PLUi
PLAN LOCAL D'URBANISME
Estuaire & Sillon
Ensemble préparons l'avenir

6.11 RISQUE INONDATION
APPROBATION - 18 Décembre 2025



ESTUAIRE ET SILLON
Communauté de Communes

L'union de Coteba et Sogreah

DDTM DE LA LOIRE ATLANTIQUE
SERVICE EAU – ENVIRONNEMENT – RISQUE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFECTURE DE LA LOIRE-ATLANTIQUE
DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA LOIRE-ATLANTIQUE

ATLAS DES INONDATIONS DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

ATLAS CARTOGRAPHIQUE

NOVEMBRE 2012 – 4-53-0990

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Atlas cartographique	Tableau d'assemblage des planches 1/25000 et 1/10000

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/100 000

Carte 1
Carte 2
Carte 3
Carte 4
Carte 5
Carte 6
Carte 7
Carte 8
Carte 9
Zoom 1
Zoom 2
Zoom 3
Zoom 4
Zoom 5

SAINT-JOACHIM
BESNE
LA CHAPELLE-LAUNAY
PRINQUIAU
SAVENAY
MALVILLE
SAINT-MALO-DE-GUERSAC
MONTOIR-DE-BRETAGNE
TRIGNAC
DONGES
LE TEMPLE-DE-BRETAGNE
VIGNEUX-DE-BRETAGNE
BOUEE
LAVAU-SUR-LOIRE
CORDEMAIS
PAIMBOEUF
CORSEPT
SAINT-ETIENNE-DE-MONTLUC
SAINT-VIAUD
SAINT-BREVIN-LES-PINS
FROSSAY
SAINT-PERE-EN-RETZ
COUERON
VUE
LE PELLERIN
SAINT-JEAN-DE-BOISEAU
LA MONTAGNE
ROUANS
CHEIX-EN-RETZ
BRAINS
SAINT-MICHEL-CHEF-CHEF
T-NAZAIRE

HYDROGEOMORPHOLOGIE

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 1

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

secteur d'étude
lit mineur
lit moyen
lit majeur et lit majeur exceptionnel
versants marqués
zones d'écoulement préférentiel

Remblais
infrastructures
digues
autres (talus, bourrelets...)
remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)
ouvrages primaires
autres
limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)
levé SOGREAH
levé autre
zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

DON-01
Z=3.98

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 2

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

SG_023 Z=4.45

SG-022 Z=4.2

SG-024 Z=4.1

SG-018 Z=4.09

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 3

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

LAV-03

SG-017
Z=4.18

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 4

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

LAV-03

SG-017
Z=4.18

LAV-02
Z=4.21

LAV-01
Z=4.03

SG_023
Z=4.45

SG-022
Z=4.2

SG-024
Z=4.1

SG-021
Z=3.9

Frossay-51
Z=3.86

LA LOIRE

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 5

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

BOU-08
Z=4.1

BOU-06
Z=4.21

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 6

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

BOU-08
Z=4.1

BOU-06
Z=4.21

BOU-07

SG-016
Z=4.06

BOU-04
Z=4.32

BOU-03
Z=4.46

BOU-01
Z=4.27

BOU-05
Z=3.84

BOU-02
Z=4.27

COR-04
Z=4.41

COR-02
Z=4.24

COR-03
Z=4.13

COR-01
Z=4.22

COR-EDF
Z=4.37

SEM-04
Z=4.09

Frossay-51
Z=3.86

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 7

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

SEM-06
Z=3.64

SG-010
Z=4.24

PEL-03
Z=4.28

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 8

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

SEM-04
Z=4.22

SEM-04
Z=4.09

SEM-06
Z=3.64

SEM-05
Z=3.97

SEM-02
Z=3.99

SEM-03
Z=3.89

SEM-01
Z=3.93

ST-ÉTIENNE-DE-MONTLUC

LOIRE

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Carte 9

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/25 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

SEM-02
Z=3.99

SEM-03
Z=3.89

SEM-01
Z=3.93

SG-010
Z=4.24

PEL-03
Z=4.28

PEL-02
Z=4.36

PEL-01
Z=4.31

COU-02
Z=3.96

COU-01
Z=4.02

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Zoom 1

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/10 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

SG-018
Z=4.09

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Zoom 2

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/10 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

SG_023 Z=4.45
SG-022 Z=4.2
SG-024 Z=4.1

Roches Allouard
le Moulin Perret
Pré d'Enfer
Loire
le Pasquiau
la Haute Verte
l'Espérance
le Grand Perret
D 77
Blockh.
la Caillaudais
le Chêne Bonnet
Corsept
la Cour
les Moisans
le Petit Perret
la Herse
la Bonnelais
la Ville en Bois
la Mabilais
le Haut Chemin
la Chaussée
le Champ Albert
le Grand Carteron
Marais du Plessis
Marais de Guigne
Menhir des Pierres Blanches
la Chaperonnais
le Prieuré
le Pont Anjo
la Verrie
Marguinerie
les Brûlés
D 98
la Chaussée Neuve
le Plessis
D 97
la Basse Cédelière
la Haute Cédelière
D 11a
les Bois
le Quarteron Neuf
Prairie de
Prairie

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Zoom 3

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/10 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

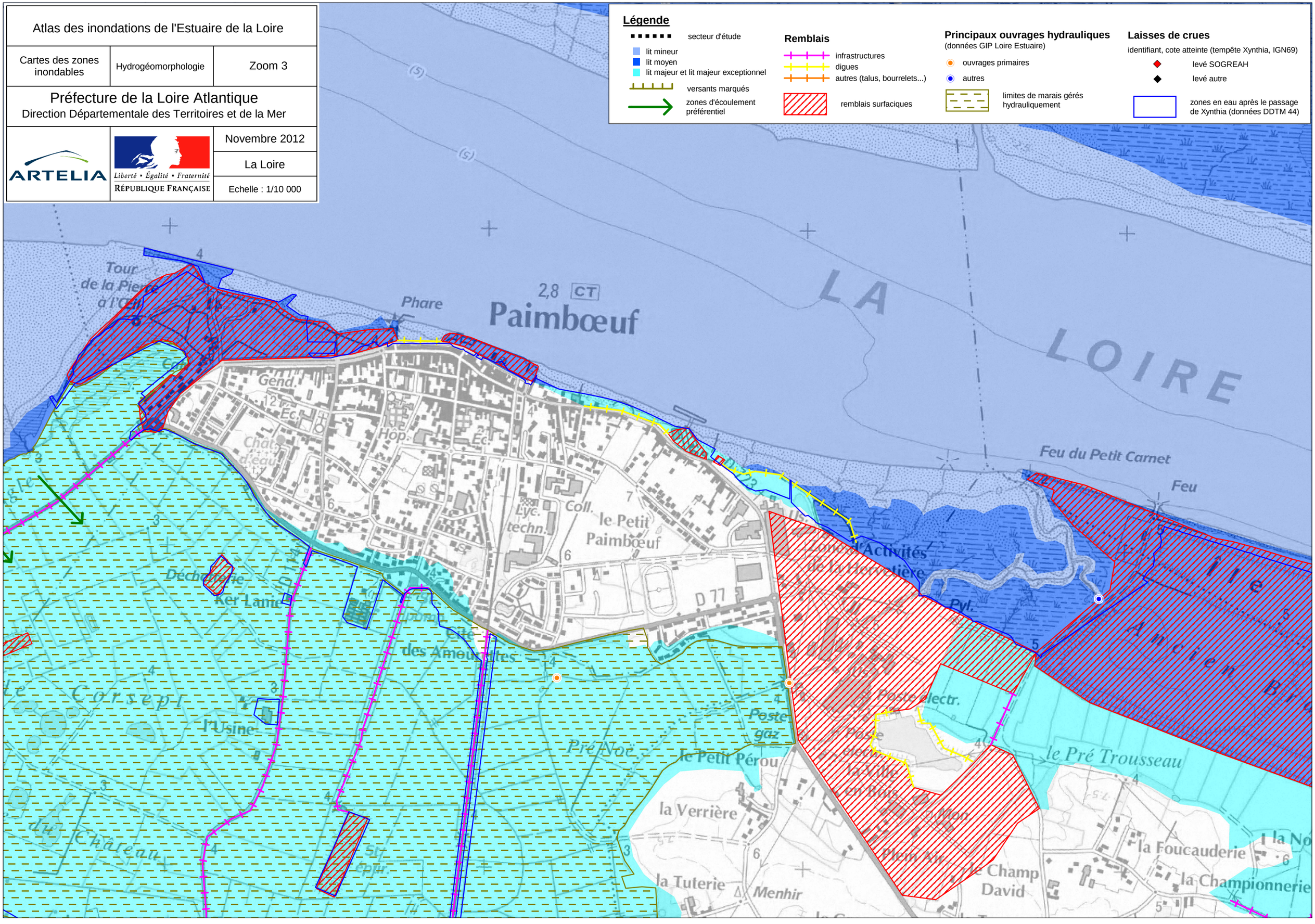
- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)



Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Zoom 4

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/10 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

LAV-03
LAV-02 Z=4.21
SG-017 Z=4.18
SG-020 Z=4.15
LAV-01 Z=4.03

Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire

Cartes des zones inondables	Hydrogéomorphologie	Zoom 5

Préfecture de la Loire Atlantique
Direction Départementale des Territoires et de la Mer

ARTELIA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Novembre 2012

La Loire

Echelle : 1/10 000

Légende

- secteur d'étude
- lit mineur
- lit moyen
- lit majeur et lit majeur exceptionnel
- versants marqués
- zones d'écoulement préférentiel

Remblais

- infrastructures
- digues
- autres (talus, bourrelets...)
- remblais surfaciques

Principaux ouvrages hydrauliques
(données GIP Loire Estuaire)

- ouvrages primaires
- autres
- limites de marais gérés hydrauliquement

Laisses de crues
identifiant, cote atteinte (tempête Xynthia, IGN69)

- levé SOGREAH
- levé autre
- zones en eau après le passage de Xynthia (données DDTM 44)

BOU-01
Z=4.27

COR-04
Z=4.41

COR-EDF
Z=4.37

COR-03
Z=4.13

L'union de Coteba et Sogreah

DDTM DE LA LOIRE ATLANTIQUE
SERVICE EAU – ENVIRONNEMENT – RISQUE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFECTURE DE LA LOIRE-ATLANTIQUE
DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA LOIRE-ATLANTIQUE

ATLAS DES SUBMERSIONS MARINES DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

ETUDE TECHNIQUE

ARTELIA
DIRECTION REGIONALE OUEST
8 Avenue des Thébaudières
CS 20232
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX
Tel. : 02 28 09 18 00
Fax : 02 40 94 80 99

DATE : OCTOBRE 2013– **REF. : 4-53-0990**

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

1. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT 2
   1.1. DELIMITATION DU SECTEUR D'ETUDE 2
   1.2. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT 3
   1.3. HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT 6
   1.4. INFLUENCE DE LA MAREE 6
   1.5. NIVEAUX MARINS EXTREMES 9
   1.6. GEOLOGIE 9

2. SYNTHESE HISTORIQUE 12
   2.1. HISTORIQUE DES AMENAGEMENTS DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE 12
   2.2. ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES 14
      2.2.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES 14
      2.2.2. UN EVENEMENT MARQUANT : XYNTHIA 17

3. DEFINITION DES ZONES INONDABLES PAR METHODE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE 18
   3.1. DESCRIPTION DE LA METHODE 18
      3.1.1. DEFINITION DES ZONES INONDABLES PAR ANALYSES MORPHOLOGIQUES 19
      3.1.2. COMPLEMENT PAR VISITE DE TERRAIN 22
      3.1.3. APPORT DES DOCUMENTS HISTORIQUES ET DE LA TOPOGRAPHIE SUR LA DEFINITION DES DIFFERENTS LITS 22
      3.1.4. APPORT DE L'OCCUPATION DU SOL 23
      3.1.5. DEFINITION DES AMENAGEMENTS ANTHROPIQUES 24
      3.1.6. APPORT DES EVENEMENTS HISTORIQUES 26
   3.2. COMMENTAIRE DES CARTOGRAPHIES 28

LISTE DES FIGURES

FIG. 1. SECTEUR D'ETUDE 2
FIG. 2. BASSIN VERSANT DE LA LOIRE (SOURCE : WWW.LOIRE-ESTUAIRE.ORG) 3
FIG. 3. DIVERSITE DES TERRITOIRES DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE (SOURCE : WWW.EPTB-LOIRE.FR) 4
FIG. 4. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT AU DROIT DE LA ZONE D'ETUDE 5
FIG. 5. NIVEAUX D'EAU MAXIMAUX POUR DIFFERENTS DEBITS DE LA LOIRE AVEC UN NIVEAU AVAL CENTENNAL (SOURCE : « LIGNES D'EAU DE CRUES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE » REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE) 7
FIG. 6. NIVEAUX D'EAU MAXIMAUX DE PERIODE DE RETOUR 100 ANS POUR DIFFERENTES ORIGINES DE L'EVENEMENT (SOURCE : « LIGNES D'EAU DE CRUES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE » REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE) 8
FIG. 7. EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE HARMONISEE DU DEPARTEMENT DE LOIRE ATLANTIQUE 11
FIG. 8. SITUATION DE LA PASSE DES CHARPENTIERS (SOURCE : ETUDE DE SOGREAH DE 2006 REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE) 12
FIG. 9. PRINCIPAUX AMENAGEMENTS SUR LA LOIRE ENTRE 1900 ET 1930 (SOURCE : ETUDE DE SOGREAH DE 2006 REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE) 13
FIG. 10. EXTRAIT DE PRESSE OCEAN DU 13/02/1972 16
FIG. 11. ANALYSE DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES PAR STEREOSCOPIE 19
FIG. 12. EXEMPLE DE TALUS MARQUE OBSERVE PAR ANALYSE DU LEVE LIDAR 20
FIG. 13. EXEMPLE DE RUPTURE DE PENTE OBSERVEE PAR ANALYSE DU LEVE LIDAR 21
FIG. 14. EXEMPLE D'EVOLUTION DU LIT MINEUR DE LA LOIRE ENTRE 1938 ET 1969 (SOURCE : ETUDE DE SOGREAH DE 2006 REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE) 23
FIG. 15. OBSERVATION DE REMBLAI SURFACIQUE A PARTIR DU LEVE LIDAR 24
FIG. 16. OBSERVATION DE REMBLAI LINEAIRE A PARTIR DU LEVE LIDAR 24
FIG. 17. PLAN DE SITUATION DES SONDAGES GEOLOGIQUES 25
FIG. 18. EMPLACEMENT DES LAISSES DE CRUES HISTORIQUES SUR LE SECTEUR D'ETUDE 27
FIG. 19. VUE D'ENSEMBLE DE LA ZONE INONDABLE DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE DEFINIE PAR HYDROGEOMORPHOLOGIE 28

oOo

INTRODUCTION

Dans le but de fournir aux Services de l'Etat et Collectivités Territoriales les éléments d'information préventive relatifs aux aléas submersion marine sur l'estuaire de la Loire, la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) de Loire Atlantique a lancé une étude hydraulique visant à élaborer un Atlas présentant une définition des zones inondables de l'estuaire, par analyse hydrogéomorphologique et exploitation de données historiques,

Le phénomène d'inondation par submersion marine étant prédominant par rapport au débordement fluvial sur la zone d'étude, l'atlas et la cartographie des aléas portent sur les risques de submersions marines.

La zone d'étude couvre l'ensemble de la plaine alluviale de la Loire estuarienne entre le Pellerin (en amont) et le pont de St Nazaire (en aval), soit sur un linéaire de fleuve d'environ 35 km.

Le présent rapport présente l'élaboration de l'atlas des zones inondables sur le secteur d'étude. Cet atlas s'inscrit dans la phase amont de la prévention des inondations puisqu'il permet d'orienter la politique de prévention des risques ainsi que les réflexions relatives à l'aménagement du territoire. Sa réalisation permettra également d'apporter des éléments complémentaires pour le choix de la réalisation ou non d'un Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) puisqu'il donnera une information sur les zones inondables ainsi que sur les enjeux situés dans cette zone inondable. La méthode de réalisation de l'atlas conduira à la définition de l'emprise maximale des inondations par submersions marines ainsi qu'à la délimitation des lits mineur et moyen au sein de cette zone inondable.

oOo

1. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

Ce chapitre a pour but de présenter le secteur d'étude et son contexte afin de bien comprendre ses particularités et le fonctionnement de la Loire dans ce secteur.

Les informations fournies dans ce chapitre sont issues de diverses sources (rapport d'étude, plans et photographies historiques, données récentes…)

1.1. DELIMITATION DU SECTEUR D'ETUDE

Le secteur d'étude s'étend du Pellerin / Couëron jusqu'à Saint-Brévin les Pins / Saint Nazaire.

La limite d'étude amont correspond à la limite du PPRI (Plan de Prévention des Risques d'Inondation) Loire Agglomération nantaise ainsi qu'à la limite de l'AZI de Grandlieu.

La limite aval sur la Loire correspond au pont de Saint Nazaire.

Les limites latérales correspondent aux limites de zones inondables et ne sont donc pas limitées géographiquement à certaines communes, exceptée pour la zone Nord-Ouest où l'étude s'arrêtera à la limite de l'AZI (Atlas des Zones Inondables) de la Brière.

La figure ci-après présente le secteur d'étude.

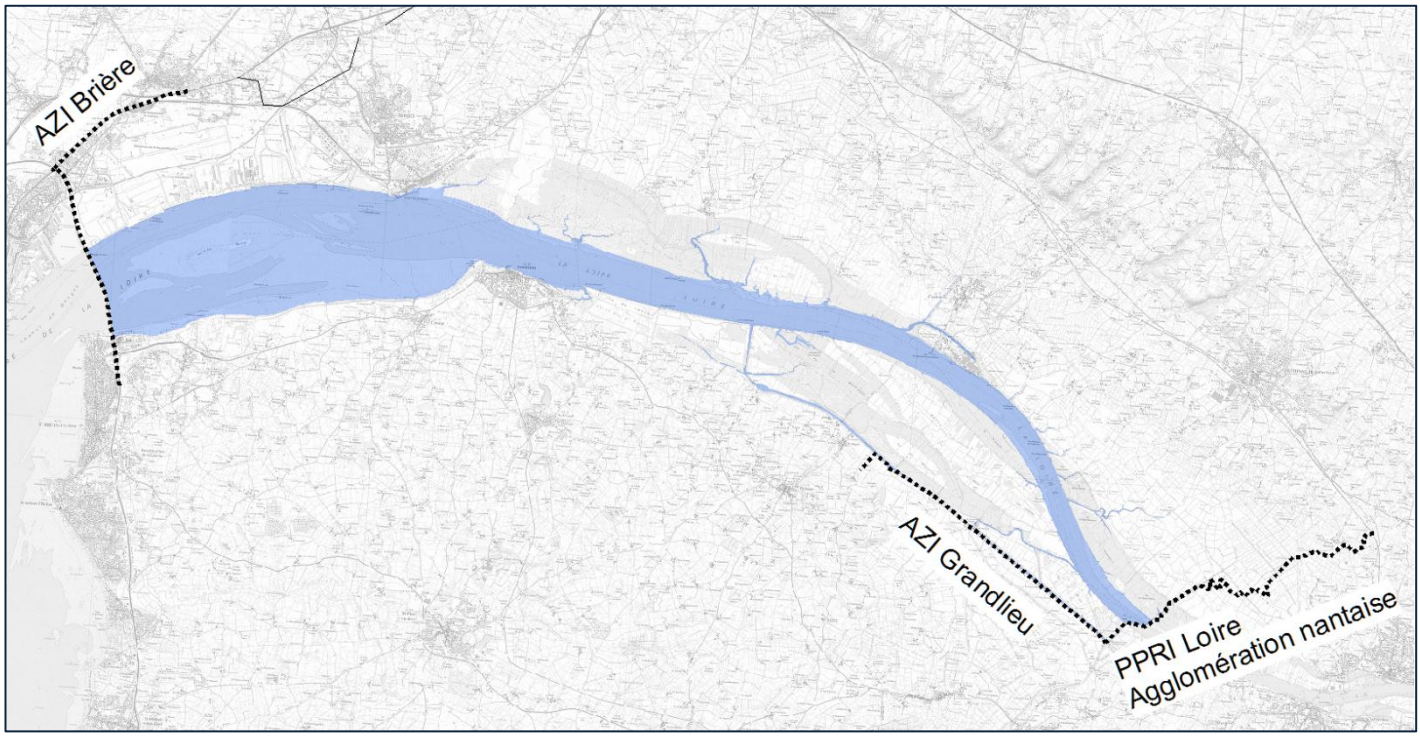


Fig. 1. SECTEUR D'ETUDE

1.2. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

A son embouchure, à Saint-Nazaire, la Loire draine un bassin versant de 117 480 km² représenté par la figure ci-après.



Fig. 2. BASSIN VERSANT DE LA LOIRE (SOURCE : WWW.LOIRE-ESTUAIRE.ORG)

Du fait de sa taille, le bassin versant de la Loire est très hétérogène. En effet, il varie d'une zone montagneuse (le Nord du Massif Central) à des zones de marais en passant par des zones vallonnées et des plaines (fig. 2).



Fig. 3. DIVERSITE DES TERRITOIRES DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE (SOURCE : WWW.EPTB-LOIRE.FR)

L'occupation des sols est tout aussi hétérogène, avec des zones boisées, des prairies, des champs cultivés, des vignes, des vergers, des marais et des zones urbanisées.

Le secteur d'étude comprend les 35 derniers kilomètres de la Loire avant que celle-ci ne rejoigne l'océan. La partie du bassin versant de la Loire située au droit de ce secteur (présentée sur la figure ci-après) est moins diversifiée puisqu'elle est principalement occupée par :

- des zones de marais ;
- des prairies et des champs cultivés ;
- des bois ;
- des zones urbanisées.

Le point haut de cette partie du bassin versant atteint environ 90 m NGF et le point bas correspond au niveau de l'océan où se jette la Loire.

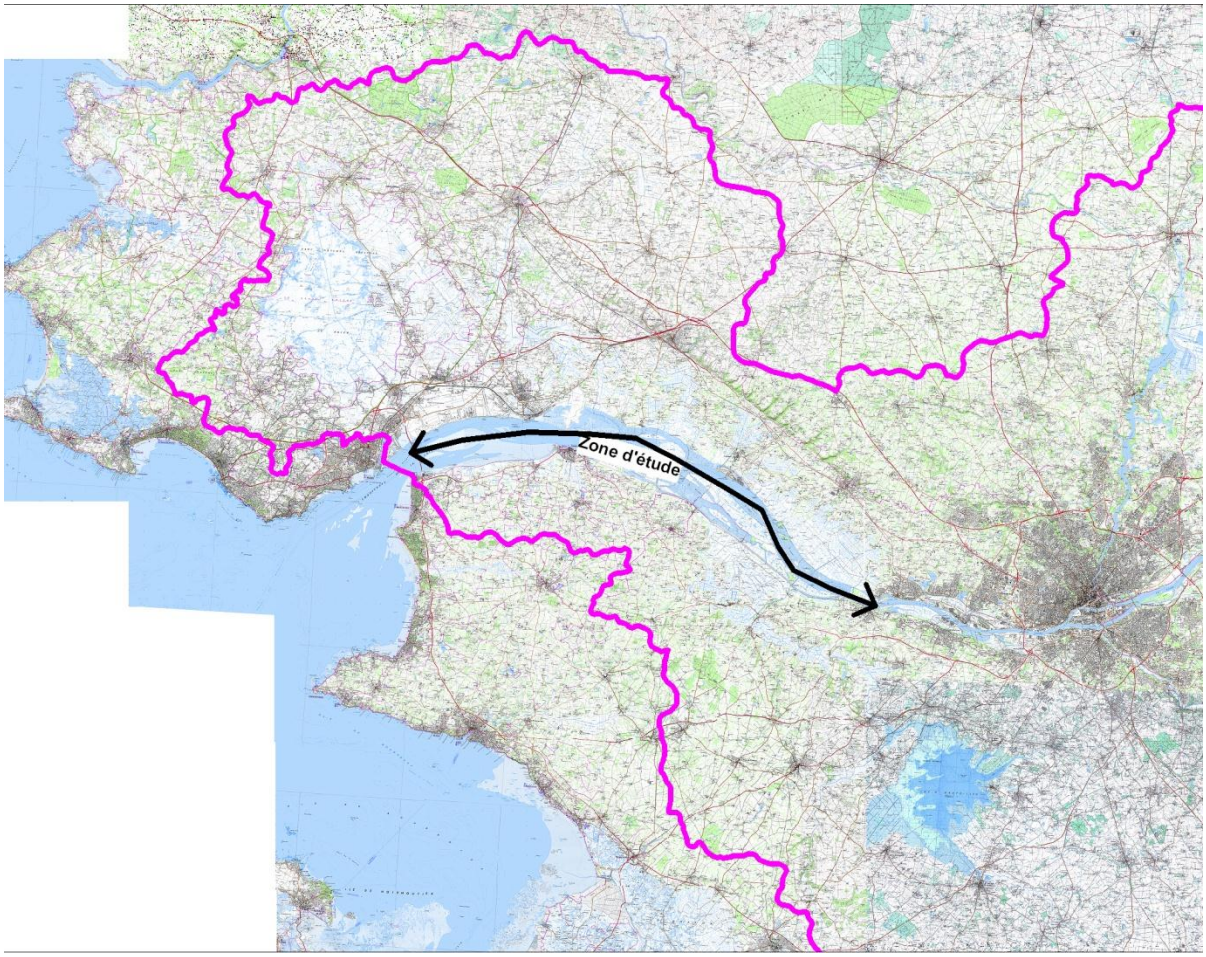


Fig. 4. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT AU DROIT DE LA ZONE D'ETUDE

1.3. HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT

Les débits de la Loire à Montjean sont très variables suivants les années, toutefois le débit moyen annuel est de 844 m^3/s.

En étiage (période de basses eaux, correspondant aux mois de juillet à septembre inclus), le débit de la Loire peut baisser jusqu'à 120 m^3/s (débit moyen minimal annuel sur 10 jours consécutifs : VCN10, de période de retour 5 ans).

En période de crue le débit de la Loire est bien supérieur au débit moyen annuel :

Période de retour (années)	Débits moyens journaliers à Montjean (m^3/s)
2	3 360
5	4 390
10	4 930
20	5 370
50	6 220

Données issues de l'étude *« lignes d'eau de crues dans l'estuaire de la Loire : caractérisation et combinaison des facteurs conditionnant les niveaux d'eau – phase 1A »* réalisée pour le GIP Loire Estuaire. Valeurs obtenues par ajustement d'une loi Normale.

Le débit journalier maximal observé est de 6 300 m^3/s. Il a été atteint lors de la crue de 1910. La crue la plus importante récente a eu lieu le 23 Décembre 1982 où le débit de pointe a atteint 6 310 m^3/s.

Cependant, comme expliqué § 1.4., les niveaux d'eau maximaux dans la Loire sur la zone d'étude dépendent principalement des niveaux marins. C'est pourquoi l'atlas des zones inondables est réalisé pour le risque submersions marines et non pas pour le risque inondation fluviale.

1.4. INFLUENCE DE LA MAREE

Les études hydrauliques réalisées sur la partie aval de la Loire (depuis le pont de Montjean jusqu'à Saint Nazaire) et notamment *l'étude « Lignes d'eau de crues dans l'estuaire de la Loire : Caractérisation et combinaison des facteurs conditionnant les niveaux d'eau »* réalisée par Hydratec pour le GIP Loire Estuaire, montrent que, pour de fortes marées, seuls les évènements maritimes (marées, surcotes, vent…) influencent les niveaux d'eau sur le secteur d'étude (cf. Fig. 4). En effet, pour une hauteur d'eau à Saint Nazaire correspondant à une période de retour centennale, l'influence des débits en amont (jusqu'à un évènement centennal) est négligeable sur la ligne d'eau entre Saint Nazaire (PK0) et Le Pellerin (PK40).

En amont du PK 48 (2 km en aval du Pont de Cheviré), le niveau de la Loire est influencé par les débits avec des périodes de retour supérieures ou égales à deux ans

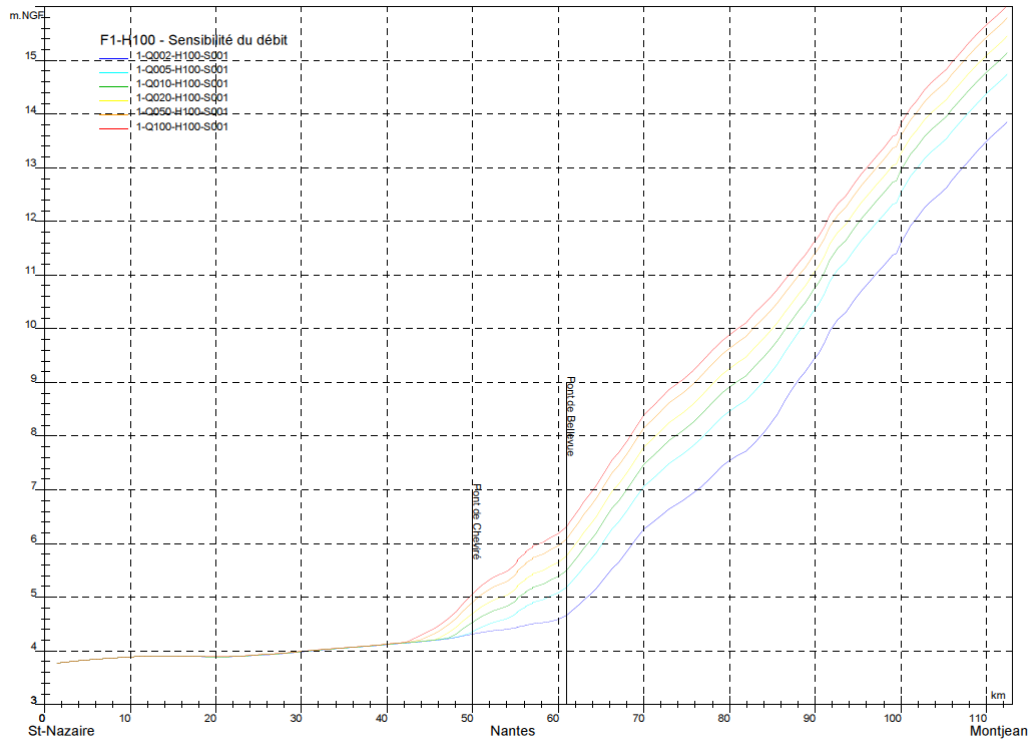


Fig. 5. NIVEAUX D'EAU MAXIMAUX POUR DIFFERENTS DEBITS DE LA LOIRE AVEC UN NIVEAU AVAL CENTENNAL (SOURCE : « LIGNES D'EAU DE CRUES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE » REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE)

Sur ce secteur de la Loire, les évènements extrêmes (niveaux d'eau importants) voient leurs origines liées à deux paramètres principaux :

- le niveau d'eau à Saint Nazaire (niveau marin intégrant les éventuelles surcotes),
- le débit dans la Loire.

D'autres paramètres influencent les niveaux d'eau mais dans une moindre mesure, il s'agit notamment des débits des affluents, du vent local…

Ainsi, un évènement extrême aura, pour une période de retour donnée, différents niveaux possibles liés à l'origine de l'évènement. Par exemple, un évènement de période de retour 100 ans peut avoir cette fréquence d'apparition à cause de son débit dans la Loire ou à cause du niveau d'eau à Saint Nazaire ou à cause d'une combinaison des deux. En effet, la période de retour d'un évènement est donnée par la formule suivante (issue de l'étude *« Lignes d'eau de crues dans l'estuaire de la Loire : Caractérisation et combinaison des facteurs conditionnant les niveaux d'eau »)* :

$F = 0.7 \times Pr(Q>q_i) \times Pr(H>h_j) = 0.01$

Où : f est la fréquence d'apparition de l'évènement (inverse de la période de retour),

0.7 est le facteur de dépendance entre les variables Q et H,

$Pr(Q>q_i)$ est la probabilité d'apparence d'un débit supérieur à q_i,

$Pr(H>h_i)$ est la probabilité d'apparence d'une hauteur à l'aval supérieure à h_i.

Par exemple, un évènement de période de retour 100 ans peut être composé :

- d'un débit en Loire de période de retour 100 ans et d'un niveau aval de période de retour 0,7 ans,
- d'un débit en Loire de période de retour 50 ans et d'un niveau aval de période de retour 1,4 ans,
- d'un débit en Loire de période de retour 5 ans et d'un niveau aval de période de retour 14 ans,
- d'un débit en Loire de période de retour 0,7 ans et d'un niveau aval de période de retour 100 ans, …

Or, comme on peut le voir fig. 5, l'origine de la période de retour d'un évènement extrême ne conduit pas au même niveau d'eau dans la Loire.

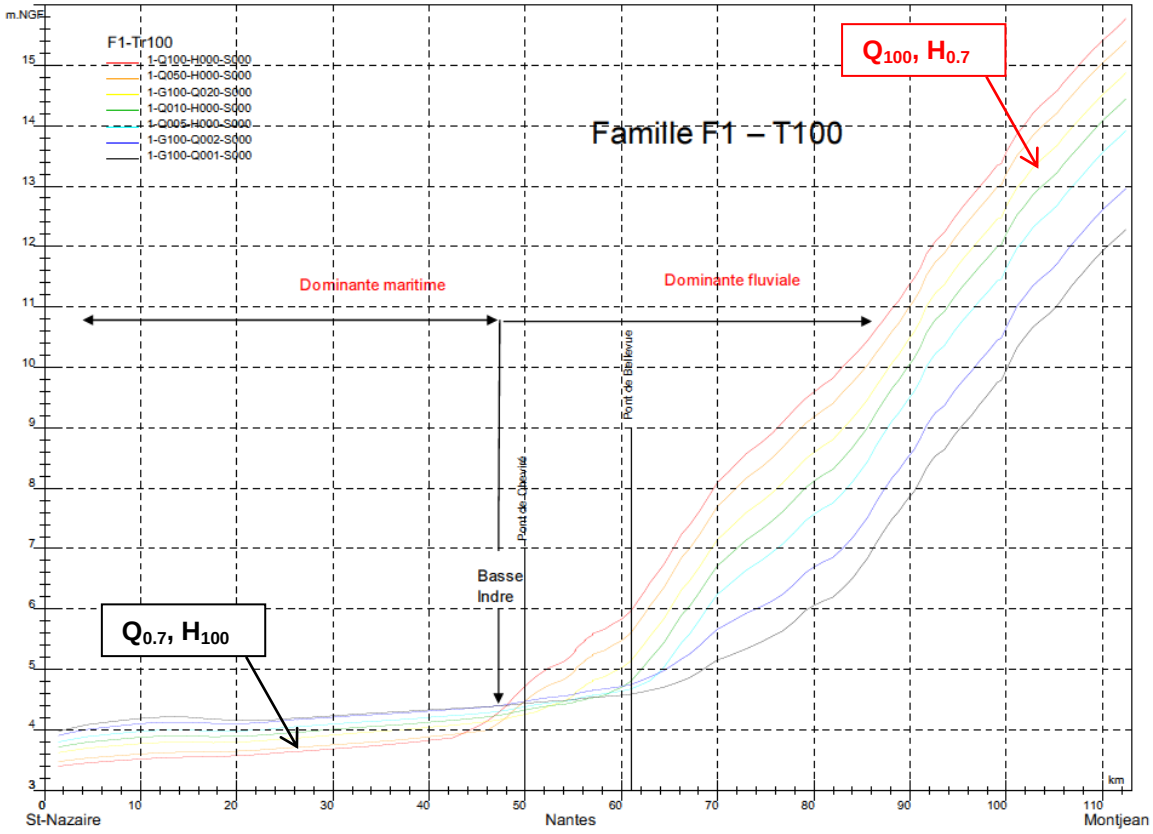


Fig. 6. NIVEAUX D'EAU MAXIMAUX DE PERIODE DE RETOUR 100 ANS POUR DIFFERENTES ORIGINES DE L'EVENEMENT (SOURCE : « LIGNES D'EAU DE CRUES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE » REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE)

Comme on peut le voir sur la figure 5, pour un évènement de période de retour 100 ans, le niveau d'eau sur la partie aval est maximal lorsque cette période de retour est due au niveau marin (dominante maritime du secteur) tandis que sur la partie amont le niveau d'eau est maximal lorsque l'évènement est d'origine fluvial (dominante fluviale sur le secteur à l'amont de notre zone d'étude).

Ainsi, dans les conditions d'écoulement actuel, les principales inondations observées dans la zone d'étude sont liées au phénomène de submersion marine.

1.5. NIVEAUX MARINS EXTREMES

Les niveaux marins extrêmes à Saint Nazaire ont fait l'objet d'une étude par le SHOM en 2008.

Cette étude conduit à retenir les niveaux marins extrêmes à Saint Nazaire suivant :

PERIODE DE RETOUR	NIVEAU MARIN (M NGF)
2 ans	3,4 m NGF
10 ans	3,78 m NGF
20 ans	3,87 m NGF
50 ans	3,98 m NGF
100 ans	4,07 m NGF

La cote atteinte lors de la tempête **Xynthia** était de **4,16 m NGF**, l'analyse des courbes d'ajustement, réalisées pour l'étude citée précédemment, montre que la période de retour de cet évènement dépasse **100 ans**.

Le deuxième niveau le plus haut observé à Saint Nazaire a été atteint le 24/10/1999, l'océan avait alors atteint la cote de 3,71 m NGF. La période de retour de cet évènement est estimé inférieure à 10 ans par analyse des courbes d'ajustement présenté dans l'étude *« Lignes d'eau de crues dans l'estuaire de la Loire : Caractérisation et combinaison des facteurs conditionnant les niveaux d'eau »*.

Ainsi le niveau maximal observé a été obtenu lors de la tempête Xynthia, dont la période de retour est estimée supérieure à 100ans.

1.6. GEOLOGIE

Le secteur d'étude repose sur un socle formé de Granite et de Gneiss (roche métamorphique issue du granite ou de sédiments argileux). Ce socle est affleurant en plusieurs endroits du secteur d'étude et correspond aux secteurs les plus hauts. Il ceinture ainsi la zone inondable de l'estuaire de la Loire. En certains endroits, comme à Paimboeuf, le socle rocheux limite l'espace de mobilité de la Loire du fait de sa résistance à l'érosion en comparaison aux alluvions ou colluvions.

Quelques zones faillées sont présentes sur le secteur d'étude. Mais celles-ci étant peu actives, elles n'ont pas eu d'influence notable sur les écoulements de la Loire. L'accident le plus important dans le secteur est le Cisaillement Sud-Armoricain (qui s'est produit il y a 300 à 400 Millions d'années) qui est orienté Nord-Ouest/Sud Est et qui s'observe surtout au nord de la Loire dans notre secteur d'étude. Il délimite, au nord, le massif granitique du sillon de Bretagne et, au sud, la zone d'effondrement Brière – Grandlieu.

Notre secteur d'étude est ainsi totalement inclus dans cette zone d'effondrement qui se caractérise par des zones basses dont les terrains en place reposant sur le substratum gneissique sont composés d'alluvions fluvio-marines datant de l'Holocène[1], de tourbes et argiles grises et de sable limoneux datant également de l'Hololocène ainsi que d'alluvions récentes et actuelles. Ces zones basses sont coupées par des reliefs rocheux de granite ou de gneiss du Massif armoricain, localement recouvert par des colluvions pléistocènes[2].

1 *Holocène : période récente du Quaternaire (environ -12 000 ans à nos jours).*
2 *Pléistocène : première période du Quaternaire (environ -2 588 000 ans à -12 000 ans).*

Ainsi, l'Holocène se caractérise par d'importants dépôts sédimentaires ayant tendance à noyer les dépôts et les formations antérieurs.

Comme on peut le voir sur la figure 6, la Loire est bordée, sur la totalité de sa rive gauche ainsi que sur sa rive droite en amont de Donges, d'alluvions fluvio-marines de l'Holocène caractéristiques d'un recouvrement ancien de la zone.

La partie aval de la rive droite présente uniquement des faciès de type tourbes et argiles grises ainsi que des sables limoneux qui se trouvent, tout comme les alluvions, en zones basses. Cependant ces horizons ont été largement recouverts de matériaux de remblai lors de l'urbanisation et de l'industrialisation du secteur.

A l'aval de la zone d'étude, l'embouchure de la Loire est contrainte par la remontée du socle gneissique en rive droite tandis qu'en rive gauche on observe une formation dunaire coté océan et des alluvions fluvio-marines coté estuaire. Les premiers affleurements gneissiques ne sont observés qu'à 400m de la berge de l'estuaire.

Ainsi, le lit de la Loire est naturellement contraint par endroit par des formations géologiques difficilement érodables (Gneiss et Granites), comme par exemple à Paimboeuf en rive gauche ou à l'aval de Saint Nazaire en rive droite. Toutefois ces zones de contraintes sont relativement limitées et la Loire peut éventuellement se déplacer en érodant les alluvions fluvio-marines qui sont signes de l'inondabilité, au moins passée, de la zone.

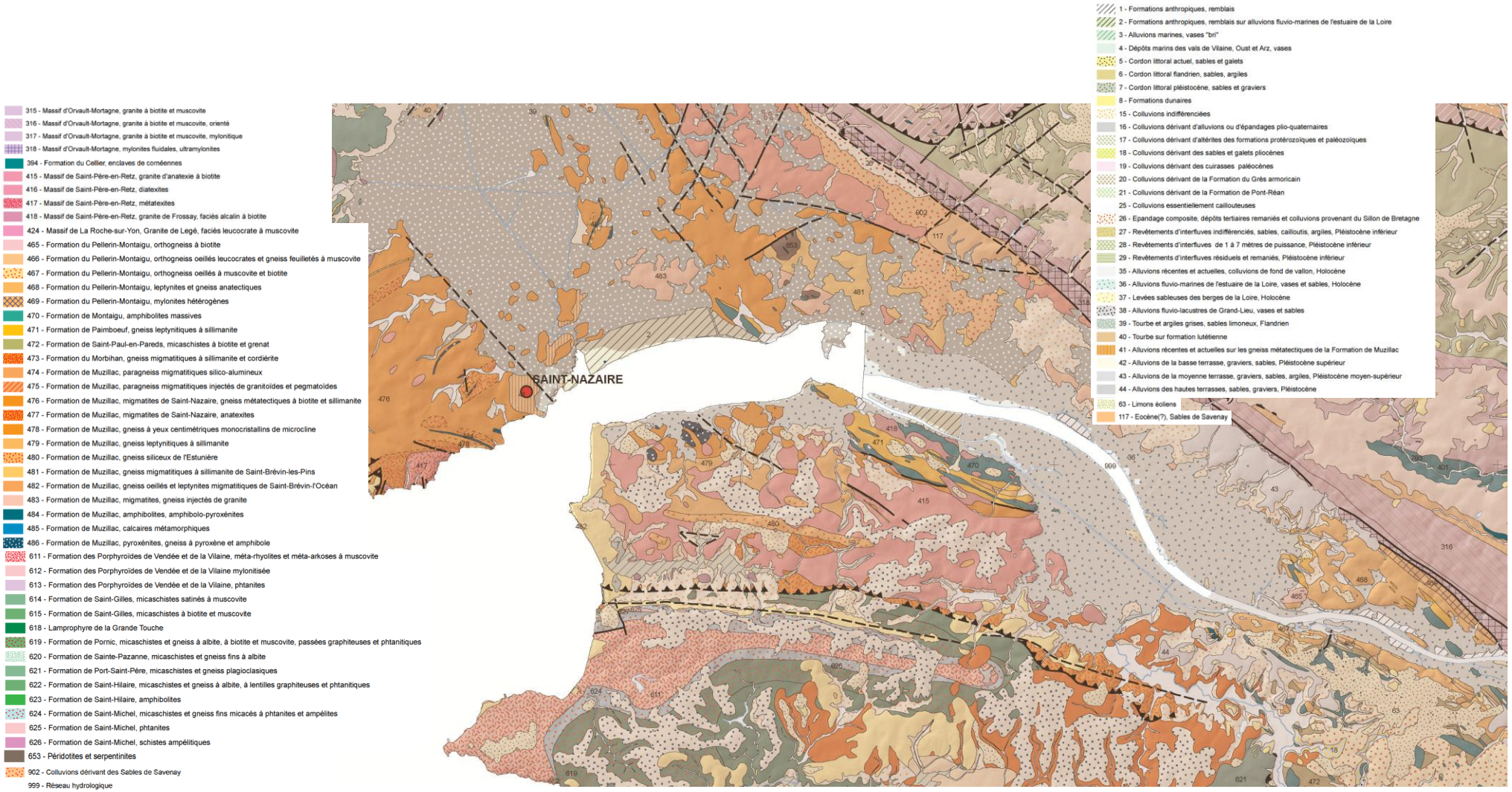


Fig. 7. EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE HARMONISEE DU DEPARTEMENT DE LOIRE ATLANTIQUE

2.
SYNTHESE HISTORIQUE

2.1. HISTORIQUE DES AMENAGEMENTS DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

Depuis plus de deux siècles l'homme a aménagé l'estuaire de la Loire principalement pour faciliter la navigation sur cette partie du fleuve. Les aménagements ainsi réalisés peuvent se décomposer en 3 grandes phases :

- La chenalisation par endiguement (1750 – 1840) qui a consisté à la fermeture de bras secondaire par la mise en place de digue et par la réunion d'iles ; ces aménagements avaient pour but de concentrer les écoulements dans le bras principal du fleuve afin de faciliter son auto curage.

- L'approfondissement des chenaux naturels, le dragage et la réalisation d'un canal de dérivation (1840 – 1930), cette grande phase peut se découper en deux sous phase :

  – 1840 – 1900 : l'aurocurage visé dans la phase précédente n'étant pas suffisant, les chenaux naturels du fleuve ont été dragués de manière successive afin d'atteindre la cote –1,2 m CM96 (1,96 m NGF) en 1898-1899. Dans les mêmes temps, les dragages successifs de la passe des Charpentiers (estuaire externe à l'aval de Saint Nazaire) lui ont permis d'atteindre la cote -6 m CM (-2,84 m NGF) en 1896. Durant la même période (entre 1882 et 1892), la difficulté de navigation dans le tronçon intermédiaire de l'estuaire de la Loire (nombreuses iles, bancs de sable, envasement…) a conduit l'Etat, le département, les négociants et les armateurs nantais à cofinancer la réalisation du canal de la Martinière. Celui-ci fût ouvert à la circulation en 1892 et fonctionna jusqu'en 1913.

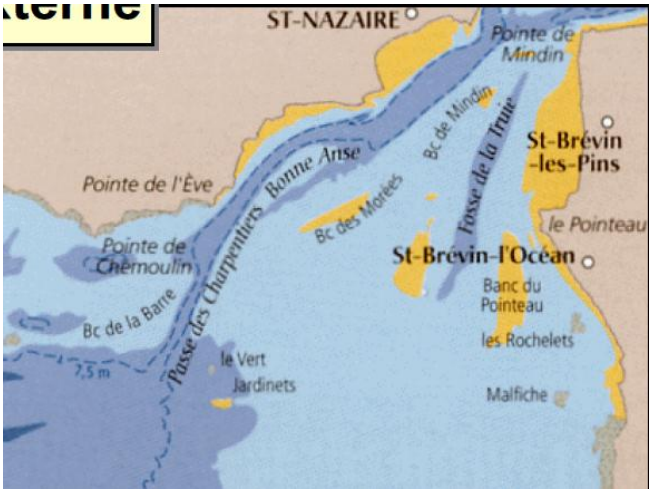
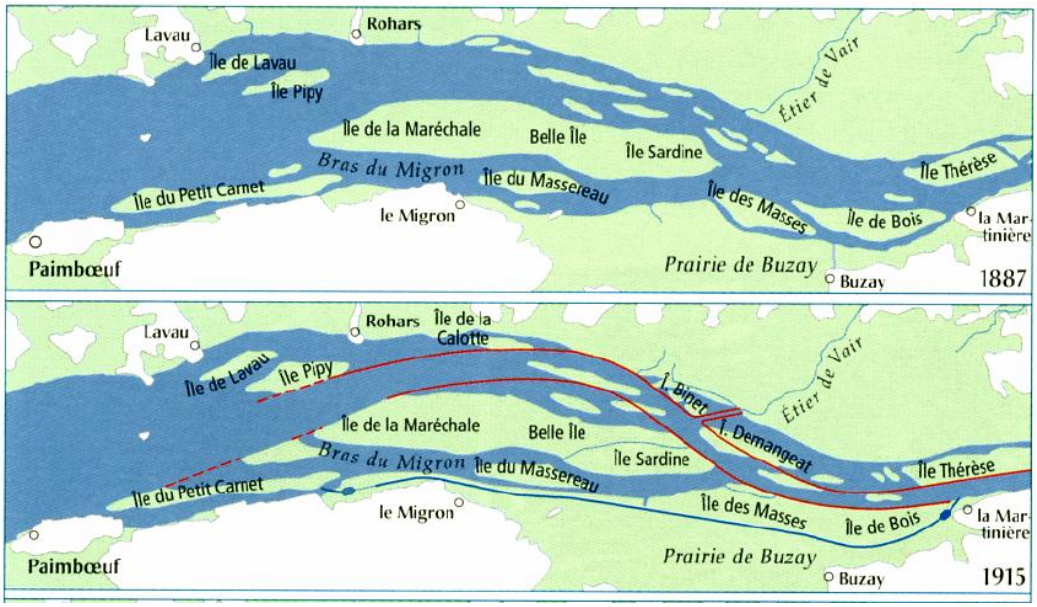


Fig. 8. SITUATION DE LA PASSE DES CHARPENTIERS (SOURCE : ETUDE DE SOGREAH[3] DE 2006 REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE)

[3] *« Mission d'étude, d'approfondissement et d'évaluation de scénarios visant à améliorer le fonctionnement Hydro sédimentaire de l'estuaire de la Loire » juillet 2006, réalisée par SOGREAH pour le GIP Loire Estuaire*

- 1900 – 1930 : cette période a connu la réalisation de grands travaux en amont de la zone d'étude par la création du bassin à marée en amont de Nantes (destruction de vieux barrage, abaissement de radiers de ponts, dragages, rectification du lit, …). Durant cette période, des travaux de recalibrage du lit entre la Martinière et l'ile pipy, des mises en place de digues ainsi que des suppressions de bras secondaires ont également eu lieu. La passe des Charpentiers avait de nouveau été approfondie pour atteindre la cote de -7 m CM (-3,84 m NGF) en 1910.



Source : Marais et estuaires du littoral français, Fernand Verger, Editions Belin, 2005, fig. 10.5, page 221

Fig. 9. PRINCIPAUX AMENAGEMENTS SUR LA LOIRE ENTRE 1900 ET 1930 (SOURCE : ETUDE DE SOGREAH[4] DE 2006 REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE)

- La <u>création de chenaux artificiels</u> dans le lit mineur de la Loire (1930 à nos jours) : cette création de chenaux s'est faite en 3 étapes :
  - 1937 – 1942 : basculement du chenal de navigation du sud vers le nord dans la partie aval de l'estuaire (construction de la digue de concavité et dragage), le chenal des charpentiers a été de nouveau dragué pour atteindre la cote -8,5 m CM (-5,34 m NGF) en 1942,
  - 1948 – 1968 : rectification du coude du Pellerin et approfondissement du chenal de Nantes de -3 à -5,5 m $CM_{avant96}$ (de 0,56 à -1,94 m NGF) entre Paimboeuf et Nantes,
  - 1969 – 1984 : approfondissement du chenal de Nantes de -5,5 à -6 m $CM_{avt\ 96}$ (de -1,94 à -2,44 m NGF) au début des années 70 ; en 1978 le seuil de Bellevue a été arasé. Approfondissement et aménagement de la partie aval de l'estuaire à Montoir et Donges et approfondissement du chenal des charpentiers (cote du fond : -13,25 m CM (-10,09 mNGF)) au début des années 1980.

Depuis 1984 il n'y a plus de travaux importants dans l'estuaire interne.

[4] *« Mission d'étude, d'approfondissement et d'évaluation de scénarios visant à améliorer le fonctionnement Hydro sédimentaire de l'estuaire de la Loire » juillet 2006, réalisée par SOGREAH pour le GIP Loire Estuaire*

2.2. ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES

L'analyse des évènements historiques permet de connaître les différents niveaux atteints, ou tout du moins, la fréquence des submersions sur la zone d'étude. Afin de connaître ces évènements anciens plusieurs sources ont été analysées, les résultats de cette analyse sont repris ci-après.

L'analyse de ces données sur les évènements historiques a permis de mettre en avant l'évènement qui semble le plus important dont nous ayons pu retrouver des traces. Il s'agit de l'évènement Xynthia qui est survenu dans la nuit du 27 au 28 février 2010.

2.2.1. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Différentes sources ont été utilisées afin d'obtenir le maximum d'informations sur les évènements historiques. Ces sources et les principales informations obtenues sont précisées ci-après.

2.2.1.1. ANALYSE DE LA BASE DE DONNEES DE LA DREAL

La DREAL (Direction Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) des pays de la Loire nous a fournis deux bases de données regroupant les principaux évènements marins marquants, la première concerne l'ensemble des départements des pays de la Loire tandis que la seconde concerne la Bretagne.

Les données de ces documents proviennent de diverses sources et notamment :

- de services et organismes publics :
  - préfectures,
  - Direction Départementale du Territoire et de la Mer
  - Conseil généraux
  - Université de Bretagne Ouest
- de documents publics :
  - dossier Catastrophe Naturelle
  - Plan de Prévention des Risques
  - Atlas de zone inondable
  - Rapports d'ingénieurs de ponts et chaussées
  - dossier de presse,
  - Rapports de l'association 12/12

Les types de dégâts observés lors de ces évènements sont répartis en 4 classes principales :

- Submersions marine avec rupture d'ouvrage,
- Submersion marine sans rupture d'ouvrage,
- Inondation et chocs mécaniques liés à l'action des vagues,
- Chocs mécaniques liés à l'action des vagues

Ces bases de données ont fait l'objet d'une analyse visant à retenir les dates d'évènements ayant impactés les communes du littoral situées dans un rayon de 150 km environ de l'estuaire de la Loire.

Nous avons ainsi pu relever 52 évènements différents ayant touchés les cotes dans un rayon de 150 km environ autour de l'estuaire. La liste de ces évènements est donnée en annexe A.

Sur l'ensemble des données fournies, seules trois communes situées sur notre zone d'étude sont citées. Il s'agit des communes suivantes :

- Bouée
- Lavau/Loire
- Saint Brévin les pins

Ces trois communes sont citées pour seulement deux évènements, la tempête de mars 2008 et la tempête Xynthia. Concernant la tempête de mars 2008, les dégâts indiqués dans la base de données sont des « chocs mécaniques liés à l'action du vagues » Seule la commune de Saint Brévin les Pins est indiquée comme ayant également subi des inondations lors de cet évènement.

Les deux premières communes sont situées dans le même secteur dans l'estuaire de la Loire tandis que la commune de Saint Brévin les Pins est située sur le littoral et orientée plein ouest, donc fortement impactée par la houle, ce qui peut expliquer les différences de dégâts observées.

Concernant les autres évènements, l'estuaire de la Loire n'est pas cité, cela n'implique pas qu'il n'y ait pas eu d'autres évènements sur notre zone d'étude. Cependant nous n'en n'avons pas connaissance par cette base de données.

2.2.1.2. RECHERCHE AUX ARCHIVES DEPARTEMENTALES ET RECHERCHE INTERNET

❖ **Archives départementales**

Les évènements issus de l'analyse de la base de données fournie par la DREAL ont servi de base aux recherches aux archives départementales.

Toutefois, les informations récoltées lors de ces recherches n'ont pas permis de connaître les niveaux d'eau atteints lors de ces évènements ou lors d'autres évènements historiques.

En effet, la plupart des données récoltées proviennent de la presse locale qui fait plutôt référence aux dégâts liés au vent qu'aux dégâts dus à des inondations. Ceci peut s'expliquer par le peu de population touchée par des inondations lors de ces évènements.

Les quelques informations récoltées sur les submersions sont trop généralistes pour pouvoir être exploitées. Il s'agit, par exemple (comme on peut le voir sur l'extrait de presse ci-après) d'article sur des bateaux échoués, ou d'indication de zones inondées, éventuellement d'un nombre de maisons touchées, sans pour autant donner d'indications précises sur les niveaux d'eau atteints ni sur la délimitation des zones touchées.



LE PELLERIN : CINQ BATEAUX AU FOND

Sur la Loire, la tempête a fait aussi des dégâts. C'est ainsi que la flotille des pêcheurs de civelles venue des ports de l'Océan pour cette période de pêche, l'a subie. Le fort vent de noroît qui soufflait, précipitat cinq bateaux au fond, après avoir rompu avec leurs corps morts ou s'être entrechoqués, avant que leurs équipages puissent intervenir.

Aidés de leurs camarades, les équipages ramenaient dès dimanche, leurs bateaux à quai.

Et ce lundi, par une belle matinée (notre photo), les embarcations reposant entre le môle et la piscine, attendaient la pleine mer pour rejoindre leur élément tandis que certains d'entre eux, resteront quelques temps pour la remise en état avant de repartir pour la pêche saisonnière.

Fig. 10. EXTRAIT DE PRESSE OCEAN DU 13/02/1972

❖ **Recherche internet**

Afin de compléter les recherches aux archives départementales nous avons procédé à des recherches d'informations sur internet.

Les résultats obtenus sont assez peu concluants, la plupart des données concerne des crues fluviales qui ont touché Nantes (notamment les crues de 1904, 1910 et mars 1995).

Les données obtenues sur des inondations de l'estuaire concernent deux évènements récents : la tempête du 10 mars 2008 et la tempête Xynthia (27-28/02/2010).

Il s'avère que la tempête du 10 mars 2008 a été moins forte que Xynthia et que peu de zones habitées ont été touchées (quelques habitations à Lavau/Loire).

Les données obtenues concernant Xynthia sont de faibles précisions comparées aux données obtenues auprès de la DDTM, des mairies et des riverains touchés.

2.2.1.3. QUESTIONNAIRE AUX COMMUNES ET ENQUETES DE TERRAIN/

L'ensemble des communes de la zone d'étude a été contacté afin d'obtenir des informations sur des évènements plus importants que Xynthia.

Il s'avère qu'aucune commune ne se souvienne d'évènements plus importants que Xynthia ayant eu lieu sur leur territoire. D'autres évènements ont également été évoqués, comme les tempêtes de 1999 ou de Mars 2008, mais ces tempêtes n'ont pas ou peu fait de dégâts et ont été moins importantes que Xynthia.

Les enquêtes de terrain auprès des riverains susceptibles d'être touchés par des inondations n'ont pas permis de recueillir de témoignage d'inondations supérieures à Xynthia. Mis à part un ou deux contacts, personne ne se souvient d'avoir été touché par des inondations avant Xynthia.

2.2.2. UN EVENEMENT MARQUANT : XYNTHIA

L'analyse des évènements historiques a montré que Xynthia est l'évènement le plus important de mémoire d'homme. Le fait que cet évènement soit récent a permis d'obtenir un nombre d'information important sur cette submersion marine. Les informations ont ainsi pu être synthétisées dans les questionnaires remplis par les communes et par cartographie (limite de zones inondées, laisses de crue, zones de vitesses, …)

2.2.2.1. DONNEES FOURNIES PAR LA DDTM

Le GIP (Groupement d'Intérêt Public) Loire Estuaire a procédé à des levés photographiques obliques 3 jours après le passage de la tempête Xynthia. Les zones en eau ou ressuyées suite au passage de Xynthia ont ainsi pu être définies avec une relative bonne précision.

La DDTM a procédé à des enquêtes de terrain afin de compléter le travail réalisé par le GIP. Pour cela les mairies ont été contactées afin d'affiner le tracé de la zone inondable. Des repères de crues ont également été levés topographiquement et des dégâts ont été repérés lors des enquêtes de terrains.

L'ensemble de ces données nous a été fourni et a été exploité lors de l'analyse des évènements historiques comme on peut le voir sur la cartographie des zones inondables (cartographie annexé au présent rapport) (limites de zones submergées suite au passage de xynthia, emplacement des laisses de crues…)

2.2.2.2. QUESTIONNAIRES AUX COMMUNES ET ENQUETES DE TERRAIN/

Durant l'étude nous avons contacté l'ensemble des communes afin d'obtenir des informations sur les évènements historiques. Pour cela nous leur avons fait parvenir un questionnaire (cf. annexe B) synthétisant l'ensemble des points les plus importants relatant l'évènement.

Les informations fournies par les mairies ont été complétées par des enquêtes de terrain ayant pour but d'obtenir des informations des riverains sur les niveaux d'eau maximaux atteints ainsi que sur les vitesses d'écoulement observés. Ces informations ont fait l'objet de fiches de laisses de crues présentées en annexe.

3.
DEFINITION DES ZONES INONDABLES PAR METHODE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

Il faut rappeler que la méthode hydrogéomorphologique a été mise au point dans les années 1980 pour définir les zones inondables des cours d'eau ayant un transport solide important. Ce transport solide est à l'origine de la morphologie de la vallée, qui permet de définir les lits mineur, moyen et majeur. Le but de la méthode étant d'identifier les différents lits grâce aux talus les séparant et aux sédiments en place.

Or le secteur d'étude est plutôt sujet à des submersions marines qu'à des inondations fluviales classiques. Il n'est donc pas possible d'identifier des talus séparant chaque lit. Cependant, il est possible d'identifier les zones hautes, non inondables, et les zones inondables.

Ainsi contrairement à une méthode classique d'hydrogéomorphologie, la méthode mise en place permet de définir uniquement les limites de la zone inondable exceptionnelle en définissant le lit majeur.

Les zones inondables fréquentes sont, quant à elles, déterminées en se basant sur d'autres critères que ceux utilisés en hydrogéomorphologie classique. En effet, on identifie, d'après l'occupation des sols et la topographie, une zone intermédiaire, le lit moyen, qui correspond à des zones régulièrement inondées ou qui étaient des anciens bras de la Loire.

Une information complémentaire est portée sur les cartes de zones inondables, qui ne correspond pas à des zones classiquement utilisées, il s'agit des zones de marais gérées hydrauliquement qui peuvent se situer soit dans le lit majeur soit dans le lit moyen de la Loire.

3.1. DESCRIPTION DE LA METHODE

La méthode décrite ci-après est la méthode utilisée pour l'ensemble de la zone d'étude et validée par le Maître d'Ouvrage. Elle se base sur la méthode classique d'hydrogéomorphologie sans toutefois différencier le lit moyen du lit majeur à proprement parler.

3.1.1. DEFINITION DES ZONES INONDABLES PAR ANALYSES MORPHOLOGIQUES

La définition des zones inondables se fait dans un premier temps par analyse des éléments morphologiques de la zone d'étude (rupture de pente et talus notamment). La méthode classique d'hydrogéomorphologie est basée sur l'analyse stéréoscopique de deux photographies, toutefois nous disposons sur la zone d'étude de données topographiques denses et précises pouvant remplacer l'analyse stéréoscopique. Nous avons donc tout d'abord défini quelles données seraient utilisées et de quelle manière elles seraient exploitées.

3.1.1.1. COMPARAISON ANALYSE STEREOSCOPIQUE / MNT

- **stéréoscopie**

La méthode classique d'hydrogéomorphologie permet d'identifier les talus et rupture de pente par analyse de deux photos aériennes à l'aide d'un stéréoscope, comme on peut le voir sur la figure 10.

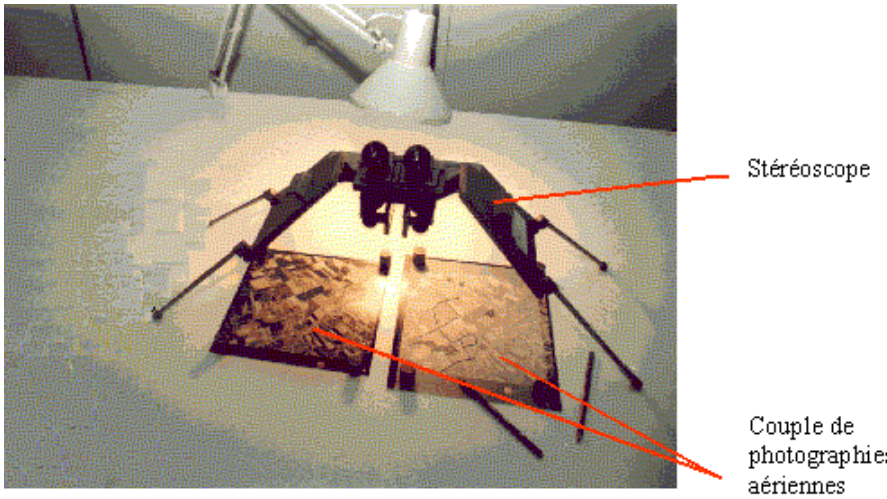


Fig. 11. ANALYSE DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES PAR STEREOSCOPIE

La stéréoscopie nécessite l'acquisition de photographies aériennes verticales pour lesquelles deux clichés successifs se recouvrent de 60%. Le stéréoscope permet de restituer la sensation de relief que l'on peut obtenir par l'observation simultanée, sur deux photographies successives, de la même portion de terrain. Cette sensation est amplifiée par l'appareil à grossissant qui modifie les échelles verticales et ainsi facilite l'observation des talus pouvant parfois ne faire que quelques décimètres.

A partir des observations de talus et ruptures de pente, on peut délimiter les unités géomorphologiques et ainsi définir le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur.

Les observations faites sur les photographies aériennes sont ensuite vérifiées sur le terrain par des visites de sites. Celles-ci permettent également de compléter la cartographie pour les zones couvertes par des arbres ou anthropisées.

Les avantages de cette méthode sont de pouvoir définir des zones inondables à moindre frais et à grande échelle comparé à une étude hydraulique classique (avec modélisation) ainsi que dans des délais beaucoup plus courts qu'une étude hydraulique classique.

Cependant, cette méthode présente quelques inconvénients qui sont :

- une vue en relief différente suivant les personnes,
- une interprétation de cette vue en relief différente suivant les personnes,
- la fatigue oculaire pouvant entraîner des erreurs d'observations,
- l'absence d'information topographique pouvant entraîner des erreurs d'observations,
- un processus relativement long.

❖ **Modèle Numérique de Terrain/Lidar**

Le Maître d'Ouvrage étant propriétaire du levé Lidar[5] de l'ensemble de la côte atlantique sur le département et de l'estuaire de la Loire, nous avons pu utiliser ces données en remplacement de la photo interprétation.

Le levé Lidar disponible ayant une résolution fine (un point tous les mètres), il est possible de voir les ruptures de pentes en analysant les courbes de niveau à 10 cm.

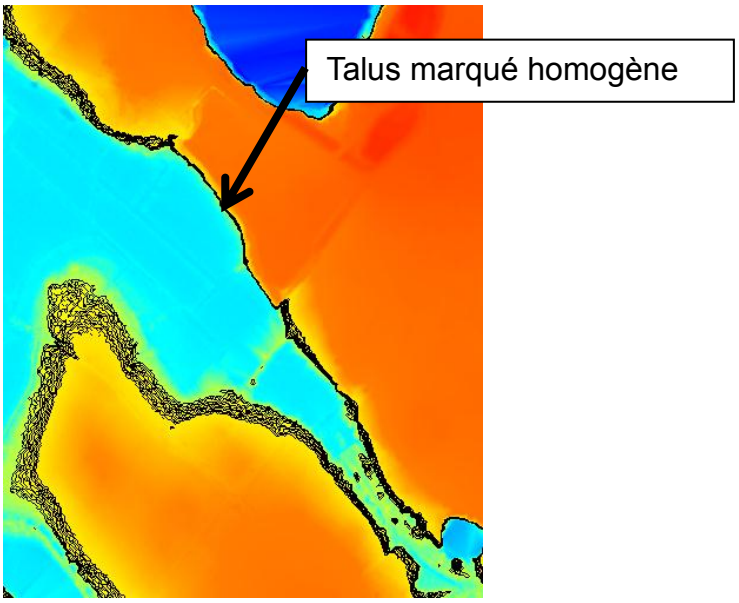


Fig. 12. EXEMPLE DE TALUS MARQUE OBSERVE PAR ANALYSE DU LEVE LIDAR

[5] *Levé Lidar : levé topographique laser aéroporté réalisé en 2011 ayant une précision verticale de +/- 20 cm et dont la densité (dans le cas présent) est d'un point tous les mètres*

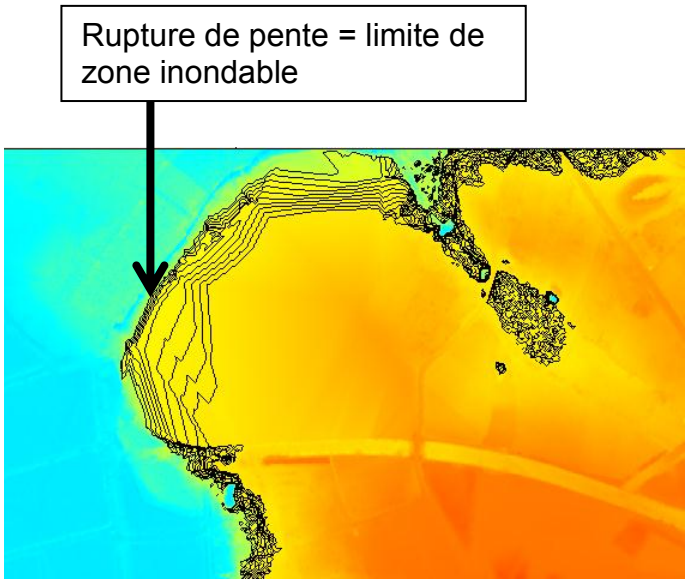


Fig. 13. EXEMPLE DE RUPTURE DE PENTE OBSERVEE PAR ANALYSE DU LEVE LIDAR

Ainsi le levé Lidar peut se substituer à l'analyse des photographies aériennes tout en ayant des avantages par rapport à cette dernière :

- meilleure précision sur le tracé des ruptures de pentes,
- information topographique permettant de mieux situer les zones basses,
- absence d'erreur d'interprétation.

L'utilisation du Lidar par analyse des courbes de niveau permet donc de réaliser le même travail que l'analyse stéréoscopique dans de meilleures conditions.

3.1.1.2. METHODE DE DEFINITION DES ZONES INONDABLES PAR L'EXPLOITATION DU LEVE LIDAR

L'utilisation du Lidar en remplacement de l'analyse stéréoscopique a été validée par le comité de pilotage lors de la réunion de validation de la méthodologie, à condition que le Lidar soit utilisé pour analyser les ruptures de pentes et non pour définir une zone inondable à partir d'un niveau d'eau fixé.

L'utilisation du Lidar, tout comme l'analyse stéréoscopique, permet de définir uniquement les limites du lit majeur et non de différencier le lit majeur du lit moyen qui n'est pas marqué par des talus ou ruptures de pente comme pour un cours d'eau classique.

L'analyse du levé Lidar permet donc de cartographier le lit mineur et les zones inondables (lit moyen, lit majeur et lit majeur exceptionnel) sans pouvoir différencier les zones fréquemment inondées des zones exceptionnellement inondées.

Comme pour toute analyse hydrogéomorphologique les aménagements anthropiques ne sont pas pris en compte dans la définition des zones inondables. Toutefois, ceux-ci sont indiqués sur les cartes pour information.

3.1.2. COMPLEMENT PAR VISITE DE TERRAIN

Le travail d'analyse du levé Lidar est complété par des visites de terrains qui permettent :

- de vérifier les limites de zones inondables tracées à partir du Lidar,
- de distinguer les zones remblayées des zones hautes naturelles,
- d'obtenir des informations sur les inondations historiques (laisses de crue).

Ces observations de terrain sont directement intégrées dans le plan des zones inondables.

3.1.3. APPORT DES DOCUMENTS HISTORIQUES ET DE LA TOPOGRAPHIE SUR LA DEFINITION DES DIFFERENTS LITS

Les données historiques et la topographie permettent de définir le lit moyen qui ne peut pas être défini par la simple analyse du levé Lidar. En effet, il n'existe pas (ou peu) de talus ou rupture de pente permettant de différencier le lit moyen du lit majeur.

A partir du levé Lidar et des photographies aériennes il est possible d'identifier les secteurs bas de la zone inondable situés à proximité du lit mineur qui sont régulièrement inondés et qui font donc partie du lit moyen de la Loire.

Les cartographies anciennes (cf. ci-après) permettent, quant à elles, de connaître l'évolution des lits mineurs de la Loire dans la zone d'étude

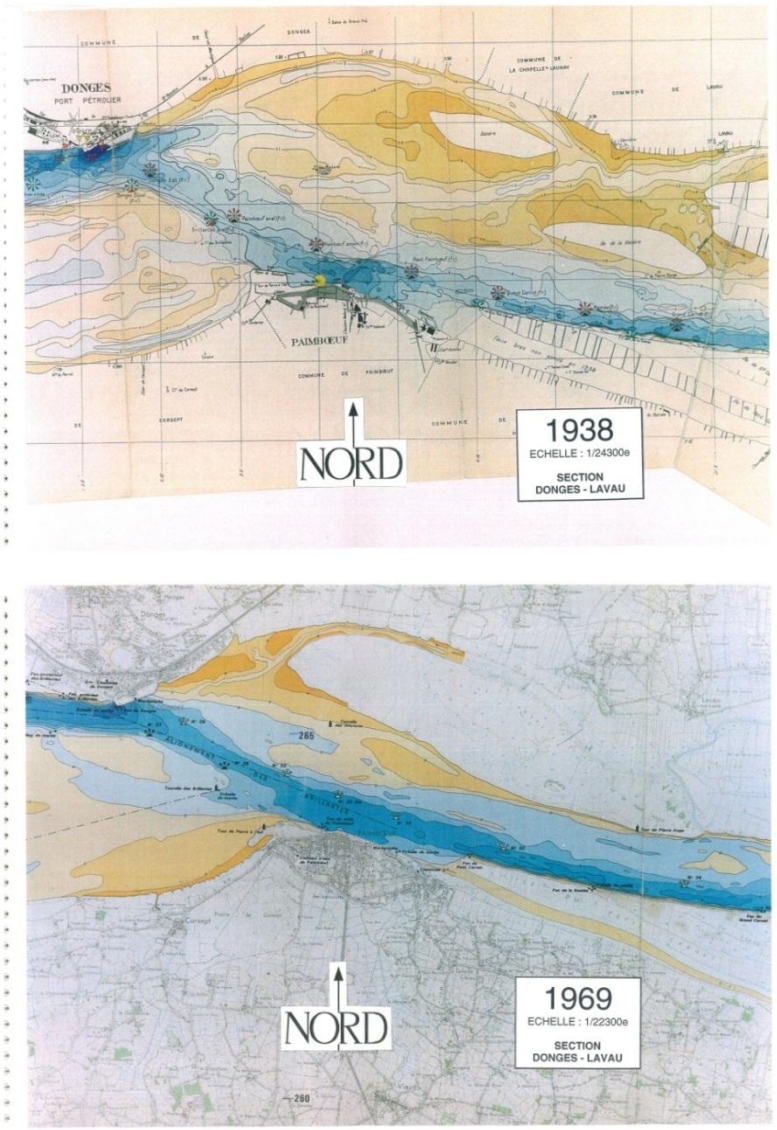


Fig. 14. EXEMPLE D'EVOLUTION DU LIT MINEUR DE LA LOIRE ENTRE 1938 ET 1969 (SOURCE : ETUDE DE SOGREAH[6] DE 2006 REALISEE POUR LE GIP LOIRE ESTUAIRE)

En se basant sur ces observations il est possible de définir un **lit moyen**, correspondant à l'ensemble des **zones basses régulièrement inondées** par la Loire, ainsi qu'à l'ensemble des **anciens bras et anciennes iles de la Loire**.

3.1.4. APPORT DE L'OCCUPATION DU SOL

L'occupation des sols est une information complémentaire prise en compte dans la définition des zones inondables, mais elle permet également d'obtenir des informations complémentaires qui n'influencent pas la définition de la zone inondable mais qui permettent d'avoir des informations sur le secteur. Il s'agit notamment des **secteurs de marais gérés hydrauliquement** définis sur l'atlas.

Cette limite correspond à la limite de marais gérés hydrauliquement fournie par le GIP Loire Estuaire. Ces marais peuvent se situer dans le lit moyen ou dans le lit majeur de la Loire.

6 *« Mission d'étude, d'approfondissement et d'évaluation de scénarios visant à améliorer le fonctionnement Hydro sédimentaire de l'estuaire de la Loire » juillet 2006, réalisée par SOGREAH pour le GIP Loire Estuaire.*

3.1.5. DEFINITION DES AMENAGEMENTS ANTHROPIQUES

3.1.5.1. EXPLOITATION DU LEVE LIDAR

A partir du levé Lidar il est possible d'identifier la plupart des remblais surfacique ou linéaire comme on peut le voir sur les figures ci-après :

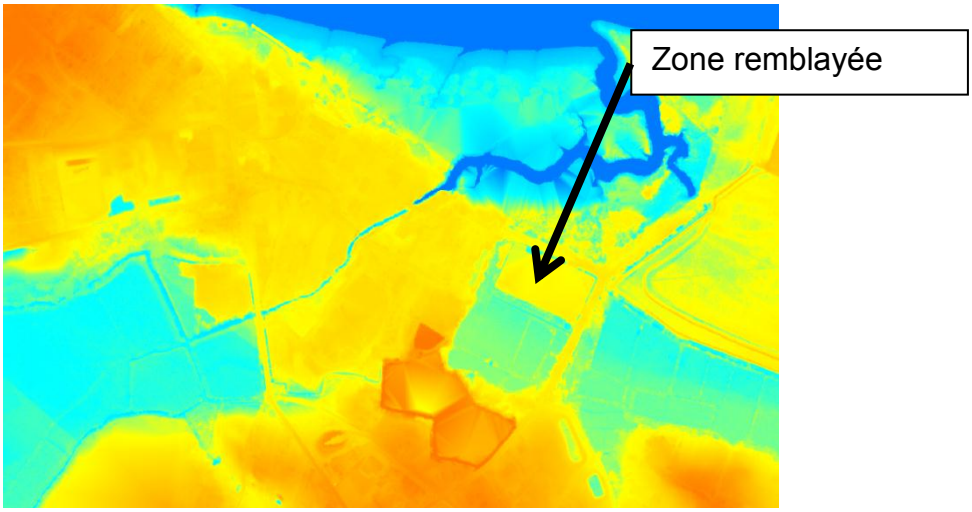


Fig. 15. OBSERVATION DE REMBLAI SURFACIQUE A PARTIR DU LEVE LIDAR

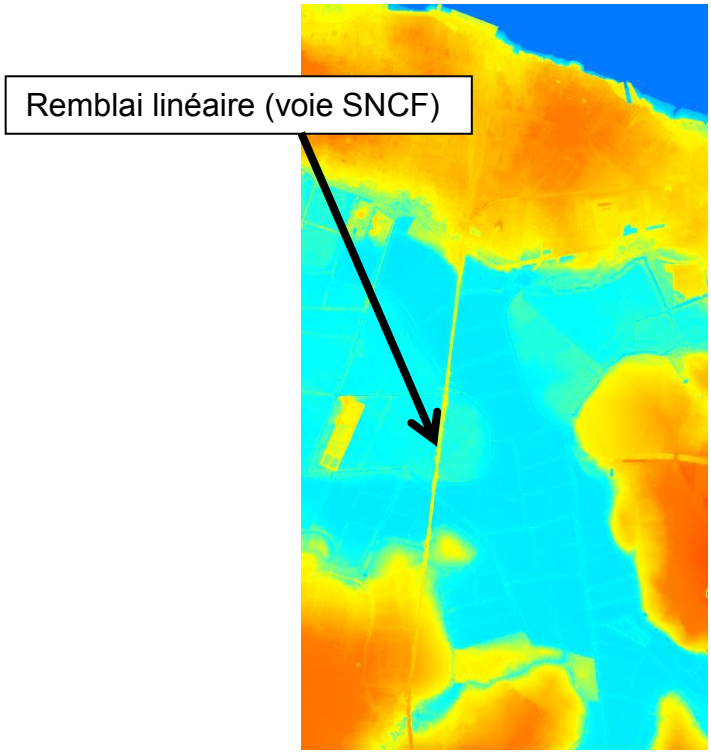


Fig. 16. OBSERVATION DE REMBLAI LINEAIRE A PARTIR DU LEVE LIDAR

Les observations réalisées sur le levé Lidar sont complétées par les observations de terrains, par les éléments fournis par les acteurs de l'estuaire (cartographie des ouvrages, analyse qualitative des berges de la Loire, …), ainsi que par les observations des cartographies et photographies aériennes anciennes. Les aménagements anthropiques pris en compte sont ceux ayant un impact sur les inondations, à savoir :

- les remblais surfaciques,
- les remblais d'infrastructure linéaires,
- les digues,
- les ouvrages hydrauliques (clapet, portes à flots, vannes, …).

3.1.5.2. EXPLOITATION DES DONNEES GEOLOGIQUES

De nombreux sondages géologiques ont été réalisés dans l'estuaire de la Loire. Une partie de ces sondages a fait l'objet d'une analyse et d'un rapport par le BRGM (*« Géométrie des formations géologiques de l'estuaire de la Loire – rapport final phase 1 », Mars 2006, BRGM).*

Les sondages intéressants se situent entre Le Pellerin et Corsept, en rive droite et en rive gauche de l'estuaire de la Loire, comme on peut le voir sur la figure ci-après.

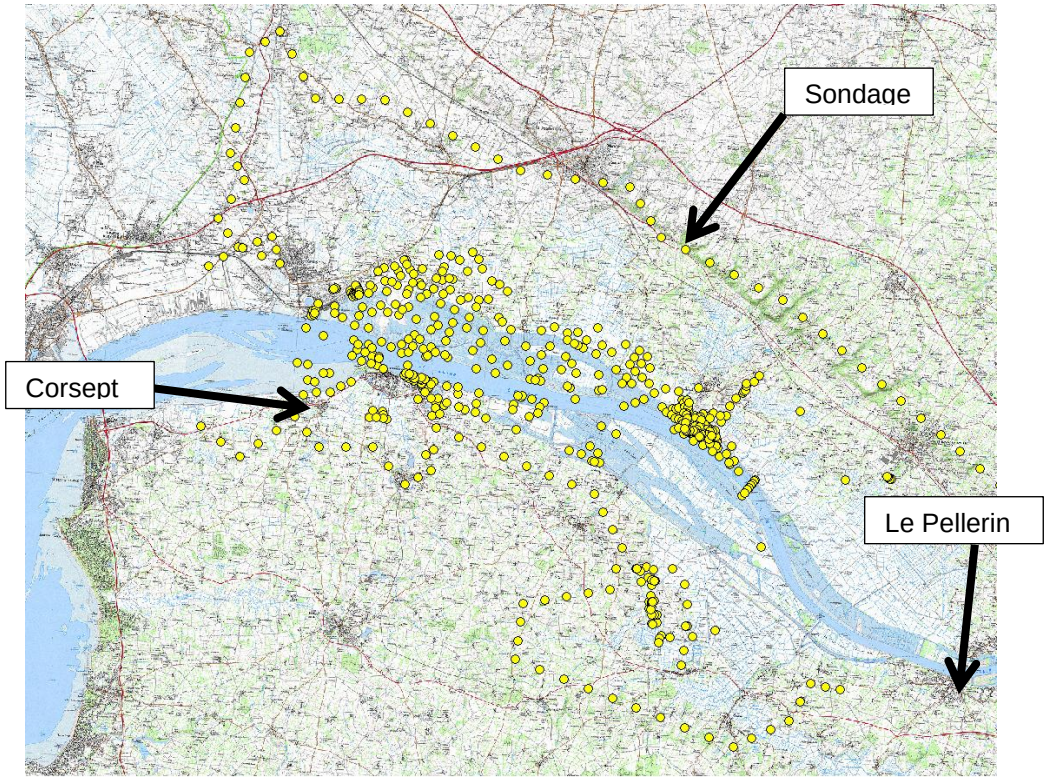


Fig. 17. PLAN DE SITUATION DES SONDAGES GEOLOGIQUES

Ces sondages ont été étudiés afin de connaître la présence ou non de remblai pour les zones dont l'analyse du levé Lidar et les visites de terrain n'ont pas permis de définir avec certitude l'existence de remblai. En effet, certaines zones ont été remaniées il y a plusieurs dizaines d'années sur des surfaces importantes, ce qui empêche l'identification des zones inondables naturelles (avant modification anthropique), et ce, malgré l'analyse de photographies aériennes et de cartes anciennes.

Toutefois, l'analyse de ces données n'a pas permis de définir de limites précises des zones remblayées pour trois raisons :

- le manque de densité des sondages dans les zones nous intéressant (zones d'incertitude sur l'ampleur des remblais),
- le fait que tous les coupes géologiques n'indiquent pas obligatoirement la présence de remblai,
- la plupart des remblais ont été réalisés avec des matériaux issus du dragage de la Loire, ce qui ne permet pas de les identifier par rapport aux alluvions naturellement présentes.

Dans le cas de **zones remblayées non inondables** et où, malgré les différentes analyses menées, nous sommes dans **l'incapacité de définir les zones inondables naturelles** précédant les remblais, nous ne fournissons **pas d'informations sur cette zone inondable**, le secteur est simplement indiqué comme remblayé.

3.1.6. APPORT DES EVENEMENTS HISTORIQUES

La recherche aux archives départementales n'ayant pas apportée d'informations précises sur les inondations historiques dans le secteur d'étude, seules les données sur Xynthia sont exploitées.

Comme expliqué en chapitre 2.2.2.1, le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire a réalisé une campagne de photographie aérienne oblique 3 jours après le passage de la tempête. L'exploitation de ces photographies aériennes a permis de définir une enveloppe des zones inondées ou potentiellement inondées lors du passage de la tempête. Cette cartographie a été complétée par la DDTM lors d'entretiens avec les mairies ce qui a conduit à l'élaboration d'une carte des zones observées comme inondées suite au passage de Xynthia. **La limite de zone inondable historique indiquée sur la carte des zones inondables est issue de cette analyse non modifiée**.

Il est à noter que cette cartographie ne différencie pas les zones déjà en eau avant le passage de Xynthia des zones à sec avant Xynthia. En effet, Xynhtia étant arrivée en plein hiver la plupart des marais étaient en eau avant le passage de la tempête et n'ont pas forcément été impactés par la tempête alors que la cartographie indique ces zones comme inondées suite au passage de Xynthia.

Comme expliqué chapitre 2.2.2.2, les mairies de chaque commune ont été contactées afin de connaître l'historique des inondations sur leurs communes. Pour cela, un questionnaire leur a été transmis (cf. annexe B). Il ressort de ces échanges que la tempête Xynthia est la plus importante tempête dont les mairies se souviennent.

Les visites de terrains ont également été l'occasion de rencontrer les riverains touchés par des inondations lors de la tempête Xynthia qui est l'évènement le plus important de mémoire d'Homme. Ainsi, des laisses de crues ont été levées par nos soins lors des campagnes de terrain ayant eu lieu entre novembre 2011 et janvier 2012 sur l'ensemble de la zone d'étude. Celles-ci viennent en complément des laisses de crues levées par la DDTM 44 et donnent une indication sur les niveaux d'eau observés lors du passage de la tempête. Elles permettent également de vérifier que l'enveloppe des zones inondables intègre bien l'ensemble des inondations historiques. Les fiches de laisses de crues sont présentées en annexe C et les emplacements des laisses de crues sont indiqués sur la figure 17.

Ces rencontres ont également été l'occasion de mieux comprendre le fonctionnement des débordements de la Loire dans le lit majeur et notamment les zones de courant observées.

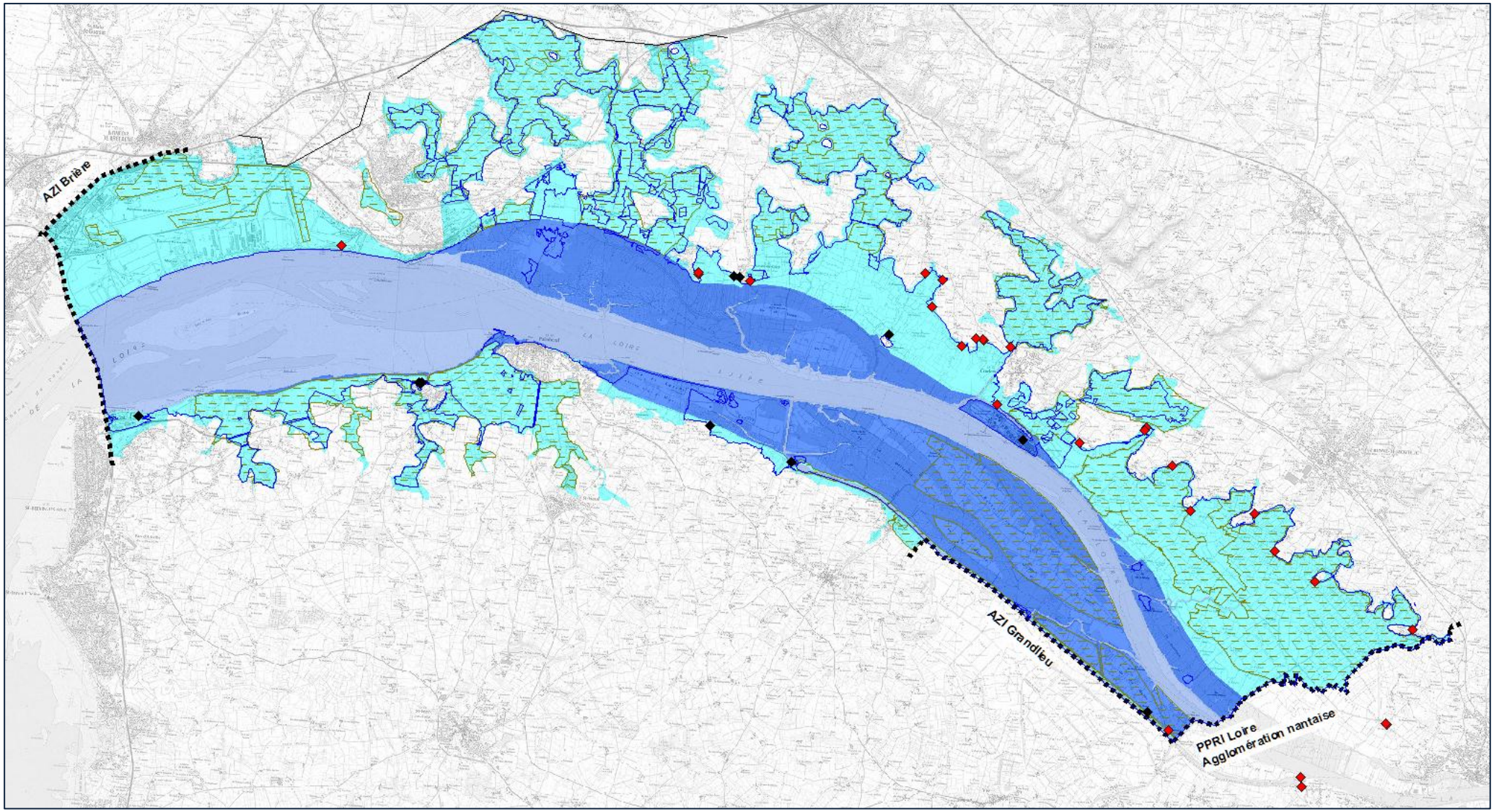


Fig. 18. EMPLACEMENT DES LAISSES DE CRUES HISTORIQUES SUR LE SECTEUR D'ETUDE

Les données sur les évènements historiques permettent de connaître l'ampleur des inondations passées et de vérifier la cohérence entre les limites de zones inondables définies et les zones historiquement inondées.

3.2. COMMENTAIRE DES CARTOGRAPHIES

Les cartographies (document annexe au présent rapport) sont réalisées sur fond de plan SCAN 25 de l'IGN au 25 000ème ou au 10 000ème pour les zones à enjeux. La précision des cartes correspond à ces échelles et support.

Le secteur d'étude est relativement homogène, on y observe de grandes zones de marais entrecoupées par des reliefs rocheux, vestiges du Massif armoricain. La pente longitudinale, très faible, est relativement constante. La zone inondable se retrouve sur les terrains composés d'alluvions fluvio-marines et vient buter sur les reliefs rocheux formant des talus plus ou moins marqués suivant les zones.

Sur l'ensemble des cartes figurent les éléments décrits précédemment (définition des lits mineur, moyen et majeur, emplacement des remblais, zones d'écoulement des crues, versant marqués, ouvrages hydrauliques, limites administrative de zones de marais gérés hydrauliquement et données historiques).

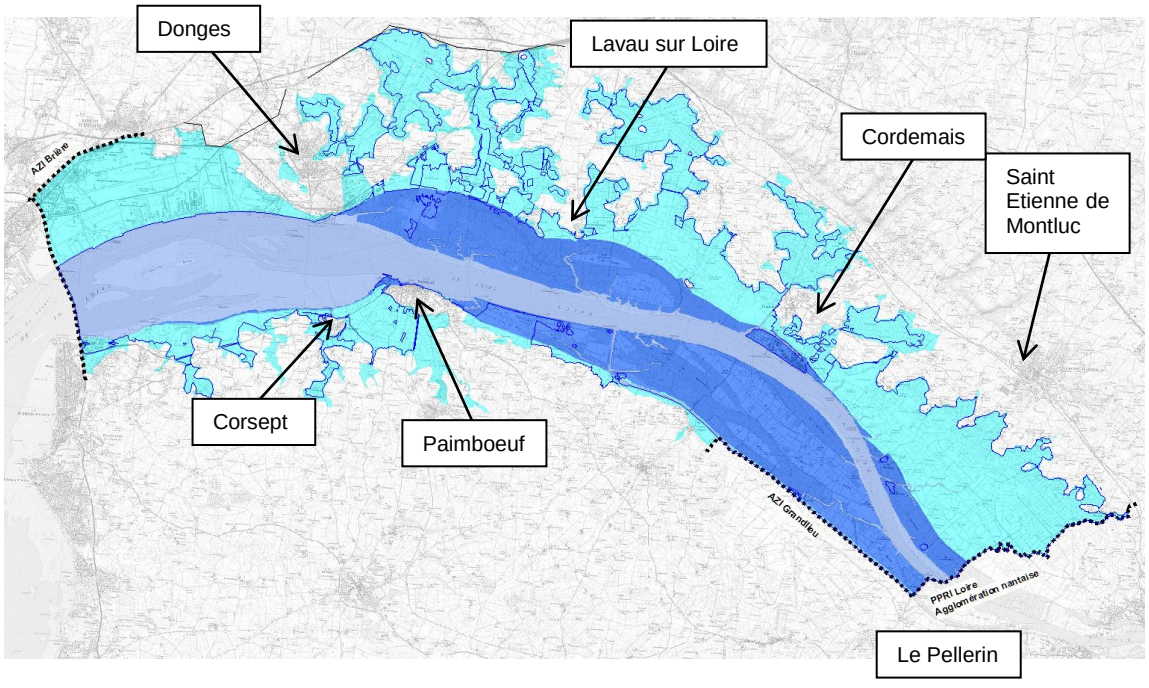


Fig. 19. VUE D'ENSEMBLE DE LA ZONE INONDABLE DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE DEFINIE PAR HYDROGEOMORPHOLOGIE

Le lit mineur s'élargit progressivement d'amont vers l'aval entre Le Pellerin et Cordemais. Il passe de 300 m dans sa partie amont à 1100 m dans sa partie aval. Au passage de Cordemais, le lit mineur s'élargit pour passer de 1100 m au droit de Cordemais à 2600 m en aval immédiat de Paimboeuf. La largeur du lit mineur fluctue ensuite entre 2600 et 3000 m dans la partie aval de la zone d'étude.

Ces variations de largeur s'expliquent par les aménagements importants du lit mineur réalisés pour faciliter la navigation (digues, chenaux de navigation approfondis…) ainsi que par la géologie. En effet, des reliefs rocheux contraignent les écoulements de la Loire comme c'est le cas pour les reliefs de Paimboeuf et de Donges.

Dans les sept kilomètres amont de la zone d'étude, le lit moyen est équitablement réparti entre les deux rives, sa largeur cumulée est d'environ 1300 m. Il est relativement important dans la zone médiane de la zone d'étude (entre Saint-Etienne-de-Montluc et Donges) où sa largeur cumulée est comprise entre 1600 et 2400 m. La répartition rive droite/rive gauche du lit moyen est inégale en fonction de la zone. Quasiment inexistant en rive droite entre Saint Etienne de Montluc et Cordemais, le lit moyen est équitablement réparti entre la rive droite et la rive gauche entre Cordemais et Lavau sur Loire. En aval de Lavau sur Loire, et jusqu'à Donges, le lit moyen se trouve principalement en rive droite. Il est totalement absent de la partie aval de la zone d'étude (à l'aval de Donges et Corsept).

Ces inégales répartitions du lit moyen peuvent s'expliquer par différents paramètres :

- La définition du lit moyen, en effet, ce dernier est défini comme étant les zones basses situées à proximité du lit mineur et/ou les anciens bras et iles de la Loire tels qu'on a pu les identifier sur les anciennes cartes et photographies.

- Les aménagements réalisés dans la Loire et le long de celle-ci pour faciliter la navigation. En supprimant les bras de la Loire et en creusant des chenaux de navigation, on a restreint les écoulements dans un seul bras situé soit le long de la rive gauche soit le long de la rive droite du tracé initial de la Loire suivant le tronçon considéré.

- Les contraintes géologiques et topographiques qui restreignent la mobilité de la Loire, c'est notamment le cas des reliefs rocheux de Paimboeuf et de Donges. En restreignant la mobilité de la Loire ils restreignent également le lit moyen.

- Les aménagements anciens réalisés dans les zones inondables de la Loire (notamment les remblais) ne permettent pas toujours de définir le lit moyen si aucune carte n'indique d'ancien bras de la Loire et si on ne possède aucune donnée topographique avant les remblais, c'est notamment le cas de la zone portuaire de Donges

Le lit majeur (situé entre le lit mineur et la limite de zone inondable) présente des étendues très variables. En rive droite, sa largeur est comprise entre 300 et 5000 m tandis qu'en rive gauche elle est comprise entre 700 et 5500 m. On observe des reliefs hors d'eau formant des « iles » dans la zone inondable s'expliquant par la géologie du site.

Déjà découpé par les reliefs naturels de la zone, le lit majeur est en grande majorité géré hydrauliquement et coupé par de nombreux remblais linéaires (routiers pour la plupart). Ainsi, les inondations dans ce secteur sont fortement influencées par les aménagements anthropiques.

De même, on observe de nombreux remblais surfaciques dans la zone d'étude et plus particulièrement dans la partie aval de la zone d'étude. Une grande partie de ces remblais se situe hors d'eau. Notons toutefois que l'ensemble des remblais n'est pas représenté sur cette cartographie, en effet, l'échelle de travail ne tient pas compte d'éventuels petits remblais locaux pouvant être réalisés à l'échelle de petites parcelles. Toutefois les remblais les plus importants et pouvant avoir des impacts sur les écoulements figurent sur la carte de la zone inondable définie par hydrogéomorphologie.

A SAINT-HERBLAIN, le 29 octobre 2013

ARTELIA
VILLE & TRANSPORT
DIRECTION REGIONALE OUEST
Espace bureaux Sillon de Bretagne
8 avenue des Thébaudières - CS 20232
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX
Tél. : 02 28 09 18 00
Fax : 02 40 94 80 99

oOo