'appuyant sur la digue du Génie, construite au 19<sup>ème</sup> siècle pour protéger les vastes polders progressivement gagnés sur la baie de l'Aiguillon depuis le moyen-âge.

La submersion qui a touché cette partie de la commune est due à la fois aux entrées d'eau provenant de l'estuaire du Lay, mais également aux entrées d'eau massives qui se sont produites dans le marais de la baie de l'Aiguillon.

A l'extrémité nord du secteur, au sud immédiat de La Pergola, la brèche qui s'est formée a coupé la route de la Pointe de l'Aiguillon, et des volumes d'eau importants se sont déversés dans les marais en contre-bas.

La digue du Génie, dont la cote varie de 5,50 m NGF à 6,50 m NGF n'a probablement pas été surversée. Toutefois, en raison de l'orientation de l'estuaire, elle a été fortement exposée aux trains de vagues pénétrant dans l'estuaire, avec pour conséquences de nombreux points d'entrées d'eau par projections de paquets de mer, qui ont été confirmés par les observations de terrain.

Plus au sud, de nombreuses entrées d'eau se sont produites au niveau des secteurs les plus bas de la dune des Sablons, qui a par endroits été arasée à 4 m NGF.

#### **3.1.2.t - Marais Poitevin**

Le Marais Poitevin, sur sa frange littorale et jusqu'à plus de 5 km à l'intérieur des terres, a été fortement inondé.

L'ensemble des digues littorales a subi une surverse, à l'origine de la submersion des terres. La présence de points bas préexistants, voire l'absence ponctuelle de protection, n'aurait pas empêché la submersion, même si les ouvrages avaient eu une revanche suffisante par rapport à la cote atteinte par l'eau.

#### **Saint-Michel-en-l'Herm**

Voir planches cartographiques **25000-85-18, 25000-85-19 et 25000-85-23**

### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Une importante érosion des digues en terre délimitant les terres agricoles du marais a été constatée. Plusieurs points d'entrée d'eau (points bas ou interruptions de la protection) ont été recensés, ainsi qu'une importante érosion des digues en terre dans la partie sud de la commune.

### Submersion

La submersion a recouvert une grande partie des terres agricoles du Marais Poitevin situées au sud du bourg (hormis l'île de la Dive), la limite de submersion se situe à environ 1 km du bourg. Une zone limitée inondée a été également constatée au nord-ouest du bourg, en lien avec une remontée d'eau par un étier.

A l'extrémité sud du marais, les entrées d'eau ont été extrêmement massives au niveau des digues du front de mer qui ont été surversées et ont subi des dégâts extrêmement importants. Une modélisation réalisée par le CETMEF a estimé les volumes entrant à 17 millions de m<sup>3</sup>.

Une fois le premier rang de digues franchi, la submersion a tout d'abord progressé par les canaux, remplissant progressivement les casiers hydrauliques formés par les digues. La circulation d'eau a été particulièrement importante au niveau du chenal de la Raque, à la frontière avec la commune de l'Aiguillon.

La topographie a joué un rôle important dans la dynamique de la submersion du marais, celle-ci ayant continué sa progression après le pic de marée haute. En effet, ce vaste polder présente schématiquement une pente « inversée » au delà de la digue du Maroc : les terrains à l'arrière de la digue se trouvent à une altitude inférieure à celle des terrains plus proches de la baie. Le profil en long présenté sur l'illustration 140) permet de visualiser une ligne d'eau d'altitude 1,80 m NGF, valeur correspondant à une laisse de submersion relevée au lieu-dit Les Mi-sottes.

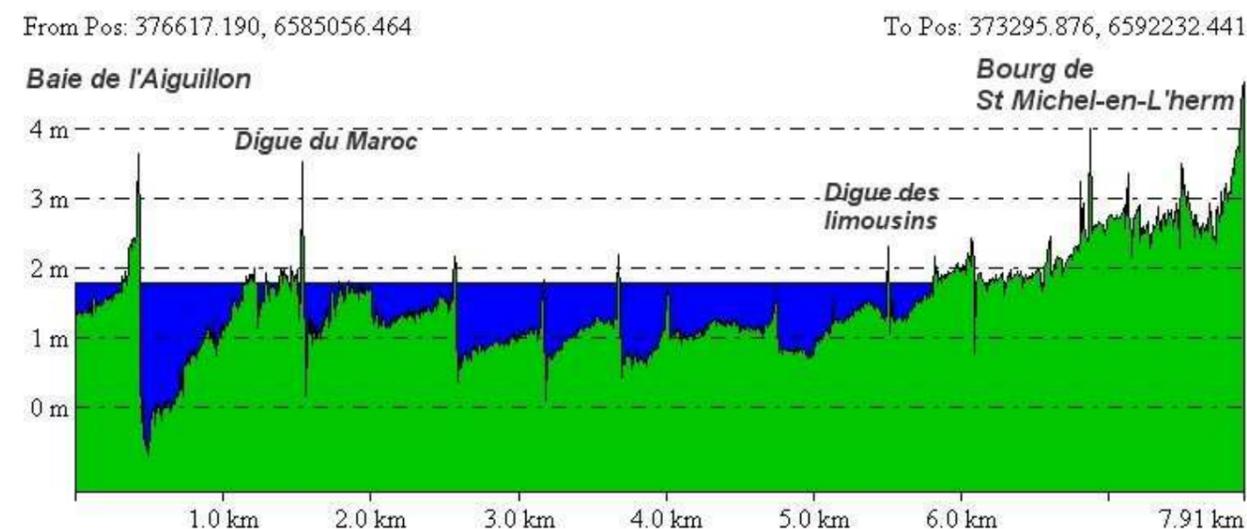
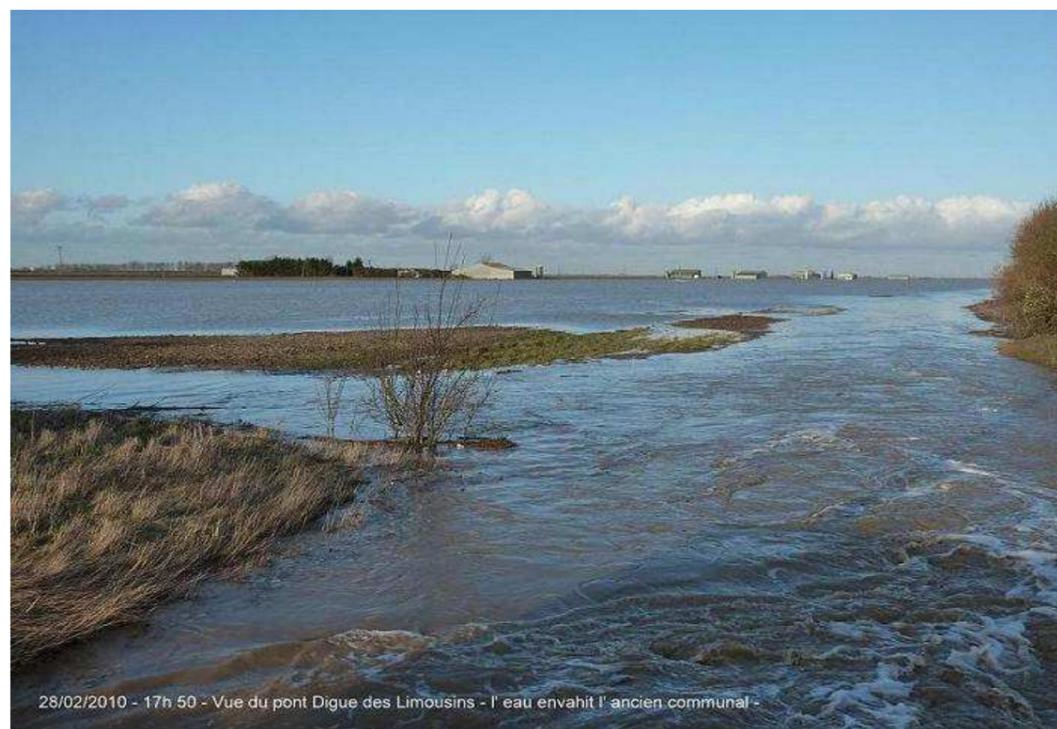


Illustration 140 : Profil en long de la baie de l'Aiguillon au bourg de Saint-Michel-en-l'Herm

Au nord-est de la commune, la circulation d'eau dans le canal de la Raque a permis à la submersion de s'étendre au delà de la RD 746 (franchissement au niveau du pont de la Grand-Côte) et d'atteindre une partie des terres cultivées au nord du bourg.

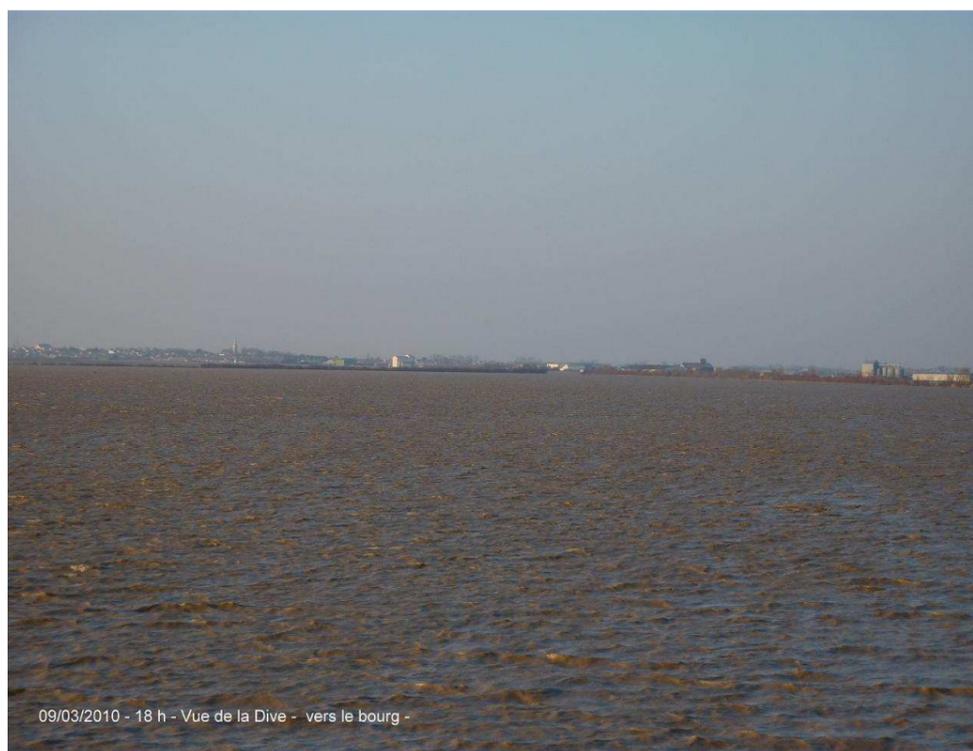
D'après les informations fournies par la commune, le 1<sup>er</sup> mars au matin après la tempête, la submersion avait atteint au nord la Prise de la Cartelée et le lieu-dit les Novelins puis a continué sa progression au delà de la digue des Limousins (illustration 141) par écoulement dans les canaux. La hauteur maximale de la submersion a été atteinte le 2 mars.

Les illustrations 142 à 144 permettent de bien se rendre compte de l'ampleur de la submersion atteinte dans le Marais Poitevin sur la commune ainsi que des dégâts sur les digues.



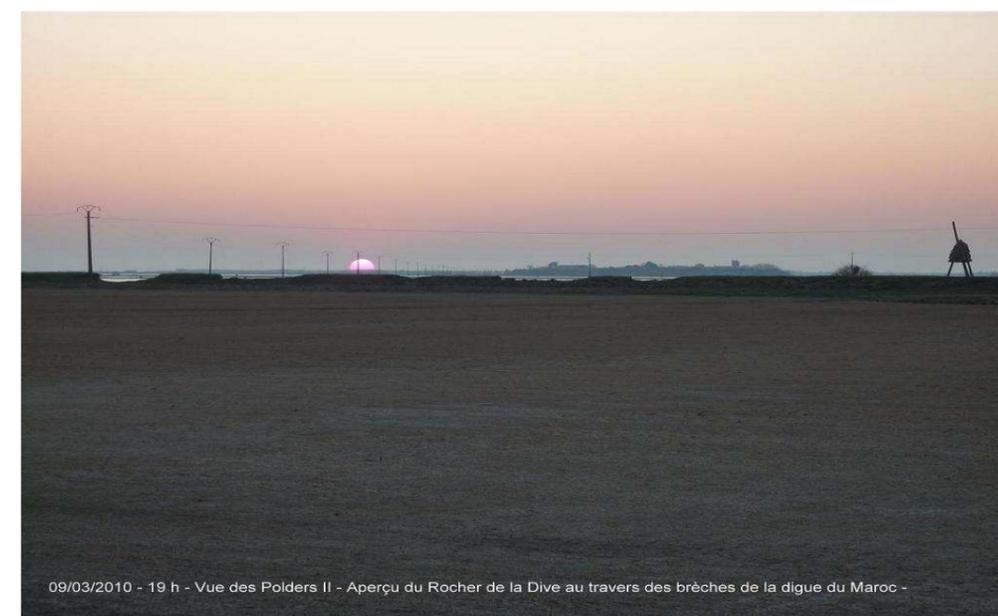
28/02/2010 - 17h 50 - Vue du pont Digue des Limousins - l'eau envahit l'ancien communal -

*Illustration 141 : Progression de la submersion au delà de la digue des Llimousins – Commune de Saint-Michel-en-l'Herm*



09/03/2010 - 18 h - Vue de la Dive - vers le bourg -

*Illustration 142 : Bourg de St Michel-en-l'Herm vu de la Dive – Commune de Saint-Michel-en-l'Herm*



09/03/2010 - 19 h - Vue des Polders II - Aperçu du Rocher de la Dive au travers des brèches de la digue du Maroc -

*Illustration 143 : Brèches dans la digue du Maroc – Commune de Saint-Michel-en-l'Herm*



*Illustration 144 : Vue aérienne du marais de Saint-Michel-en-l'Herm*

### *Triaise*

Voir planches cartographiques **25000-85-19, 25000-85-20, 25000-85-22 et 25000-85-23**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Les digues littorales de la commune ont subi une érosion plus ou moins forte, la surverse est à l'origine de la formation d'une brèche.

#### Submersion

La submersion a recouvert les terres agricoles du Marais Poitevin situées au sud du bourg, sur une distance d'environ 5 km à l'intérieur des terres et sur une superficie de 1577 hectares.

Le mécanisme de la submersion est proche de ce qui a été constaté dans le marais de Saint-Michel-en-l'Herm, avec des entrées d'eau massives par les digues de premier rang associées à une remontée d'eau dans les canaux principaux (Chenal Vieux à l'ouest et Canal de Luçon à l'est) et à des brèches dans les digues longeant ces canaux. La propagation de la submersion s'est effectuée ensuite par circulation d'eau dans le réseau hydraulique secondaire et remplissage des casiers hydrauliques successifs.

### *Champagné-les-Marais*

Voir planches cartographiques **25000-85-20 à 25000-85-22**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

La surverse a causé une érosion de la digue des Prises, ainsi qu'un glissement généralisé des deux tiers du talutage.

#### Submersion

La submersion a recouvert les terres agricoles du marais poitevin situées au sud-ouest du bourg, sur une distance allant de 2 à 7 km à l'intérieur des terres.

Le mécanisme de la submersion est proche de ce qui a été constaté dans le marais de Saint-Michel-en-l'Herm, avec des entrées d'eau massives par les digues de premier rang associées à une remontée d'eau dans le canal de Luçon, ainsi que des brèches dans la digue longeant celui-ci. La propagation de la submersion s'effectue ensuite par circulation d'eau dans le réseau secondaire et remplissage des casiers hydrauliques successifs.

### *Puyravault*

Voir planches cartographiques **25000-85-20 à 25000-85-22**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Comme pour la commune de Champagné-les-Marais, le talus a subi un glissement des deux tiers de sa hauteur ainsi qu'une érosion générale de la digue à cause de la surverse. Plusieurs brèches de 5 à 10 m de longueur se sont créées.

#### Submersion

La submersion a recouvert les terres agricoles du Marais Poitevin situées au sud-ouest du bourg, sur une distance de 7 km à l'intérieur des terres.

Le mécanisme de la submersion est proche de ce qui a été constaté dans le marais de Saint-Michel-en-l'Herm, avec des entrées d'eau massives par les digues de premier rang associées à une remontée d'eau dans le canal de l'Épine (suite à une surverse de l'ouvrage hydraulique à la porte de l'Épine). La propagation de la submersion s'est effectuée ensuite par circulation d'eau dans le réseau hydraulique secondaire et remplissage des casiers hydrauliques successifs.

### *Sainte-Radegonde-des-Noyers*

Voir planches cartographiques **25000-85-20 à 25000-85-22**

#### Dégâts aux ouvrages et évolution du trait de côte

Plusieurs épaves de bateau ont été retrouvées en haut des digues, indiquant la surverse généralisée de celles longeant la Sèvre Niortaise en rive droite. La digue de la Prée Mizotière a été en outre érodée et présente un affouillement.

#### Submersion

La submersion, qui a touché des terres agricoles, s'est produite par des entrées d'eau au niveau de la Prée Mizotière, engendrées par une brèche et des zones de surverse sur la digue de la Sèvre Niortaise, par des remontées d'eau dans le canal de l'Épine (voir commune de Puyravault) et dans celui du Clain.

### 3.1.3 - Données chiffrées sur les surfaces submergées

#### 3.1.3.a - Zone submergée par commune

<b>LOIRE ATLANTIQUE</b>			
<b>NOM</b>	<b>Surface communale (ha)</b>	<b>Surface submergée (ha)</b>	<b>% surface submergée</b>
Assérac	3198	3	0
Batz-sur-Mer	943	232	25
Bouguenais	3115	0	0
Bourgneuf-en-Retz	5345	113	2
Bouée	2479	1506	61
Cordemais	3761	513	14
Corsept	3442	553	16
Couéron	4888	1263	26
Donges	5907	1062	18
Frossay	5948	1137	19
Guérande	7839	544	7
Indre	475	3	1
La Baule-Escoublac	2657	29	1
La Chapelle-Launay	2472	476	19
La Turballe	1854	17	1
Lavau-sur-Loire	1924	1018	53
Le Croisic	447	22	5
Le Pellerin	3095	1334	43
Le Pouliguen	434	12	3
Les Moutiers-en-Retz	978	129	13
Malville	3097	36	1
Mesquer	1428	22	2
Paimboeuf	562	84	15
Pomic	9464	4	0
Prinquiau	2294	194	8
Rezé	1564	0	0
Saint-Etienne-de-Montluc	5747	2107	37
Saint-Brevin-les-Pins	2716	78	3
Saint-Molf	2166	1	0
Saint-Nazaire	5015	8	0
Saint-Père-en-Retz	6391	480	8
Saint-Viaud	3252	184	6
Savenay	2599	49	2

<b>VENDEE</b>			
<b>NOM</b>	<b>Surface communale (ha)</b>	<b>Surface submergée (ha)</b>	<b>% surface submergée</b>
Barbâtre	1301	14	1
Beauvoir-sur-Mer	3511	427	12
Bouin	5209	747	14
Bretignolles-sur-Mer	2732	0	0
Champagné-les-Marais	4975	1142	23
Grues	4738	76	2
Jard-sur-Mer	1674	59	3
L'Epine	857	96	11
L'Aiguillon-sur-Mer	976	829	85
La Barre-de-Monts	2813	186	7
La Faute-sur-Mer	833	341	41
La Guérinière	780	0	0
La Tranche-sur-Mer	2167	111	5
Noirmoutier-en-l'île	1990	26	1
Puyravault	1687	679	40
Saint-Gilles-Croix-de-Vie	1017	17	2
Saint-Hilaire-de-Riez	4878	0	0
Saint-Michel-en-l'Herm	5745	3349	58
Saint-Vincent-sur-Jard	1463	8	1
Sainte-Radégonde-des-Noyers	3130	1020	33
Talmont-Saint-Hilaire	9033	139	2
Triaize	5684	939	17
<b>Total surface submergée (ha)</b>		<b>10204</b>	

3.1.3.b - Nombre de bâtiments dans la zone submergée par commune

<b>LOIRE ATLANTIQUE</b>			
Commune	nombre total de bâtiments*	Nombre de bâtiments* dans la zone submergée	% de bâtiments* dans la zone submergée
Assérac	1310	0	0
<b>Batz-sur-Mer</b>	2014	17	<b>0,8</b>
<b>Bouguenais</b>	4866	6	<b>0,1</b>
<b>Bourgneuf-en-Retz</b>	1621	7	<b>0,4</b>
<b>Bouée</b>	488	38	<b>7,8</b>
<b>Cordemais</b>	1521	2	<b>0,1</b>
<b>Corsept</b>	1259	9	<b>0,7</b>
<b>CouÛron</b>	5694	34	<b>0,6</b>
<b>Donges</b>	2966	6	<b>0,2</b>
<b>Frossay</b>	1685	18	<b>1,1</b>
<b>Guérande</b>	6337	80	<b>1,3</b>
<b>Indre</b>	759	67	<b>8,8</b>
<b>La Baule-Escoublac</b>	8492	216	<b>2,5</b>
La Bernerie-en-Retz	2005	0	0
<b>La Chapelle-Launay</b>	1356	1	<b>0,1</b>
<b>La Montagne</b>	1602	4	<b>0,2</b>
La Plaine-sur-Mer	3560	0	0
La Turballe	3237	0	0
<b>Lavau-sur-Loire</b>	452	18	<b>4,0</b>
<b>Le Croisic</b>	2118	123	<b>5,8</b>
<b>Le Pellerin</b>	1575	57	<b>3,6</b>
<b>Le Pouliguen</b>	2703	69	<b>2,6</b>
<b>Les Moutiers-en-Retz</b>	1243	286	<b>23</b>
<b>Mesquer</b>	2099	16	<b>0,8</b>
Montoir-de-Bretagne	2067	0	0
<b>Paimboeuf</b>	652	9	<b>1,4</b>
Piriac-sur-Mer	2708	0	0
<b>Pornic</b>	9259	32	<b>0,3</b>
Pornichet	5012	0	0
Préfailles	1710	0	0
<b>Saint-Etienne-de-Montluc</b>	2868	32	<b>1,1</b>
<b>Saint-Brevin-les-Pins</b>	6972	61	<b>0,9</b>
<b>Saint-Jean-de-Boiseau</b>	1563	24	<b>1,5</b>
Saint-Michel-Chef-Chef	3777	0	0
Saint-Molf	944	0	0
<b>Saint-Nazaire</b>	12129	63	<b>0,5</b>
<b>Saint-Père-en-Retz</b>	2303	11	<b>0,5</b>
<b>Saint-Viaud</b>	1252	5	<b>0,4</b>
Savenay	2414	0	0
<b>Total de bâtiments dans la zone de submersion</b>		<b>1311</b>	

\* source BDTopo pays V2

<b>VENDEE</b>			
Commune	nombre total de bâtiments*	Nombre de bâtiments* dans la zone submergée	% de bâtiments* dans la zone submergée
Barbâtre	4502	0	0
<b>Beauvoir-sur-Mer</b>	3965	225	<b>5,7</b>
<b>Bouin</b>	2944	224	<b>7,6</b>
Brem-sur-Mer	3143	0	0
<b>Brétignolles-sur-Mer</b>	7533	11	<b>0,1</b>
<b>Champagné-les-Marais</b>	1683	81	<b>4,8</b>
Château-d'Olonne	10470	0	0
<b>Grues</b>	1433	167	<b>11,7</b>
<b>Jard-sur-Mer</b>	5316	2	<b>0,0</b>
<b>L'Épine</b>	3558	90	<b>2,5</b>
<b>L'Aiguillon-sur-Mer</b>	3850	2308	<b>59,9</b>
<b>La Barre-de-Monts</b>	3681	105	<b>2,9</b>
<b>La Faute-sur-Mer</b>	3762	1996	<b>53,1</b>
La Guérinière	4354	0	0
<b>La Tranche-sur-Mer</b>	8907	132	<b>1,5</b>
Les Sables-d'Olonne	15648	0	0
Longeville-sur-Mer	4986	0	0
<b>Noirmoutier-en-l'île</b>	9949	182	<b>1,8</b>
Notre-Dame-de-Monts	4160	0	0
Olonne-sur-Mer	10380	0	0
<b>Puyravault</b>	639	54	<b>8,5</b>
<b>Saint-Gilles-Croix-de-Vie</b>	9056	287	<b>3,2</b>
Saint-Hilaire-de-Riez	16413	0	0
Saint-Jean-de-Monts	12270	0	0
<b>Saint-Michel-en-l'Herm</b>	2653	109	<b>4,1</b>
Saint-Vincent-sur-Jard	2553	0	0
<b>Sainte-Radégonde-des-Noyers</b>	973	79	<b>8,1</b>
<b>Talmont-Saint-Hilaire</b>	7117	83	<b>1,2</b>
<b>Triaize</b>	1395	8	<b>0,6</b>
<b>Total de bâtiments dans la zone de submersion</b>		<b>6143</b>	

\* source BDTopo pays V2

### 3.1.3.c - Occupation du sol des zones submergées par département

<b><u>LOIRE ATLANTIQUE</u></b>	
<b>Occupation du sol*</b>	<b>Surface (ha)</b>
Total des territoires artificialisés	217
Total des territoires agricoles	9673
Total des forêts et milieux semi-naturels	322
Total des zones humides	2714
<b>Total surfaces submergées</b>	<b>12926</b>

\*Selon CorinneLandCover 2006

<b><u>VENDEE</u></b>	
<b>Occupation du sol*</b>	<b>Surface (ha)</b>
Total des territoires artificialisés	377
Total des territoires agricoles	8914
Total des forêts et milieux semi-naturels	197
Total des zones humides	716
<b>Total surfaces submergées</b>	<b>10204</b>

\*Selon CorinneLandCover 2006

## ANNEXES

Consultables et téléchargeables à partir du site internet de la DREAL.

- Atlas cartographique
- Photographies aériennes