



DEPARTEMENT DE LA LOIRE-ATLANTIQUE
**GRAND PORT MARITIME DE NANTES
SAINT-NAZAIRE**



Aménagement du site du Carnet

ETUDE D'IMPACT

CHAPITRE 2 : ETAT INITIAL DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

VILLE & TRANSPORT
DIRECTION REGIONALE OUEST
Espace bureaux Sillon de Bretagne
8 avenue des Thébaudières
CS 20232
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00
Fax : 02 40 94 80 99

DATE : FEVRIER 2016

REF : 4-53-1549



Ville & Transport
Direction Régionale 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

ARTELIA Ville & Transport Direction Régionale 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	N° Affaire	4-53-1549	Etabli et vérifié par				
	Date	FEVRIER 2016			J. JUDIC		
	Indice	A	B	C	D	E	

SOMMAIRE

1. PREAMBULE	1
2. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE	1
3. MILIEU PHYSIQUE	3
3.1. CLIMATOLOGIE	3
3.1.1. PRECIPITATIONS	3
3.1.2. BILAN HYDRIQUE	3
3.1.3. TEMPERATURES	5
3.1.4. INSOLATION	5
3.1.5. LES VENTS	5
3.2. QUALITE DE L'AIR	7
3.2.1. DEFINITION	7
3.2.2. RESEAU DE MESURE ET QUALITE DE L'AIR SUR LA VILLE DE SAINT-NAZAIRE ET ALENTOURS	7
3.2.3. RESULTATS DES STATIONS DE MESURES FIXES	8
3.3. FACTEURS CLIMATIQUES ET TENDANCES D'EVOLUTION	10
3.3.1. LES ENGAGEMENTS	10
3.3.2. LA FRANCE AU REGARD DES EXIGENCES LIEES AU CLIMAT	11
3.3.3. L'ENGAGEMENT DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE DANS LES PAYS DE LA LOIRE	12
3.4. GEOLOGIE - HYDROGEOLOGIE	14
3.4.1. GEOLOGIE GENERALE	14
3.4.2. GEOLOGIE LOCALE	18
3.4.3. HYDROGEOLOGIE	20
3.5. TOPOGRAPHIE	21
3.5.1. ESTUAIRE DE LA LOIRE	21
3.5.2. SITE DU CARNET	21
3.6. SYNTHESE MILIEU PHYSIQUE	24
4. MILIEU AQUATIQUE	25
4.1. MORPHOLOGIE DE L'ESTUAIRE ET AMENAGEMENTS ANTHROPIQUES	25
4.2. EVOLUTION DES FONDS	31
4.3. LA BATHYMETRIE ACTUELLE	32
4.4. NATURE DES TERRAINS ET DES FONDS ESTUARIENS	34
4.4.1. POINTS RECENSES A LA BANQUE DU SOUS-SOL DU BRGM	34
4.4.2. RECONNAISSANCE DES SOLS DE LA ZIP DU CARNET	36
4.4.3. FONDS EN LOIRE	39
4.5. HYDROLOGIE DU FLEUVE	40
4.5.1. NOTIONS GENERALES	40
4.5.2. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE	40
4.5.3. DEBITS MOYENS MENSUELS ET DEBITS D'ETIAGE CONTINENTAUX DE LA LOIRE	41
4.5.4. LIGNES D'EAU ET INONDATIONS SUR LA LOIRE AVAL	45
4.5.5. VOLUMES OSCILLANTS	52
4.5.6. COURANTS	52
4.5.7. AGITATION	56

4.5.8.	DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	56
4.6.	RESEAU HYDROGRAPHIQUE LOCAL	62
4.6.1.	ECOULEMENTS SUPERFICIELS SUR LES COMMUNES DE FROSSAY ET DE SAINT-VIAUD	62
4.6.2.	RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	64
4.7.	LA QUALITE DES EAUX	73
4.7.1.	LES PRINCIPAUX RESEAUX DE SUIVI DE QUALITE DE L'EAU EXISTANTS	73
4.7.2.	QUALITE GENERALE DES EAUX : LES MASSES D'EAU CONCERNEES PAR LE PROJET ET LEUR OBJECTIF REGLEMENTAIRE	74
4.7.3.	LE RESEAU SYVEL – GIP LOIRE ESTUAIRE	79
4.8.	SYNTHESE MILIEU AQUATIQUE	83
5.	MILIEUX BIOLOGIQUES ET INTERETS PATRIMONIAUX ASSOCIES	84
5.1.	PERIMETRES D'INVENTAIRES ET DE PROTECTION A L'ECHELLE NATIONALE	84
5.1.1.	LES ZNIEFF	84
5.1.2.	LA TRAME VERTE ET BLEUE	86
5.1.3.	PERIMETRES « ZONES HUMIDES » SUR LE SITE DU CARNET	92
5.1.4.	PERIMETRES « PATRIMOINE PAYSAGER ET CULTUREL »	104
5.1.5.	PARC NATUREL REGIONAL	106
5.1.6.	RESERVE NATURELLE NATIONALE (A L'ETUDE)	106
5.1.7.	RESERVES DE CHASSE	106
5.1.8.	LE FONCIER A VOCATION DE PRESERVATION DES ESPACES REMARQUABLES	107
5.2.	ECHELLE EUROPEENNE : RESEAU NATURA 2000	108
5.2.1.	PRESENTATION DU RESEAU NATURA 2000	108
5.2.2.	SITES PRESENTS SUR L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	110
5.2.3.	SYNTHESE SUR LES ESPACES REMARQUABLES AU NIVEAU DE LA ZONE D'ETUDE	113
5.3.	CARACTERISATION DES ELEMENTS BIOLOGIQUES DU SITE D'ETUDE	114
5.3.1.	DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES ET METHODOLOGIES DES PROSPECTIONS REALISEES	114
5.3.2.	FLORE – HABITATS : CARACTERISATION DU SITE DU CARNET	116
5.3.3.	LES PLANTES INVASIVES	135
5.3.4.	FAUNE	138
5.4.	BIO-EVALUATION : SYNTHESE ET HIERARCHISATION DES ENJEUX PRESENTS SUR LE CARNET A L'ECHELLE DE L'ESTUAIRE	171
5.4.1.	SYNTHESE DES ENJEUX PRESENTS SUR LE SITE DU CARNET	171
5.4.2.	EVOLUTION DE L'ESTUAIRE ET DE SES MILIEUX NATURELS	172
5.4.3.	PROGRAMME DE RESTAURATION MORPHOLOGIQUE DE L'ESTUAIRE AVAL	174
5.4.4.	GRANDES FONCTIONS ECOLOGIQUES DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	175
5.4.5.	ROLE DU SITE DU CARNET DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	176
5.4.6.	METHODOLOGIE SPECIFIQUE AU SITE DU CARNET : BIOEVALUATION	176
5.4.7.	INTERETS DE LA METHODE POUR LA CARACTERISATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES	202
5.5.	SYNTHESE MILIEU NATUREL	203
6.	MILIEU HUMAIN	205
6.1.	FONCIER	205
6.2.	ORGANISATION ADMINISTRATIVE DU TERRITOIRE	205
6.2.1.	DECOUPAGE ADMINISTRATIF DE LA ZONE D'ETUDE	205
6.2.2.	INTERCOMMUNALITE	205
6.2.3.	DEMOGRAPHIE ET ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES	205
6.2.4.	POPULATION ACTIVE	207
6.2.5.	L'URBANISATION	208

6.3.	PRINCIPALES ACTIVITES ECONOMIQUES	209
6.3.1.	LES ACTIVITES ACTUELLES DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	209
6.3.2.	ACTIVITES DE LOISIRS DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	215
6.3.3.	ACTIVITES ANCIENNES ET ACTUELLES SUR LE SITE DU CARNET	216
6.4.	DEPLACEMENTS ET CIRCULATION	219
6.4.1.	DONNEES GLOBALES	219
6.4.2.	DONNEES AU DROIT DU SITE DU CARNET	220
6.5.	ENVIRONNEMENT SONORE DU SITE	223
6.5.1.	TEXTES REGLEMENTAIRES	223
6.5.2.	REGLEMENTATION LIEE AUX SOURCES SONORES ET RELATIVITE DE LA SENSATION AUDITIVE	223
6.5.3.	PLAN DE PREVENTION DU BRUIT DANS L'ENVIRONNEMENT DE LOIRE-ATLANTIQUE	224
6.5.4.	DIAGNOSTIC DE LA SITUATION INITIALE	225
6.6.	LES EQUIPEMENTS DU SECTEUR D'ETUDE : RESEAUX EXISTANTS	229
6.6.1.	EAUX PLUVIALES	229
6.6.2.	EAUX USEES	230
6.6.3.	ALIMENTATION EN EAU POTABLE	231
6.6.4.	ELECTRICITE, GAZ ET TELECOMMUNICATIONS	231
6.7.	PAYSAGE	234
6.7.1.	LA LECTURE D'UN PAYSAGE	234
6.7.2.	LES GRANDES UNITES PAYSAGERES DE L'ATLAS DES PAYSAGES DE LOIRE-ATLANTIQUE	235
6.7.3.	PRESENTATION DE LA LOIRE ESTUARIEENNE	237
6.7.4.	LOIRE ESTUARIEENNE : CONNAITRE ET PRENDRE EN CONSIDERATION CE QUI EXISTE AUJOURD'HUI	239
6.7.5.	LES ELEMENTS INDUSTRIALO-PORTUAIRE DANS LE CONTEXTE ESTUARIEEN	242
6.7.6.	PAYSAGES SUR LE SITE DU CARNET : UN SITE EMBLEMATIQUE	242
6.8.	SANTE	248
6.8.1.	NUISANCES LIEES A LA QUALITE DE L'AIR	248
6.8.2.	NUISANCES LIEES AUX STATIONS RADIOELECTRIQUES	248
6.8.3.	NUISANCES SONORES	249
6.8.4.	NUISANCES LIEES A LA POLLUTION DES SOLS	249
6.8.5.	LES NUISANCES LIEES AUX ALLERGIES PROVOQUEES PAR LA VEGETATION	250
6.9.	RISQUES NATURELS ET TECHNOLOGIQUES	251
6.9.1.	RISQUES NATURELS	252
6.9.2.	RISQUES TECHNOLOGIQUES	254
6.10.	SYNTHESE MILIEU HUMAIN	256
7.	LES DOCUMENTS DE CADRAGE, DE PLANIFICATION ET LES DOCUMENTS D'URBANISME REGLEMENTAIRES DANS LESQUELS S'INSCRIT LE PROJET	258
7.1.	ARTICULATION DES DOCUMENTS D'URBANISME	258
7.2.	LA DTA DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	258
7.2.1.	PRESENTATION GENERALE ET OBJECTIFS DE LA DTA DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE	258
7.2.2.	LA DTA ET LE SITE DU CARNET	259
7.2.3.	APPLICATION DE LA LOI LITTORAL	259
7.3.	LE SCHEMA DE COHERENCE TERRITORIALE DU PAYS DE RETZ	260
7.4.	LES PLANS LOCAUX D'URBANISME DE FROSSAY ET SAINT-VIAUD	261
7.4.1.	LE PLAN LOCAL D'URBANISME DE FROSSAY	261
7.4.2.	LE PLAN LOCAL D'URBANISME DE SAINT-VIAUD	263
7.5.	LE SDAGE LOIRE-BRETAGNE 2016 -2021	265

7.6. E SAGE ESTUAIRE DE LA LOIRE	266
7.6.1. DESCRIPTION GENERALE	266
7.6.2. ENJEUX ET OBJECTIFS DU SAGE	267
7.7. LE SRCAE PAYS DE LA LOIRE	268
7.8. LE SRCE PAYS DE LA LOIRE	270
7.9. LES SERVITUDES	270
7.9.1. ZONES REGLEMENTEES AU TITRE DE LA PROTECTION DE L'ARCHEOLOGIE SUBAQUATIQUE ET SOUS-MARINE	270
7.9.2. SERVITUDES MILITAIRES	270
7.10. SYNTHESE DOCUMENTS DE CADRAGE	272
8. SYNTHESE DES ENJEUX	273

TABLEAUX

Tabl. 1 - Concentrations mesurées par les stations de Paimboeuf et Frossay en 2013 – Source Air Pays de la Loire	9
Tabl. 2 - Principaux aménagements réalisés sur le secteur d'étude depuis 1800	25
Tabl. 3 - Description et nature du sol sur le site du Carnet à partir des données géologiques disponibles sur le site du BRGM	34
Tabl. 4 - Tableau des objectifs de quantité aux points nodaux [SDAGE 2010 – 2015]	43
Tabl. 5 - Correspondance entre les repères topographiques [AELB, GIP Loire-Estuaire, 2000]	45
Tabl. 6 - Niveaux d'eau atteints à Saint-Nazaire et Cordemais en fonction des marées [Sources : Site internet du SHOM en Janvier 2008, Annuaire de marée du PANSN édité en 2008]	46
Tabl. 7 - Définition des aléas suivant les hauteurs d'eau et les vitesses	48
Tabl. 8 - Cotes d'inondabilité sur le secteur d'étude	49
Tabl. 9 - Surfaces concernées par les risques d'inondation sur le secteur du Carnet	49
Tabl. 10 - Volumes (Mm ³) emmagasinés par le flot à l'amont de stations pour une marée de coefficient 90 et en étiage de 260 m ³ /s [GIP Loire Estuaire, 2004]	52
Tabl. 11 - Valeur des intensités de courants au droit du Carnet dans le chenal de navigation (m/s) [ARTELIA, 2013]	53
Tabl. 12 - Emprise des bassins versants et exutoires associés	62
Tabl. 13 - Réseaux de mesures de la qualité des eaux	73
Tabl. 14 - Qualité de la masse d'eau de transition « Estuaire de la Loire » n°FRGT28 (Agence de l'eau Loire-Bretagne, données 2010-2011)	76
Tabl. 15 - Qualité de la masse d'eau souterraine « Estuaire de la Loire » n°FRGG022 (Agence de l'eau Loire-Bretagne, données 2008-2009)	77
Tabl. 16 - Localisation préférentielle des classes d'hydromorphie	98
Tabl. 17 - Espaces remarquables au niveau de la zone d'étude	113
Tabl. 18 - Liste des principales données environnementales mobilisées	114
Tabl. 19 - Périodes des principales prospections de terrain, groupes prospectés et auteurs des données utilisées	115
Tabl. 20 - Espèces patrimoniales et/ou protégées mentionnées sur le site du Carnet	128
Tabl. 21 - Espèces remarquables sur le site du Carnet – synthèse 2008-2012	130
Tabl. 22 - Liste et statut des espèces invasives observées au Carnet (Ouest Am'-Artélia)	135
Tabl. 23 - Mammifères terrestres contactés sur le site du Carnet	138
Tabl. 24 - Micromammifères contactés sur le site du Carnet	139
Tabl. 25 - Statuts des espèces de chiroptères contactées sur le site du Carnet [ALTECH, 2009]	140
Tabl. 26 - Herpétofaune contactée sur le site du Carnet	141
Tabl. 27 - Batrachofaune contactée sur le site du Carnet	142
Tabl. 28 - Entomofaune : groupes étudiés et nombre d'espèces déterminées sur le site du Carnet	144
Tabl. 29 - Principaux traits des espèces dominantes de l'estuaire	150
Tabl. 30 - Liste des espèces aviennes recensées au printemps 2000, entre Paimboeuf et l'île du Petit Carnet, avec indication pour certaines du nombre de couples nicheurs en 2000 et 2008 selon les espèces, et des milieux fréquentés	155
Tabl. 31 - Effectifs hivernaux observés sur la vasière de Paimboeuf en 2008 [OUEST AM', 2009]	156
Tabl. 32 - Liste des espèces aviennes en période internuptiale recensées entre 2004 et 2011, entre Paimboeuf et l'île du Petit Carnet, avec indication des milieux fréquentés	158
Tabl. 33 - Caractéristiques des prélèvements réalisés au droit du Carnet [TBM, 2014]	163
Tabl. 34 - Guildes écologiques des principales espèces de poissons dans l'estuaire de la Loire [Elie & al, 1990, Elliot & Dewailly 1995]	165
Tabl. 35 - Résultats des suivis de la faune piscicole par domaine de salinité	167
Tabl. 36 - Critères mentionnés par le SDAGE Loire-Bretagne pour caractériser les fonctionnalités des zones humides	177
Tabl. 37 - Fonctionnalités des zones humides du site du Carnet	178
Tabl. 38 - Degré de naturalité des habitats, fonctionnalités biologiques retenues et barème de notation utilisé	194

Tabl. 39 - Barème de notation des fonctionnalités biologiques retenues	195
Tabl. 40 - Données surfaciques des différents niveaux attribués aux milieux humides et non humides	202
Tabl. 41 - Chiffres du thème « Population » pour les communes de Frossay et Saint-Viaud et la CCSE [INSEE]	207
Tabl. 42 - Chiffres du thème « Emploi-chômage » pour les communes de Frossay et Saint-Viaud et la CCSE [INSEE]	207
Tabl. 43 - Valeurs des indices de corrélation entre le bruit et le trafic mesuré sur site	225
Tabl. 44 - Niveaux sonores mesurés LAeq jour et nuit	227
Tabl. 45 - Niveaux sonores mesurés L50 jour et nuit	228
Tabl. 46 - Coefficient d'imperméabilisation et débit de fuite maximal sur la commune de Frossay – site du Carnet	229
Tabl. 47 - Enjeux et objectifs du SAGE Estuaire de la Loire	266
Tabl. 48 - Enjeux et objectifs du PAGD	267

FIGURES

Fig. 1. Paramètres climatologiques à la station de Montoir [Météo France, 2010]	4
Fig. 2. Rose des vents – station de Montoir [Météo France, 2010]	6
Fig. 3. Evolution de l'indice de qualité de l'air à Saint-Nazaire entre 2001 et 2012	8
Fig. 4. Emissions de gaz à effet de serre d'origine et objectifs nationaux et internationaux	11
Fig. 5. Extrait de la carte géologique numérique Pays de la Loire à 1/250 000 [BRGM, 2006]	15
Fig. 6. Localisation des coupes géologiques [BRGM, 2006]	19
Fig. 7. Détail des coupes T2 et T1 [BRGM, 2006]	19
Fig. 8. Faciès géologiques [D'après GIP Loire-estuaire, 2004]	20
Fig. 9. Le relief de la plaine alluviale entre Nantes et Saint-Nazaire [GIP Loire-Estuaire, 2007]	21
Fig. 10. Extrait de la carte géométrique levée par Magin et De Blaveau en 1755 et publiée en 1757	25
Fig. 11. Morphologie de l'estuaire et aménagements anthropiques [APEEL, 1994]	26
Fig. 12. Site du carnet en 1970 – en 1979 - en 1985 - en 1989 (remblais achevés en 1994) [IGN, 1970-1979-1985-1989]	27
Fig. 13. Vue aérienne vers l'Ouest de la zone du Carnet [GPMNSN, mai 1972]	28
Fig. 14. Vue aérienne vers l'Ouest de la zone du Carnet [GPMNSN, juillet 1977]	28
Fig. 15. Vue aérienne de la zone du Carnet, -percée du Carnet au premier plan [GPMNSN, 1978]	29
Fig. 16. Vue aérienne sur la pointe Ouest du Carnet [GPMNSN, 1979]	29
Fig. 17. Vue aérienne vers l'Est de la zone du Carnet [GPMNSN, début des années 1980]	30
Fig. 18. Vue aérienne vers l'Ouest de la zone du Carnet [GPMNSN, 2012]	30
Fig. 19. Evolution des fonds de 1969 à 1984 (Source : SOGREAH)	31
Fig. 20. Evolution des fonds entre 1984 et 2002 (Source : SOGREAH)	31
Fig. 21. Localisation des différentes zones de l'étude Calligée sur le site du Carnet	36
Fig. 22. Sondages pédologiques (tarière à main) : horizons argileux vasards	38
Fig. 23. Sondages pédologiques (tarière à main) : horizons de sable alluvionnaire	38
Fig. 24. Lieux géométriques des pleines et basses mers en vives eaux et mortes eaux à l'étiage dans l'estuaire de la Loire	46
Fig. 25. Projections de l'évolution du niveau moyen des mers au cours du XXI ^e siècle par rapport à la période 1986-2005 [GIEC, 2013]	47
Fig. 26. Formation du bouchon vaseux et de la crème de vase [GIP Loire Estuaire]	57
Fig. 27. Localisation du bouchon vaseux et de la crème de vase [GIP Loire Estuaire]	58
Fig. 28. Localisation du réseau SYVEL sur l'estuaire de la Loire [GIP Loire Estuaire, 2013]	59
Fig. 29. Suivi du bouchon vaseux par le réseau SYVEL [GIP Loire-estuaire]	60
Fig. 30. Localisation des prises de vues illustrant les accumulations temporaires hivernales [SOGREAH, 2007]	64
Fig. 31. Plan d'eau n°1	67
Fig. 32. Plan d'eau n°2	67
Fig. 33. Plan d'eau n°3	67
Fig. 34. Plan d'eau n°3	68
Fig. 35. Clapet anti-retour sur la vasière de Paimboeuf à marée descendante	69
Fig. 36. Clapet anti-retour sur la vasière de Paimboeuf à marée basse	69
Fig. 37. Clapet anti-retour sur la vasière de Paimboeuf à marée haute (coefficient de 95)	69
Fig. 38. Intrusion saline constatée sur l'ouvrage rénové à marée haute (coefficient de 95)	69
Fig. 39. Clapet anti-retour sur la douve de la Ramée à marée basse	70
Fig. 40. Système de drainage des dépôts de dragage	70
Fig. 41. Clapet anti-retour sur la douve de la Ramée à marée haute	70
Fig. 42. Intrusion d'eau salée turbide dans la douve de la Ramée	70
Fig. 43. Vue ouest sur la vasière de Paimboeuf depuis le ruisseau du Migron [SOGREAH, 2011]	70
Fig. 44. Photographies du site d'étude – 7 mars 2007. [SOGREAH, 2007]	72
Fig. 45. Directive Cadre sur l'Eau - Schéma de principe	74
Fig. 46. Répartition saisonnière de la salinité en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]	79
Fig. 47. Répartition saisonnière de la température en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]	80
Fig. 48. Répartition saisonnière de concentration en matières en suspension (MES) en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]	81

Fig. 49.	Répartition saisonnière de la concentration en oxygène dissous en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]	82
Fig. 50.	Le concept de corridor écologique	87
Fig. 51.	Schéma de la mise en œuvre de la Trame verte et bleue	88
Fig. 52.	Unité fonctionnelle « Estuaire de la Loire » [SRCE, octobre 2014]	90
Fig. 53.	Caractérisation de l'hydromorphie et progression de l'hydromorphie dans les sols	97
Fig. 54.	Classes d'hydromorphie des sols [MEDDE, GIS Sol. 2013]	97
Fig. 55.	Classification des sondages réalisés sur le site du Carnet	99
Fig. 56.	Illustrations des sondages pédologiques observés sur le site du Carnet	100
Fig. 57.	Zonages de protection du patrimoine naturel dans l'estuaire de la Loire : identification et analyse [Chadenas, Menanteau, Pourinet, Struillou, 2005]	107
Fig. 58.	Composantes du réseau Natura 2000	108
Fig. 59.	Illustration des habitats rencontrés et décrits sur le site du Carnet en 2008 [Ouest Am', 2009]	126
Fig. 60.	Plantes invasives avérées présentes sur le site du Carnet	136
Fig. 61.	Plantes invasives potentielles présentes sur le site du Carnet	136
Fig. 62.	Crapaud calamite [SOGREAH, 2008]	142
Fig. 63.	Les plans d'eau, zones d'importance majeure en période de reproduction [SOGREAH, 2011]	143
Fig. 64.	Caractérisation des étiers et localisation des profils en travers	150
Fig. 65.	Profils de l'étier de l'aval vers l'amont, de A à C [OUEST AM', 2009]	151
Fig. 66.	Massif de roselière du Petit Carnet [SOGREAH, 2011]	153
Fig. 67.	Le Carnet, site intégré au sein d'un réseau fonctionnel pour l'avifaune [SCE, 2003]	157
Fig. 68.	Schéma théorique de répartition du phytoplancton [GIP Loire-Estuaire, 2005]	160
Fig. 69.	Evolution des teneurs en chlorophylle A et phéopigments dans l'estuaire de la Loire en 2002 (Moyenne annuelle)	161
Fig. 70.	Aire de répartition minimale des 7 espèces les plus abondantes et fréquence d'occurrence par secteur [GIP Loire Estuaire]	162
Fig. 71.	Domaines de salinité en estuaire de Loire [GIP Loire-Estuaire]	166
Fig. 72.	Illustration de trois espèces piscicoles communes dans l'estuaire de la Loire [IFREMER]	166
Fig. 73.	Répartition des principales espèces piscicoles inventoriées en période hivernale [GIP Loire-Estuaire, 2010]	168
Fig. 74.	Évolution spatiale du bouchon vaseux et de la crème de vase entre 1963 et 2007 (source : GIP Loire Estuaire)	172
Fig. 75.	Évolution du front de salinité de 1900 à 2000 (source : GIP Loire Estuaire)	172
Fig. 76.	Programme de restauration morphologique de l'estuaire aval [GIP Loire Estuaire, 2010]	174
Fig. 77.	Typologie des zones humides sur le territoire du SAGE Estuaire de la Loire [GIP Loire-estuaire, 2009]	177
Fig. 78.	Illustration des fonctionnalités hydrauliques « expansion de crues » du site du Carnet [Extrait de la AZI de l'estuaire de la Loire, 2013]	180
Fig. 79.	Exemples de milieux sableux/meubles et de milieux humides proches	182
Fig. 80.	Grandes étapes de la méthode de bioévaluation [ARTELIA, 2013]	183
Fig. 81.	Schématisme de la construction et de la traduction cartographique du critère « Degré de naturalité »	186
Fig. 82.	Principe retenu pour l'attribution de niveaux hiérarchiques selon les intérêts présents [ARTELIA, 2013]	195
Fig. 83.	Evolution du trafic au GPMNSN de 2005 à 2014 (source : GPMNSN)	209
Fig. 84.	Répartition du trafic 2014 par catégorie de marchandises [GPMNSN]	210
Fig. 85.	Limites administratives dans l'estuaire de la Loire [SAGE Estuaire de la Loire]	214
Fig. 86.	Localisation de petits ports en estuaire de la Loire [Association Estuarium]	215
Fig. 87.	Culture à gibiers sur le site	217
Fig. 88.	Données trafic – Année 2009 [CCSE, 2010]	219
Fig. 89.	Données trafic – Année 2011 [CG44, DREAL, 2012]	219
Fig. 90.	Données trafic 2014 sur le secteur d'étude [Api]	220
Fig. 91.	Accès est et ouest du site du Carnet, à partir de la route départementale 723	221
Fig. 92.	Route départementale 723 et carrefour pour l'accès au site via la rue de la Loire- Accès est	221
Fig. 93.	Rue de la Loire, voie d'accès au site côté Paimboeuf et au Port à sec	222
Fig. 94.	Route départementale 723 et carrefour pour l'accès au site via la route de l'Eolienne (à gauche)- Accès ouest	222
Fig. 95.	Route de l'Eolienne, voie d'accès au site et à l'Eolienne ALSTOM	222
Fig. 96.	Emplacement des points de mesures et des boucles de comptages [ALHYANGE, 2014]	226
Fig. 97.	Résultats des mesures LAeq jour (6h-22h) et nuit (22h-6h) en dB(A) [ALHYANGE, 2014]	227
Fig. 98.	Résultats des mesures L50 jour et nuit en dB(A) [ALHYANGE, 2014]	228
Fig. 99.	Zonage des eaux usées sur le site du Carnet, sur la commune de Frossay [IRH, 2012]	230
Fig. 100.	Définition d'une unité paysagère [Atlas des paysages de Loire-Atlantique]	235
Fig. 101.	Unités paysagères de Loire-Atlantique [Atlas des paysages de Loire-Atlantique]	236
Fig. 102.	Ambiance paysagère de la Loire estuarienne [Atlas des paysages de la Loire-Atlantique]	237
Fig. 103.	Bloc-diagramme de la séquence ligérienne de Cordemais à Paimboeuf [Atlas des paysages de la Loire-Atlantique]	238
Fig. 104.	Coupe Nord-Sud de la zone d'étude [ALTECH, 2011]	246
Fig. 105.	Ambiances paysagères caractéristiques du site du Carnet [ARTELIA]	247
Fig. 106.	Territoire du SCoT du Pays de Retz	260
Fig. 107.	PLU de Frossay : plan de zonage du Carnet	262
Fig. 108.	Orientations du SRCAE des Pays de la Loire [DREAL Pays de la Loire]	269

1. PREAMBULE

Le présent document constitue l'état initial de l'étude d'impact. Il se base sur une analyse de l'ensemble de la bibliographie et des données existantes sur l'environnement sur le site du Carnet.

La présentation des données existantes et/ou de l'analyse réalisée pour chacune des thématiques environnementales abordées est réalisée sous forme de nombreuses illustrations.

2. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

L'aire d'étude est la zone sur laquelle porte l'analyse de l'état initial en prévision de la définition et de la caractérisation des effets potentiels liés au projet.

Il convient de considérer l'ensemble de la zone géographique concernée par le projet, réparti de la manière suivante :

- le site du projet qui sera viabilisé : surfaces directement utilisées par les aménagements,
- la zone où les effets sont prévisibles : en phase de construction et d'exploitation.

Ainsi, afin d'apprécier la totalité de l'aire d'étude, les périmètres suivants seront étudiés selon la thématique abordée et les effets potentiels attendus :

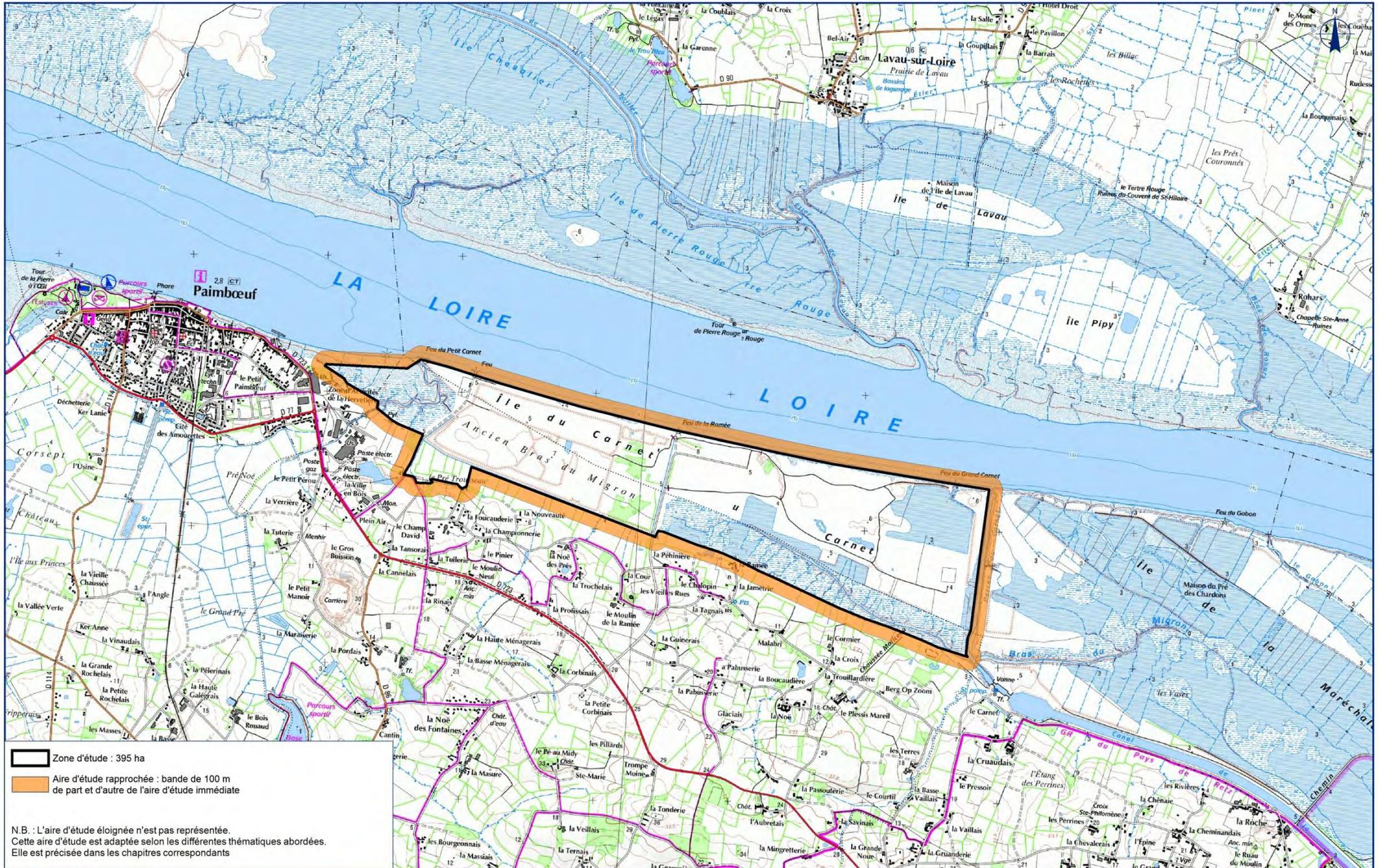
- aire d'étude immédiate : périmètre de 395 ha qui correspond au site du Carnet et qui intègre le périmètre concerné par le projet,
- aire d'étude rapprochée : bande de 100 m autour du périmètre concerné,
- aire d'étude lointaine : zone variable autour du périmètre concerné par le projet selon les thématiques : communes de Frossay et Saint-Viaud, estuaire de la Loire.... Dans ce périmètre, la majorité des thématiques de l'état initial et d'évaluation des effets est étudiée.

Néanmoins, le périmètre peut être adapté pour des études spécifiques comme l'étude du bassin versant, l'évaluation des incidences Natura 2000... Dans ce cas, le périmètre est rappelé dans le chapitre correspondant.

L'aire d'étude immédiate correspond à un périmètre de 395 ha. Cette aire d'étude a été déterminée par les critères suivants :

- topographiques et géographiques : situé en rive gauche de la Loire, la zone d'étude est délimitée au nord par le fleuve, à l'ouest par la vasière de Paimboeuf, au sud par une zone d'activité et un secteur bocager (les Prés de la Ramée). A l'est, la limite est matérialisée par la Percée du Carnet.
- écologiques : la zone du Carnet correspond à une unité écologique et fonctionnelle singulière avec le développement de spécificités faunistiques et floristiques propres à l'île du Carnet. Certaines de ces spécificités participent à l'écosystème estuarien, d'autres sont déconnectées et sont uniques à l'échelle de l'estuaire. Ces spécificités sont liées aux remblais sableux réalisés sur le site entre 1970 et 1993.

AIRES D'ÉTUDES



Source(s) : IGN SCAN25®

0 0,25 1,25 km

ARTELIA 4-53-1549
ACE JJC

3. MILIEU PHYSIQUE

3.1. CLIMATOLOGIE

La figure page suivante, présente les différents paramètres climatologiques à la station météorologique de Saint-Nazaire – Montoir (station n°44103001, alt : 3 m. lat : 47°18'48"N, lon : 02°09'12"W) sur la période 1981-2010.

3.1.1. PRECIPITATIONS

Sur le département de la Loire-Atlantique, les précipitations sont le plus souvent liées aux perturbations venues de l'Atlantique.

L'île de Noirmoutier et la bordure littorale sont moins arrosées que l'intérieur des terres où l'effet orographique se fait sentir.

Les variations interannuelles des précipitations peuvent cependant être importantes.

En année normale, les pluies ne sont négligeables en aucune saison, leurs variations sont, pour une année moyenne, caractéristiques du climat océanique, avec :

- une décroissance progressive de la quantité des précipitations mensuelles du début de l'année jusqu'au mois le plus sec (généralement août) ;
- à partir d'août, un accroissement de la hauteur des précipitations jusqu'en octobre au cours duquel l'intensité est maximale.

On note une moyenne de 114 jours de pluie par an ($> 1 \text{ mm} = 1 \text{ litre/m}^2$) ; la pluie est généralement faible (crachin).

La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 774 mm.

Le nombre de jours de neige sur cette période est de 4 jours par an.

3.1.2. BILAN HYDRIQUE

Les données relatives à l'Evapo-Transpiration Potentielle (E.T.P.) proviennent de la station météorologique de Saint-Nazaire – Montoir (voir page précédente) et concernent la période 1989-2009.

En comparant les précipitations moyennes mensuelles à l'E.T.P., on constate qu'il existe un excédent cumulé de l'ordre de 320 mm d'octobre à mars. L'excédent hydrique hivernal se traduit par un écoulement de surface et/ou par des infiltrations.

En contrepartie, il existe un déficit hydrique cumulé de l'ordre de 350 mm entre les mois d'avril et septembre. Le déficit maximum est observé au cours du mois de juillet avec plus de 97 mm.

Sur la station Saint-Nazaire – Montoir, le bilan hydrique annuel est légèrement déficitaire : -30 mm.

Région de Montoir de Bretagne : Principales données climatiques

Source : Station Météo-France, Montoir de Bretagne (44).

Données statistiques : Moyennes mensuelles sur la période 1981-2010.

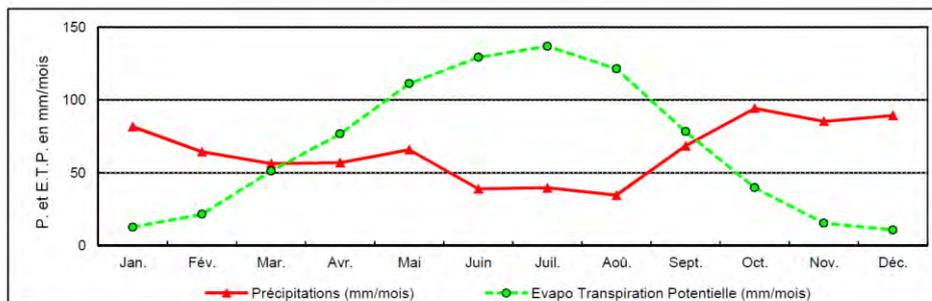
Légende : T. : Température

P. : Précipitations

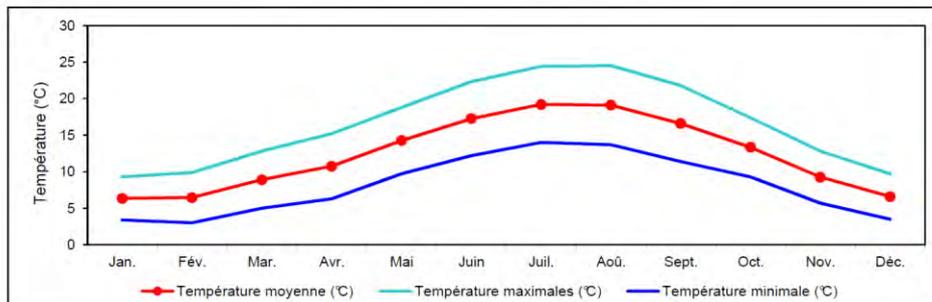
E.T.P. : Evapo Transpiration Potentielle (Méthode de mesure : PENMAN 1989 - 2009)

Paramètres	Unités	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T minimales	°C	3.4	3.0	5.0	6.3	9.7	12.2	14.0	13.7	11.4	9.3	5.7	3.5	8.1
T maximales	°C	9.3	9.9	12.8	15.2	18.8	22.3	24.4	24.5	21.8	17.4	12.8	9.7	16.6
T moyennes	°C	6.4	6.5	8.9	10.8	14.3	17.3	19.2	19.1	16.6	13.4	9.3	6.6	12.3
Jour(s) pluie	-	12	9	10	9	10	7	7	6	8	12	12	13	114
" neige	-	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4
" gel	-	8	8	3	1	0	0	0	0	0	1	4	8	32
P.	mm	81.5	64.3	56.2	56.8	65.8	38.9	39.6	34.5	68.3	94.1	85.2	89.2	774.4
E.T.P.	mm	12.6	21.5	51.1	76.6	111.1	129.2	136.8	121.3	78.2	39.7	15.3	10.7	804.1
P. - E.T.P.	mm	68.9	42.8	5.1	-19.8	-45.3	-90.3	-97.2	-86.8	-9.9	54.4	69.9	78.5	-29.7

Région de Montoir de Bretagne : Précipitations & E.T.P.



Région de Montoir de Bretagne : Température



Région de Montoir de Bretagne : Bilan hydrique

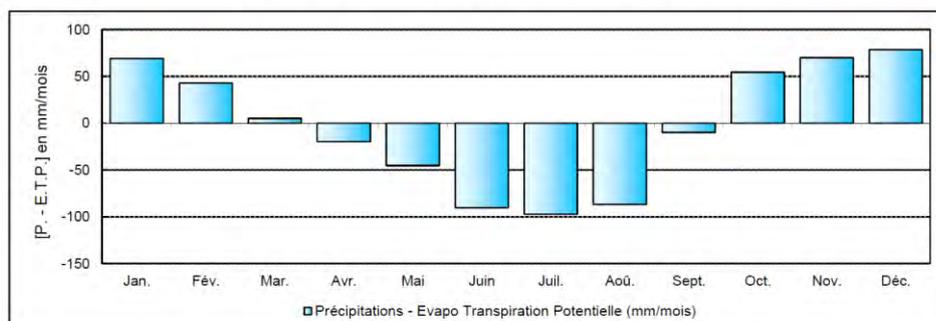


Fig. 1. Paramètres climatologiques à la station de Montoir [Météo France, 2010]

3.1.3. TEMPERATURES

L'estuaire de la Loire bénéficie de l'influence de l'océan. Les températures maximales et minimales ne sont donc pas excessives.

Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 12,3°C. C'est en janvier que les températures moyennes sont les plus basses : 6,4°C. Elles s'élèvent ensuite jusqu'aux mois les plus chauds : 19,2 et 19,1°C en juillet et août. L'amplitude thermique est moindre à Montoir qu'à Nantes.

Le rôle modérateur de l'océan se fait particulièrement sentir au niveau des températures minimales et maximales absolues :

- le nombre de fortes gelées ($T^{\circ} < - 5^{\circ}\text{C}$) est faible : 4 par an environ,
- les fortes chaleurs sont également rares, puisque la moyenne mensuelle des températures maximales est inférieure à 17°C sur la période 1981 – 2010 (16,6 °C).

Le record de température a été atteint lors de l'été 2003 avec 38,4°C le 9 août 2003. Le tableau, page précédente, présente l'évolution des températures à Saint-Nazaire – Montoir sur la période 1981 – 2010.

3.1.4. INSOLATION

La couverture nuageuse et les formations brumeuses altèrent quelque peu l'ensoleillement qui atteint 1893 heures en moyenne annuelle sur la période 1991-2009. Cet ensoleillement est surtout remarquable au printemps et en été.

L'insolation sur les stations de Nantes et La Baule est de l'ordre de 2000 à 2100 heures en moyenne annuelle.

La comparaison entre les variations annuelles de l'insolation à Nantes et La Baule indique que si les valeurs mensuelles sont proches d'octobre à février, la côte est plus favorisée le reste de l'année, en particulier pendant la période estivale. Cet avantage est dû surtout aux effets de la brise de mer qui maintient sur la frange littorale de l'air frais et un ciel dégagé, alors que le réchauffement du sol entraîne dans l'intérieur, la formation d'une couverture nuageuse.

3.1.5. LES VENTS

Les données 1981-2010 issues de la station de Saint-Nazaire - Montoir illustrent une proportion plus faible des vents qualifiés de « calmes » qu'à Nantes (6.9% contre 13% à Nantes sur la période 1971-2006). La rose des vents fait apparaître deux secteurs principaux :

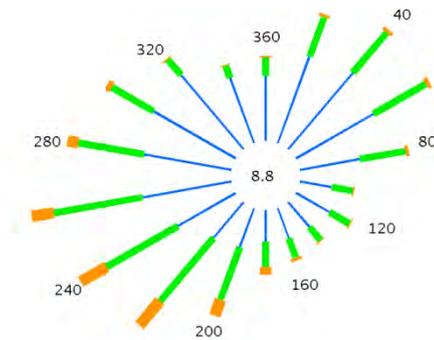
- les vents de secteur ouest sont plus fréquents :
 - nord-ouest en hiver (noroît)
 - sud-ouest en été (suroît).
- Ces vents sont associés aux perturbations venues de l'Atlantique dont l'activité fluctue au rythme des saisons. Ils apportent de l'air maritime qui adoucit les températures hivernales et rafraîchissent celles de l'été.
- les vents de secteur est : le quadrant nord-est (de 40 à 80°) atteint 20 % de fréquence des vents. Observés toute l'année, ces vents seront associés l'hiver aux froids secs (plus rarement aux perturbations neigeuses), l'été au temps chaud et stable.

Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

Valeurs trihoraires entre 0h00 et 21h00, heure UTC

Tableau de répartition

Nombre de cas étudiés : 85880
 Manquants : 9



Dir.	[1,5;4,5 [[4,5;8,0 [> 8,0 m/s	Total
20	4.0	1.8	0.1	6.0
40	4.3	2.3	0.2	6.8
60	3.9	2.6	0.2	6.7
80	2.6	2.0	0.1	4.8
100	1.4	0.9	+	2.4
120	1.7	1.0	+	2.7
140	1.4	0.7	+	2.2
160	1.4	0.9	0.1	2.4
180	1.4	1.1	0.4	2.8
200	1.8	2.4	0.8	5.0
220	2.0	3.6	1.4	7.0
240	2.9	3.5	1.3	7.7
260	3.9	3.9	1.0	8.8
280	3.8	2.9	0.5	7.2
300	4.1	2.1	0.2	6.4
320	4.2	0.9	+	5.1
340	3.0	0.6	+	3.6
360	2.8	0.8	+	3.7
Total	50.7	34.0	6.5	91.2
[0;1,5 [8.8

Groupes de vitesses (m/s)
 [1,5;4,5 [[4,5;8,0 [> à 8,0

Pourcentage par direction
 0% 5% 10%

Dir. : Direction d'où vient le vent en rose de 360° ; 90° = Est, 180° = Sud, 270° = Ouest, 360° = Nord
 le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.1%

Fig. 2. Rose des vents – station de Montoir [Météo France, 2010]

Les vitesses les plus élevées sont enregistrées dans les directions ouest à sud-ouest, au passage des perturbations atlantiques, de novembre à février.

Le nombre moyen de jours de vent fort (> 16 m/s soit 58 km/h) reste limité (environ 63 jours par an à Saint-Nazaire - Montoir - contre 40 à Nantes). Les rafales maximales enregistrées à Saint-Nazaire - Montoir depuis 1971 sont celles de février 1990 avec une rafale à 140,4 km/h et décembre 1999 avec une rafale à 133,2 km/h.

3.2. QUALITE DE L'AIR

3.2.1. DEFINITION

Il existe plusieurs définitions relatives à la pollution atmosphérique. La définition choisie ici, est celle indiquée à l'article L.220-2 du Code de l'Environnement (« Loi sur l'air ») :

« Constitue une pollution atmosphérique au sens du présent titre l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives. ».

Au sens de cette définition, de nombreux composés sont susceptibles d'être suivis en qualité de polluants atmosphériques. Les teneurs dans l'atmosphère en dioxyde de soufre (SO₂), oxyde d'azote (NO_x), poussières en suspension (PS), ozone (O₃), plomb (Pb) et oxyde de carbone (CO₂), sont suivies depuis quelques années et sont réglementés dans l'air ambiant.

Le choix de ces polluants résulte de leur caractère nocif et du fait qu'ils constituent de bons indicateurs généraux de la pollution atmosphérique globale. Ainsi, les teneurs dans l'atmosphère en dioxyde de soufre (SO₂), oxydes d'azote (NO_x), poussières en suspension (PM) et oxydes de carbone (CO_x) sont suivies et sont réglementées dans l'air ambiant.

Les liens entre pollution atmosphérique et effets sur la santé sont complexes et s'articulent autour de multiples facteurs variables, plus ou moins précisément identifiés et mesurés : exposition, nombre et toxicité des polluants, interaction entre polluants, connaissance limitée des effets à moyen/long terme de faibles doses de polluants et de leur association, différence de réactions entre individus, ...

3.2.2. RESEAU DE MESURE ET QUALITE DE L'AIR SUR LA VILLE DE SAINT-NAZAIRE ET ALENTOURS

Afin d'évaluer la qualité de l'air dans la Région des Pays de la Loire, l'association « Air Pays de la Loire » réalise des mesures de la qualité de l'air dans les sept principales agglomérations de la région, dont la Ville de SAINT NAZAIRE, ville la plus proche du site du Carnet.

Les mesures effectuées sont traduites en un indice de qualité de l'air construit autour de quatre polluants de base :

- **dioxyde de soufre** (SO₂) : émis principalement lors des combustions fossiles contenant du soufre (gaz naturel, charbon, pétroles bruts) ;
- **oxydes d'azote** (NO, NO₂) : rejet élevé sur les zones à trafic routier dense ;
- **ozone** (O₃) : se forme par réaction chimique entre les gaz d'origine automobile et industrielle ;
- **poussières** (PM₁₀) : proviennent essentiellement des véhicules à moteur diesel, des installations de chauffage, des usines d'incinération de déchets et de certaines activités industrielles.

L'indice est calculé en référence à ces quatre polluants. Un sous-indice est calculé pour chaque polluant et l'indice global est le plus élevé des quatre sous-indices. L'indice global est associé à un qualitatif (un chiffre entre 1 et 10) et une couleur.

L'indice de la qualité de l'air permet de caractériser la qualité moyenne de l'air sur une agglomération. Il est le reflet de la pollution atmosphérique de fond de l'agglomération, ressentie par le plus grand nombre d'habitants. Il ne permet pas de mettre en évidence des phénomènes particuliers ou localisés de pollution.

La figure suivante présente l'évolution de l'indice de qualité à SAINT NAZAIRE entre 2001 et 2012, d'après les données « Air Pays de la Loire » :

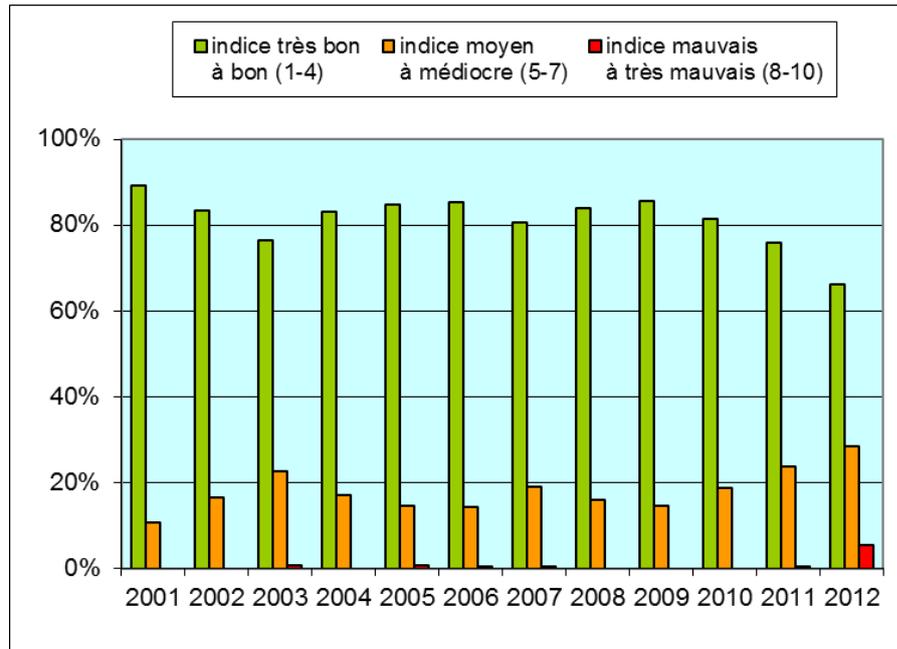


Fig. 3. Evolution de l'indice de qualité de l'air à Saint-Nazaire entre 2001 et 2012

Globalement, sur les dix dernières années, la qualité de l'air peut être qualifiée de bonne ou très bonne plus des trois quarts de l'année.

Depuis 2009, il peut être observé une diminution du nombre de jour où l'indice est bon à très bon (83 % en 2009, 79 % en 2010, 77% en 2011 et 73 % en 2012) et par conséquent une augmentation du nombre de jours où l'indice est moyen à médiocre (17 % en 2009, 21 % en 2010 et 23 % en 2011 et 2012). Le nombre de jours où l'indice est mauvais à très mauvais reste relativement stable (entre 0,5 à 0,8 % du temps, hormis en 2012 : 5,5 %).

3.2.3. RESULTATS DES STATIONS DE MESURES FIXES

Deux stations de mesures fixes de type zone industrielle encadrent le périmètre du projet : une station à Paimboeuf et une station à Frossay.

Le site de Paimboeuf permet de suivre les niveaux de dioxyde de soufre (SO₂) dans l'environnement de la raffinerie de pétrole de Donges et du centre de production thermique d'électricité de Cordemais.

Le site de Frossay permet également de suivre l'évolution des niveaux de dioxyde de soufre (SO₂) dans l'environnement mais également d'autres indicateurs de pollution tels que le dioxyde d'azote (NO₂) et les poussières fines (PM₁₀).

Les résultats de ces deux stations pour les polluants mesurés en 2013 sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tabl. 1 - Concentrations mesurées par les stations de Paimboeuf et Frossay en 2013 – Source Air Pays de la Loire

		PAIMBOEUF	FROSSAY	RAPPEL DE LA REGLEMENTATION
SO ₂	Moyenne annuelle	2 µg/m ³	1 µg/m ³	50 µg/m ³ Objectif de qualité
	Moyenne horaire maximale	227 µg/m ³	56 µg/m ³	300 µg/m ³ Seuil d'information 500 µg/m ³ Seuil d'alerte
	Moyenne journalière maximale	18 µg/m ³	10 µg/m ³	125 µg/m ³ Valeur limite à ne pas dépasser plus de 3j par an
NO ₂	Moyenne annuelle	-	7 µg/m ³	40 µg/m ³ Objectif de qualité
	Moyenne horaire maximale	-	52 µg/m ³	200 µg/m ³ Seuil d'information
PM ₁₀	Moyenne annuelle	-	18 µg/m ³	30 µg/m ³ Objectif de qualité
	Moyenne journalière maximale	-	64 µg/m ³	50 µg/m ³ Seuil d'information 80 µg/m ³ Seuil d'alerte

Les concentrations moyennes en dioxyde de soufre sont très largement inférieures à l'objectif de qualité de 50 µg/m³ aussi bien sur la station de Paimboeuf que sur celle de Frossay. Par ailleurs, aucun dépassement des seuils d'alerte ou d'information n'a été observé en 2013. Le site de Paimboeuf présente des valeurs plus élevées en lien avec sa plus grande proximité avec le site de Donges.

Sur l'année 2013, la valeur limite annuelle et l'objectif de qualité de 40 µg/m³ pour le dioxyde d'azote n'ont pas été atteints sur le site de mesure permanent situé à Frossay : la moyenne annuelle correspond à 7 µg/m³. Le transport routier est la source principale d'émission de dioxyde d'azote, c'est pourquoi les niveaux mesurés sont très faibles sur ce site (rue du Prieuré à Frossay).

Les concentrations moyennes en particules fines (PM₁₀) restent inférieures à l'objectif de qualité de 30 µg/m³. Deux épisodes de pollution par les particules fines ont été recensés en 2013. Ces épisodes ont concerné une grande partie de la région et se sont concentrés de la fin du mois de mars, à partir du 25, jusqu'au 6 avril pour le premier épisode majeur, et sur la première quinzaine de décembre pour le second. Ces épisodes ont été observés par temps froid, sec et plutôt ensoleillé. Ces conditions anticycloniques ont été défavorables à la dispersion des polluants et ont par ailleurs contribué à augmenter les émissions de particules fines (chauffage, véhicules, ...).

Globalement la qualité de l'air sur le secteur est bonne, avec des concentrations moyennes annuelles en polluants inférieures aux valeurs définies par la réglementation. Le dépassement du seuil d'information observé sur Frossay concerne la pollution par les particules fines en période hivernale. A noter que depuis le 1er janvier 2012, le seuil d'information pour les particules PM₁₀, initialement fixé à 80 µg/m³, a été abaissé à 50 µg/m³ ; le seuil d'alerte est passé de 125 à 80 µg/m³.

3.3. FACTEURS CLIMATIQUES ET TENDANCES D'EVOLUTION

La lutte pour limiter le réchauffement climatique est une action à dimension planétaire. Les décisions sont prises à l'échelle internationale mais aussi déclinées au niveau national. La France doit jouer un rôle moteur et pouvoir faire état de pratiques exemplaires en faveur du climat.

3.3.1. LES ENGAGEMENTS

3.3.1.1. LES ENGAGEMENTS EUROPEENS

3.3.1.1.1. LA DIRECTIVE 2012/27/UE DU 25 OCTOBRE 2012

La directive 2012/27/UE du 25 octobre 2012 est relative à l'efficacité énergétique. Ce texte établit un cadre commun de mesures pour la promotion de l'efficacité énergétique pour l'ensemble des États membres afin d'améliorer de 20 % l'efficacité énergétique de l'Union européenne d'ici à 2020 et de préparer la voie pour de nouvelles améliorations. Il remplace et complète la directive cogénération (2004) et la directive services énergétiques (2006) en traitant de tous les maillons de la chaîne énergétique : production, transport, distribution, utilisation, information des consommateurs.

3.3.1.1.2. LE PAQUET ENERGIE-CLIMAT

Composé d'un ensemble de textes législatifs adoptés en décembre 2008 sous la présidence française du Conseil de l'Union européenne, il fixe un objectif européen commun dit « 3 x 20 » qui consiste, d'ici à 2020, à :

- diminuer de 20 % les émissions de GES par rapport à 1990 ;
- porter la part d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale à 20% en 2020 ;
- améliorer de 20 % l'efficacité énergétique de l'Union européenne.

Dans ce cadre, la France s'est engagée à atteindre 23 % d'énergie renouvelable dans sa consommation d'énergie finale en 2020 et à réduire de 14 % entre 2005 et 2020 les émissions de GES des secteurs non soumis à la directive européenne 2003/87/CE établissant un système d'échange de quotas d'émission de GES (directive SCEQE). Elle participe pleinement à l'atteinte de l'objectif européen d'amélioration de 20 % de l'efficacité énergétique d'ici à 2020.

3.3.1.2. LES ENGAGEMENTS FRANÇAIS

La politique climatique nationale a connu six grandes étapes :

- 2001 : loi conférant à la lutte contre le changement climatique le caractère de priorité nationale.
- 2004 : premier plan climat.
- Le protocole de Kyoto (1997) a fixé à la France un objectif de stabilisation de ses émissions de GES pour la période 2008-2012 par rapport au niveau de 1990. Pour l'atteindre, des actions de lutte contre le changement climatique ont été engagées et répertoriées dans le premier plan climat. Depuis, il a été actualisé en 2006, 2009 et 2011.
- 2005 : programme fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE).
- La France s'engage à diviser par 4 ses émissions de GES entre 1990 et 2050. Elle se fixe des objectifs chiffrés en terme d'efficacité énergétique.

- 2008, 2011 et 2014 : plans nationaux d'action en matière d'efficacité énergétique (PNAEE)
- Dans le cadre de la directive 2006/32/CE, la France a remis ses deux premiers plans d'action en 2008 et 2011. Suite à l'adoption de la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique, un troisième plan a été transmis à la commission européenne le 24 avril 2014. Ces plans détaillent, secteur par secteur, les principales politiques et mesures mises en œuvre.
- 2009 et 2010 : loi 2009-967 du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement et loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.
- La première a dressé des objectifs sectoriels (retour des émissions de GES du secteur des transports à leur niveau de 1990, réduction de 38 % de la consommation d'énergie du secteur du bâtiment à l'horizon 2020). La seconde a permis d'harmoniser et de décliner les outils de planification aux différentes échelles du territoire. Elle a également renforcé les chantiers d'amélioration de l'efficacité énergétique.
- 2012 et 2013 : conférences environnementales
- Elles s'appuient sur le principe de la concertation multi-acteurs (ONG, organisations syndicales, organisations d'employeurs, collectivités territoriales, État, avec une participation renforcée des parlementaires). Tous les ans, elle permet de faire le point sur l'avancement du programme de la transition écologique et d'ajuster les moyens aux objectifs.

3.3.2. LA FRANCE AU REGARD DES EXIGENCES LIEES AU CLIMAT

En 2006, les émissions de gaz à effet de serre se situent 12 % au-dessus de leur niveau de 1990, date référence du Protocole de Kyoto.

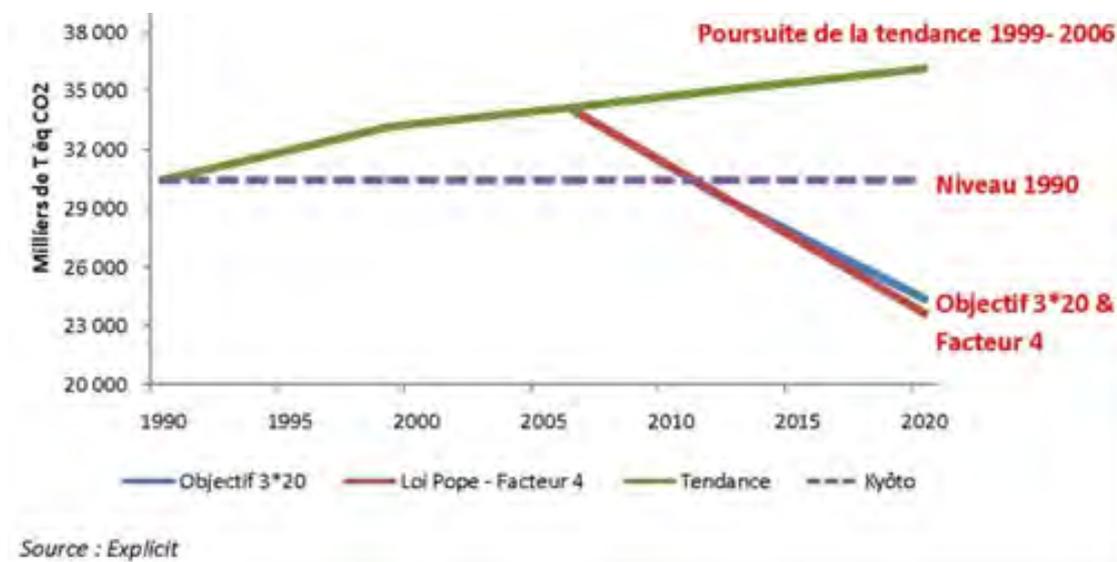


Fig. 4. Emissions de gaz à effet de serre d'origine et objectifs nationaux et internationaux

Depuis 2006, la France compte parmi les pays industrialisés les moins émetteurs de GES, tant en termes d'émissions par habitant que d'émissions par unité de PIB. Elle représente 1,2 % des émissions mondiales de GES alors qu'elle contribue pour 4,2 % au PIB mondial.

Les émissions de 2011 sont par ailleurs inférieures de 13 % à celles de 1990 (passant de 556 à 486 MteqCO₂ alors que sur la même période le PIB a augmenté de 40 %). Ces bons résultats s'expliquent notamment par la faible utilisation du gaz ou du charbon pour produire de l'énergie et par la forte proportion d'électricité d'origine nucléaire ou hydraulique, mais aussi par les bonnes performances de la France en terme d'efficacité énergétique.

La France possède une intensité énergétique (rapport entre la consommation d'énergie et le produit intérieur brut) parmi les plus faibles de l'Union européenne.

Ces résultats ne sont pas encore au niveau de l'objectif inscrit dans la loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE). Cette dernière prévoit en effet une réduction de 2 % par an de l'intensité énergétique finale dès 2015, puis de 2,5 % par an d'ici 2030 (article 3 de la loi POPE).

Le constat est le même pour les émissions de GES : elles ont décliné de 2 % par an en moyenne depuis 2005 alors que la baisse moyenne devrait être de 3 % par an pour atteindre les objectifs nationaux, à savoir une division par quatre des émissions en 2050, par rapport à leur niveau de 1990.

3.3.3. L'ENGAGEMENT DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE DANS LES PAYS DE LA LOIRE

Les paragraphes ci-après reprennent les éléments de la synthèse du Schéma Régional Climat Air et Energie (SRCAE) des Pays de la Loire. Le SRCAE a été approuvé par le Conseil régional le 24 février 2014 puis adopté par le Préfet de région le 18 avril 2014.

3.3.3.1. DIAGNOSTIC REGIONAL ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE

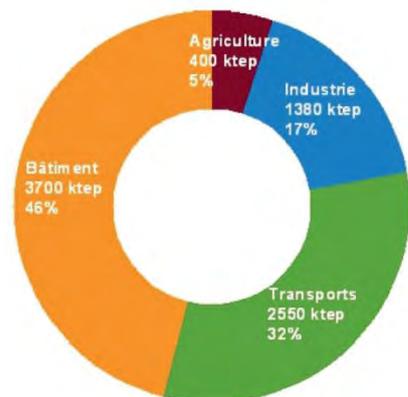
A. Une consommation énergétique importante

Avec une consommation énergétique finale de 8030 ktep (kilo tonne-équivalent pétrole) en 2008, la région Pays de la Loire pèse pour près de 5% de la consommation énergétique finale de la France.

Quatre postes principaux sont à l'origine de cette consommation énergétique importante :

- un parc de bâtiments anciens, axé sur l'individuel, qui mobilise majoritairement une énergie fossile (fioul, gaz) ;
- les transports routiers prépondérants dans les transports au détriment des modes doux (vélos, marche) peu développés en raison notamment d'un étalement urbain important ;
- l'importance stratégique des secteurs de l'industrie et de l'agriculture pour la région, qui représentent près d'un quart des emplois régionaux.

Consommation d'énergie finale des Pays de la Loire en 2008 par secteur [ktep]



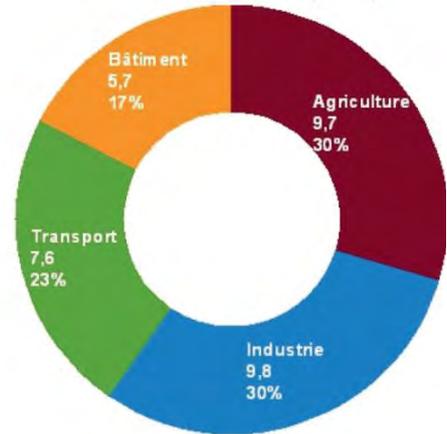
B. Des émissions de gaz à effet de serre en progression

Les émissions de GES s'élèvent à 32,8 MteqCO₂ (méga tonne-équivalent CO₂) en 2008. Elles tendent à augmenter avec l'accroissement de la population.

L'industrie et l'agriculture, qui représentent 22 % des consommations régionales, sont responsables de près de 60% des émissions. Près de 80 % des émissions agricoles sont non énergétiques, liées aux processus de digestion des ruminants et à l'utilisation d'engrais minéraux azotés. Les émissions liées au transport sont principalement dues à un recours important au mode routier.

Le secteur du bâtiment, bien que premier responsable du niveau de consommation énergétique, est le moins émissif. Cela s'explique par un recours plus important à l'électricité, énergie fortement décarbonée, que les autres secteurs.

Émissions de GES des Pays de la Loire en 2008 (MteqCO₂)

**C. Des énergies renouvelables à davantage développer**

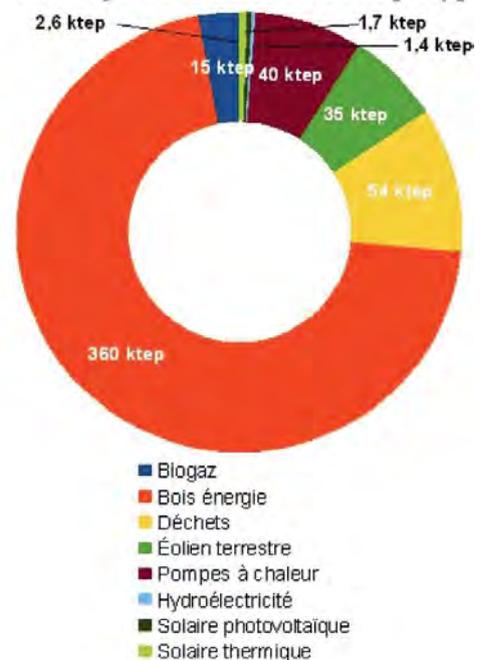
En 2008, la région a produit 510 ktep d'énergies renouvelables ce qui porte à 6% la part de celles-ci dans la consommation énergétique finale de la région. La région dispose de nombreux atouts lui permettant de développer de façon importante les énergies renouvelables.

Deuxième région en terme d'activités de transformation du bois, les Pays de la Loire ont à disposition un certain potentiel de ressources mobilisables pour le bois énergie. Ce dernier représente près de 71% de la production d'énergie renouvelable régionale en 2008 (360 ktep), 400 000 foyers sont équipés d'un chauffage au bois.

Bénéficiant d'un positionnement sur la façade atlantique qui lui confère une bonne ressource en vent, les Pays de la Loire disposent d'un potentiel de développement important pour la filière éolienne.

Cette filière constitue, à ce jour, la 4ème source d'énergie renouvelable de la région. Parmi les premières régions agricoles, les Pays de Loire disposent d'un gisement important de matières pouvant produire du biogaz par méthanisation : estimée à 15 ktep en 2008, la méthanisation offre une perspective intéressante de revenus financiers pour les agriculteurs qui peuvent ainsi valoriser leurs déchets.

Production d'énergie renouvelable des Pays de la Loire en 2008 [ktep]



3.3.3.2. UNE REGION VULNERABLE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Une étude sur l'adaptation climatique dans le Grand Ouest, publiée par le SGAR des Pays de la Loire en avril 2013, montre notamment qu'à l'horizon 2030, la région est susceptible de connaître :

- une hausse des températures moyennes annuelles de l'ordre de 0,8 à 1,4°C avec des hausses marquées en Loire-Atlantique et Vendée ;
- une diminution modérée mais généralisée des précipitations annuelles moyennes.

Ces changements auront un impact significatif sur le territoire régional se caractérisant notamment par :

- une baisse de la ressource en eau (provoquant, en outre, une tension sur l'élevage et l'agriculture régionale),
- une aggravation de l'érosion du trait de côte,
- une hausse du niveau de la mer, etc.

3.4. GEOLOGIE - HYDROGEOLOGIE

3.4.1. GEOLOGIE GENERALE

Le substratum rocheux, dans lequel la Loire a creusé son lit, date du précambrien et de l'ère primaire (plissement hercynien). Cette partie sud du Massif armoricain est principalement constituée de granites, de gneiss et de schistes.

La pénéplaine post-hercynienne a été fracturée dès la fin du primaire. Deux domaines tectoniques se sont identifiés :

- l'un au nord, constitué de fractures de direction armoricaine (ouest nord-ouest – est sud-est), dont le témoin principal est représenté par le Sillon de Bretagne ;
- l'autre au sud, dans le Pays de Retz, où dominant des fractures est-ouest.

Entre ces deux domaines tectoniques, s'observe une zone de broyage, correspondant à l'interférence de ces deux directions de faille. C'est sur cette zone de broyage que s'est fixé le cours de la Loire.

Le creusement de la Loire est antérieur au Cénomaniens (~ 100 millions d'années) et a peu évolué depuis le début du Pliocène (5 millions d'années).

Les transgressions et régressions quaternaires ont façonné, par les mouvements de sédiments générés, la configuration de la Loire actuelle.

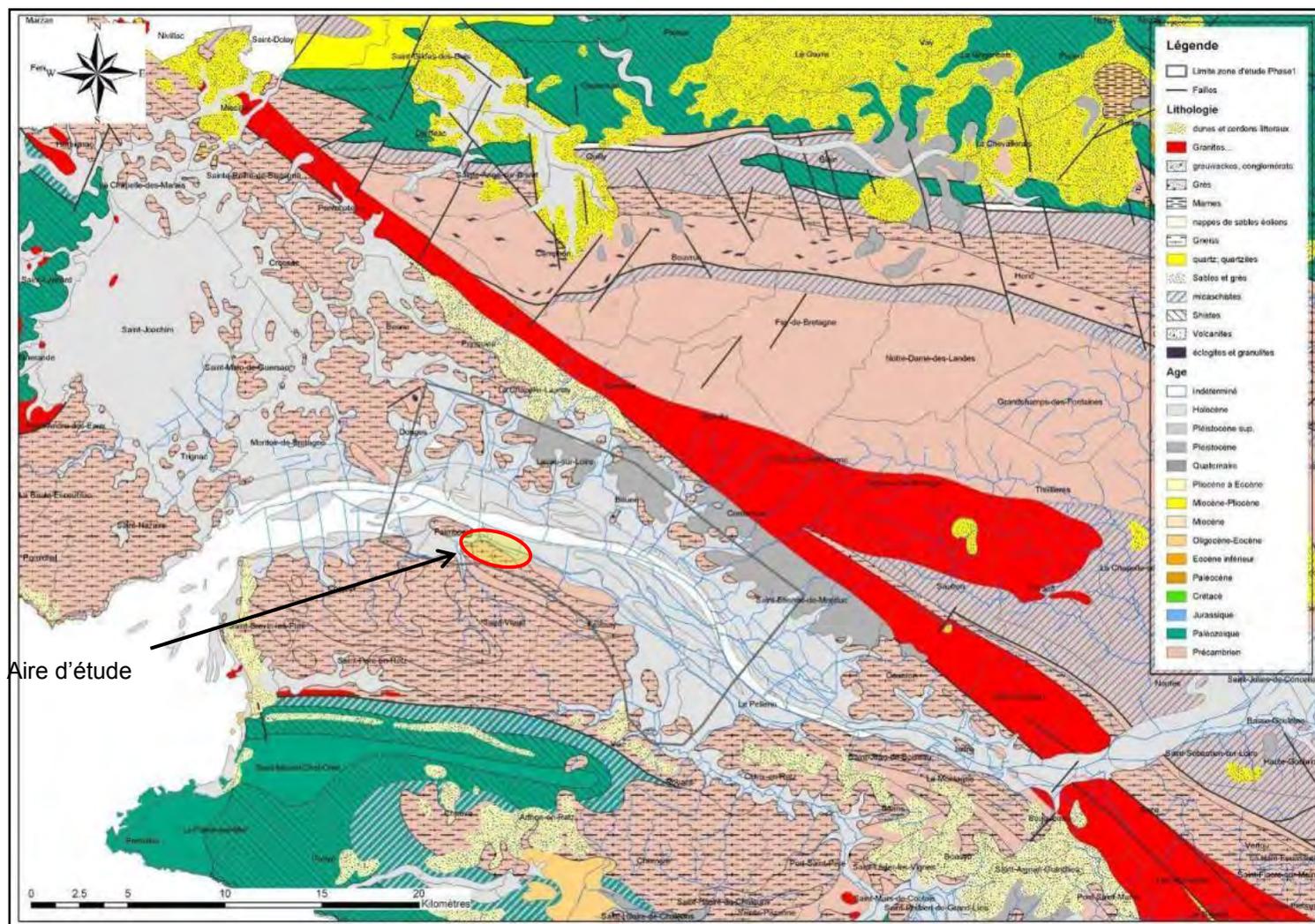


Fig. 5. Extrait de la carte géologique numérique Pays de la Loire à 1/250 000 [BRGM, 2006]

3.4.1.1. PALEOLIT DE LA LOIRE

Il date de la dernière glaciation (Würm) qui a entraîné un abaissement du niveau marin d'environ 100 m, ce qui a provoqué le creusement des rivières sur le plan régional.

Ce lit fossile ou paléolit présente un profil différent en fonction de la nature des roches traversées et de la tectonique qui a broyé ou fracturé celles-ci. Ainsi, à Saint-Brévin, le paléolit forme une gouttière unique alors que plus à l'amont, il est parcouru par plusieurs chenaux qui correspondent aux zones de broyage et aux accidents du socle.

La profondeur du paléolit varie également tout au long de l'estuaire. Elle croît de l'amont vers l'aval : - 27 m NGF à Nantes, - 37 m NGF à La Martinière, - 50 m à Mindin.

Dans l'estuaire externe, le paléolit s'oriente vers le sud-ouest à partir de Saint-Nazaire jusqu'au large de Saint-Brévin où il se divise en deux bras :

- l'un au sud, le long de la pointe de Saint-Gildas (- 33 à - 38 m NGF) ;
- l'autre plus important au nord (- 53 m NGF) décrit une boucle, le ramenant vers le Grand Charpentier.

3.4.1.2. LE REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE

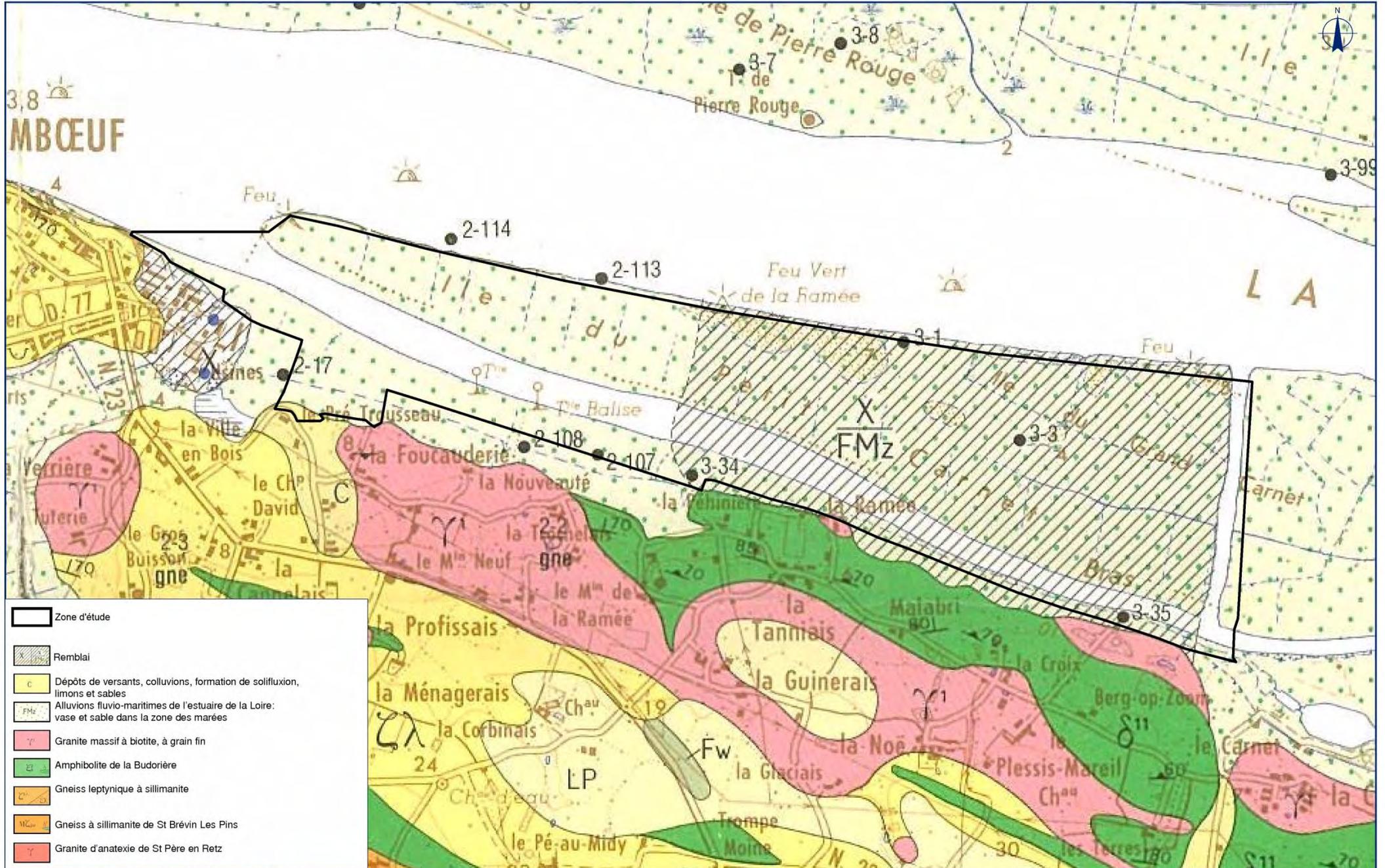
L'essentiel des sédiments qui se sont accumulés dans le lit de la Loire, datent de l'ère quaternaire (alluvions modernes).

Les alluvions anciennes composées de sables et galets ne subsistent qu'en de rares endroits.

Les alluvions modernes (dont l'épaisseur peut atteindre plus de 50 mètres) sont composées d'une proportion variable de sable et d'argile. Cela se traduit par une grande diversité de faciès qui se répartissent de façon différente dans l'espace.

Ainsi, au niveau du chenal intérieur de Saint-Nazaire à Donges, les sédiments sont essentiellement vaseux, tandis que dans le chenal de Bonne Anse (à l'aval de Saint-Nazaire), les sédiments sont surtout constitués de sables grossiers.

GÉOLOGIE



Source(s) : Carte géologique n°480 du BRGM au 1/50 000

0 0,15 0,75 km

3.4.2. GEOLOGIE LOCALE

Deux coupes transversales ont été réalisées sur le secteur d'étude suite aux différents sondages effectués dans l'estuaire (données issues du rapport du BRGM sur la « Géométrie des formations géologiques de l'estuaire de la Loire », mars 2006). La représentation des sondages sur des transects de la vallée met en évidence l'extrême variabilité des dépôts dans ce domaine estuarien et illustre la forte irrégularité du toit du substratum sous les alluvions.

La coupe T1 prend globalement pour origine l'extrémité de la zone d'étude juste en aval de la percée du Carnet. La coupe transversale T2 est localisée à environ 1,5 km en amont de Paimboeuf. Sur la zone d'étude, elle coupe au droit des plans d'eau situés à l'ouest de la route de l'Eolienne.

L'emplacement et le détail de ces coupes sont présentés page suivante.

3.4.2.1. COUPE T1

Le transect T1 orienté SSW-NNE recoupe 10 forages dont un seul n'a pas atteint le substratum, situé en rive droite de la Loire (hors projet).

Le toit du socle ne présente pas de morphologie très contrastée. Seul un haut-fond d'environ 5 m y est observable dans la zone la plus profonde, au droit de la berge rive gauche, sur le site du Carnet.

Sur le secteur d'étude, deux grands types de remplissage sédimentaire peuvent être identifiés selon leur dominante lithologique (depuis le SSW vers la Loire) :

- une zone étroite (250 m environ) à sédimentation peu épaisse (de l'ordre d'une dizaine de mètres) vaseuse reposant sur le socle par l'intermédiaire d'un niveau de sables plus ou moins grossiers ;
- une large zone (4,5 km) à dominante sablo-argileuse localisée au-dessus de la zone du maximum du creusement ; l'épaisseur de sédiment est de l'ordre de la quarantaine de mètres. La base du remplissage est constituée par un niveau de galets, surmonté de niveaux sableux grossiers puis plus fins. Au sein de ces argiles sableuses s'individualise un niveau de sable grossier interprété comme une structure chenalisée. Le secteur SSW voit, dans sa partie supérieure, le développement d'une série à sables dominants qui semble présenter des emboîtements de chenaux. Ce secteur correspond à l'amont de l'île du Carnet.

3.4.2.2. COUPE T2

La coupe T2 est localisée à environ 1,5 km en amont de Paimboeuf et s'étend sur 5,5 km de long environ.

Le substratum y montre deux profondes incisions atteignant l'altitude de -35/-37 m séparées par un haut fond peu marqué d'altitude – 30 m. Ces deux dépressions de 2,5 km de large sont le siège de l'essentiel de la sédimentation ligérienne. Ces incisions correspondent à deux phases d'enfoncement successives du chenal de la Loire au cours du Quaternaire récent. Ces morphologies n'ont pu se former que lors d'un bas niveau marin, probablement durant le Weichsélien.

Le remplissage sédimentaire sur le secteur d'étude correspond à une zone à vases dominantes, qui s'étend sur l'ensemble du transect. Cette structure présente à -45 m environ, au droit de la berge du Carnet, un profil de 5 m de sables moyens à grossiers.

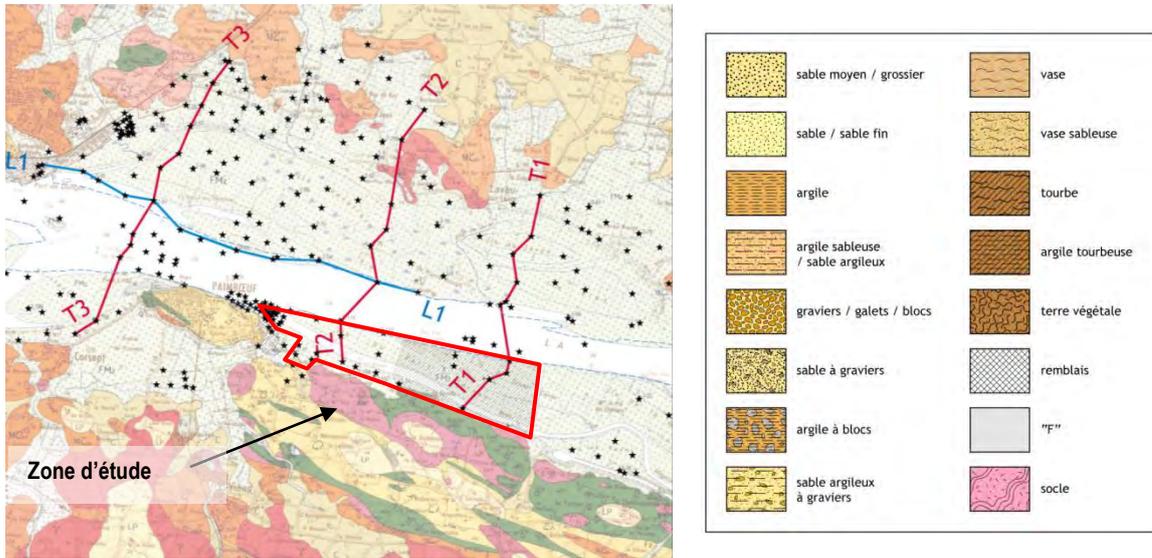


Fig. 6. Localisation des coupes géologiques [BRGM, 2006]

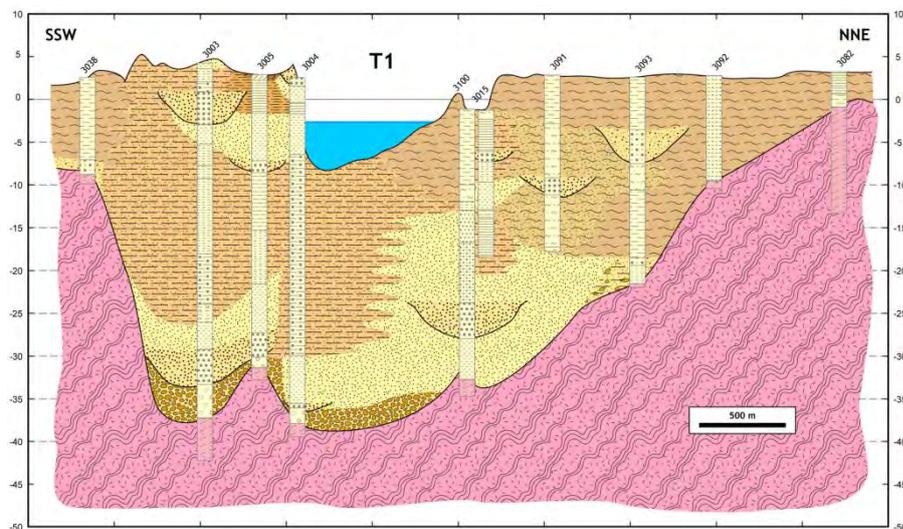
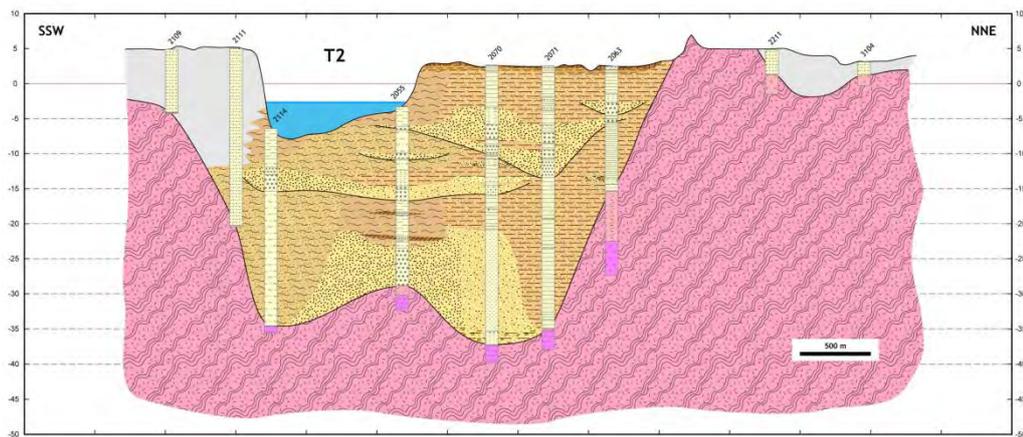


Fig. 7. Détail des coupes T2 et T1 [BRGM, 2006]

3.4.3. HYDROGEOLOGIE

Compte-tenu du contexte géologique, déterminante quant à la présence d'eaux souterraines, les aquifères présents sur l'estuaire de la Loire sont de trois types :

- les aquifères sédimentaires tertiaires, relativement profonds et localisés dans les bassins d'effondrement,
- les aquifères alluvionnaires (alluvions de la Loire),
- les aquifères de socle dont les caractéristiques dépendent principalement de l'altération en surface et du degré de fracturation de la roche.

La masse alluviale de la Loire constitue un excellent aquifère mais hétérogène car les caractéristiques hydrodynamiques sont variables en fonction de leur profondeur, de l'éloignement par rapport au fleuve et de la constitution de la séquence sable/jalle/sable. En région nantaise, des piézomètres ont permis de mettre en évidence des écoulements préférentiels, dans les sables supérieurs et sur les paléo-chenaux.

Dans le domaine de la Loire maritime, soumise aux marées à Basse-Goulaine, il a été observé une corrélation entre les variations du niveau de la nappe et les fluctuations de la Loire et des marées.

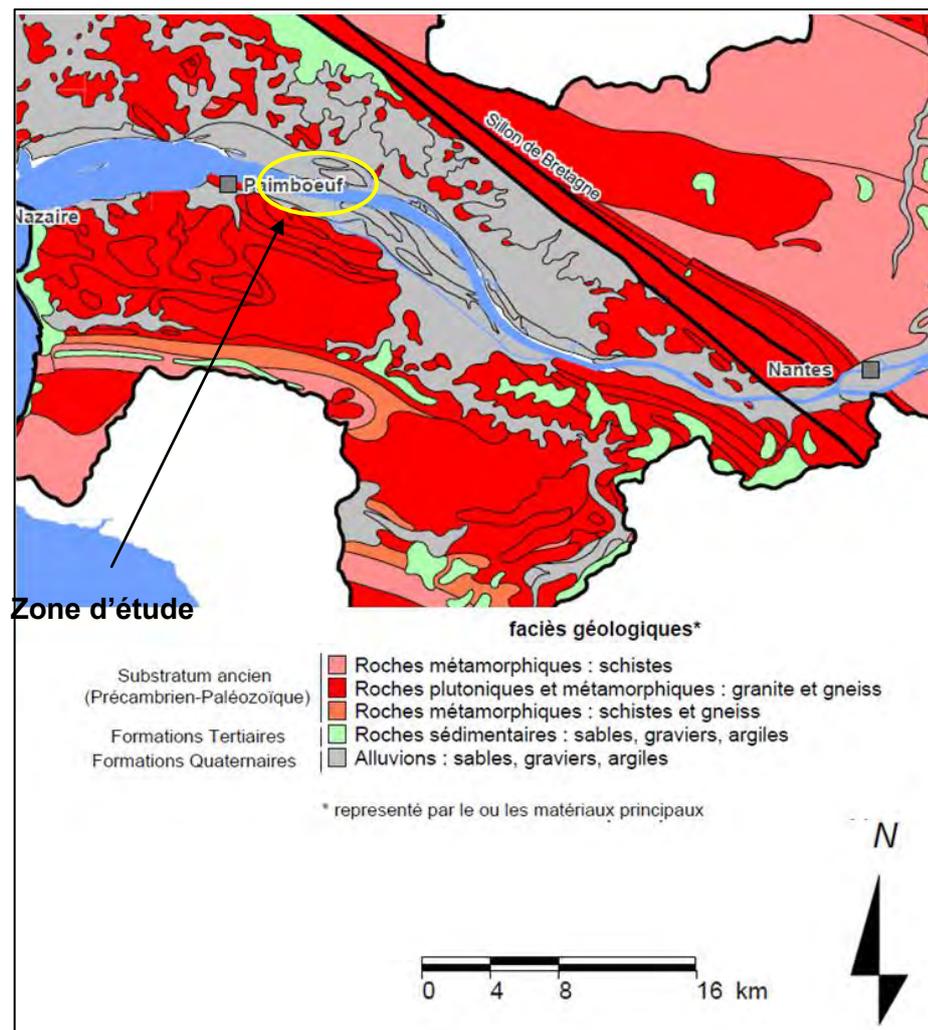


Fig. 8. Faciès géologiques [D'après GIP Loire-estuaire, 2004]

3.5. TOPOGRAPHIE

3.5.1. ESTUAIRE DE LA LOIRE

Les environs de la Loire présentent, aux abords du fleuve, un relief très peu marqué composé par les dépôts d'alluvions. Le paysage devient beaucoup plus vallonné dès lors que l'on s'éloigne de la Loire.

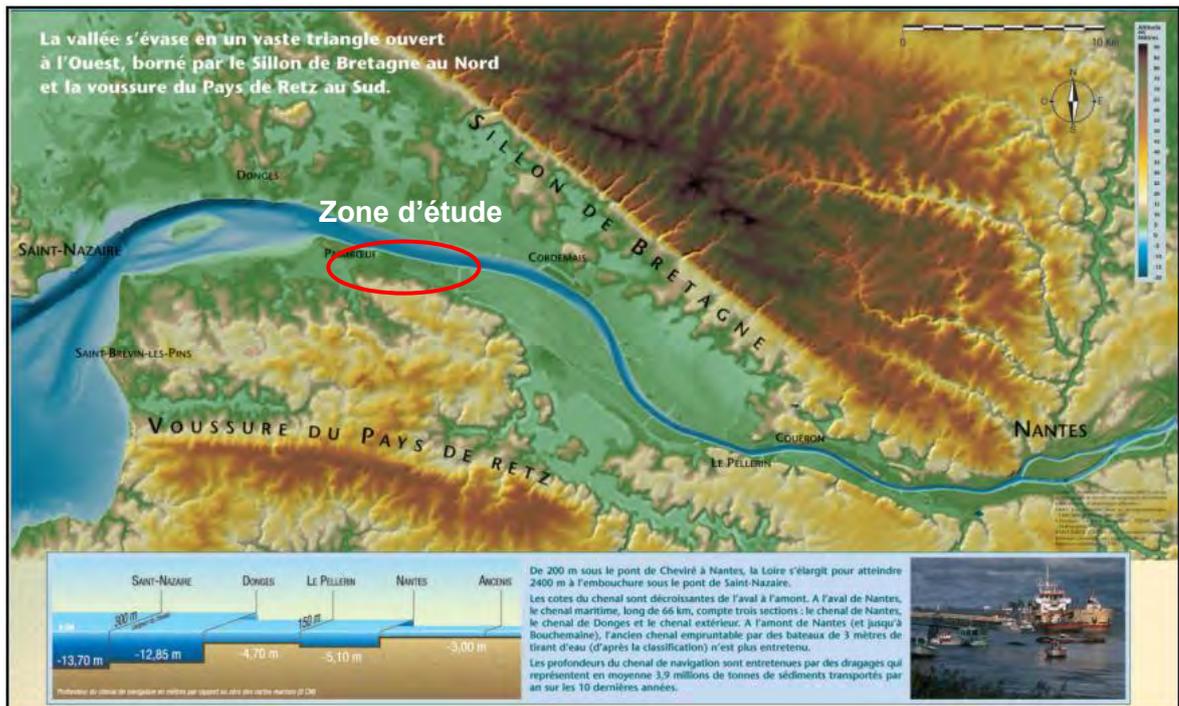


Fig. 9. Le relief de la plaine alluviale entre Nantes et Saint-Nazaire [GIP Loire-Estuaire, 2007]

L'altitude s'élève au maximum à 26 et 34 m IGN 69, respectivement sur les communes de Frossay et de Saint-Viaud.

Au sud, le paysage est marqué par de nombreuses collines interrompues à l'est et à l'ouest par les marais de Frossay et de Saint-Viaud.

Au nord de la Loire, le paysage est relativement plat sur plusieurs kilomètres. Le relief change subitement au niveau du Sillon de Bretagne où l'altitude augmente.

3.5.2. SITE DU CARNET

Le site du Carnet est une zone de faible altitude qui borde directement le cours de la Loire. L'élévation moyenne y est de 7 à 8 m CM soit 3,84 à 4,84 m IGN 69.

Sur toute la surface de l'île, la topographie a été modelée par les activités humaines. En effet, cette île est constituée, outre des dépôts alluvionnaires naturels, de remblais issus des dépôts de dragage de la Loire. Les parcelles situées au sud de la zone sont également planes mais n'ont pas été façonnées par les activités humaines. Elles se situent sur les zones d'expansion des crues de la Loire.

Il apparaît que le point le plus bas se situe au niveau du ruisseau du Migron, aux environs de 5 m CM. La partie de la zone qui se situe au sud (prairie en bocage) décrit une pente très faible jusqu'à ce ruisseau (0,2 %). Son altitude est peu élevée (6 m CM).

La partie de la zone qui se situe au nord du ruisseau a été aplanie par les actions anthropiques (7 m CM). Les seuls reliefs sont donc les talus érigés par les activités humaines (10 à 11 m CM).

Des talus pouvant atteindre une hauteur de trois mètres délimitent des casiers. Ces talus ont notamment été réalisés pour effectuer des tests de tassement des matériaux de dragage mis à terre ; ils sont ponctuellement recouverts de bâches plastiques, maintenant détériorées.

Les berges de la Loire ont été renforcées par des enrochements sur une longueur de 2500 m depuis la vasière relictuelle du bras du Migron, à l'ouest, sur l'ensemble du linéaire concerné par le projet. La berge se situe entre 4 et 7 m CM.

La carte page suivante présente la topographie du site en cote marine (CM).

CLASSES TOPOGRAPHIQUES ET NIVEAUX DE REMBLAI



	Zone d'étude	
Classes topographiques (altitudes en m Cote Marine et m IGN 69)		
	-11,5 à 0 CM	
	0 à 3,96 CM	
	3,96 à 6,96 CM	0,80 à 3,80 m IGN69
	6,96 à 7,96 CM	3,80 à 4,80 m IGN69
	7,96 à 8,36 CM	4,80 à 5,20 m IGN69
	Plus de 8,36 CM	Plus de 5,20 m IGN69

0 CM = -3,16 m IGN69 à St Nazaire (SHOM 2010)

Source(s) : Données du GIP, levé Lidar 2008, Orthophoto 2012



3.6. SYNTHÈSE MILIEU PHYSIQUE

Le site du Carnet bénéficie d'un climat océanique, avec des précipitations présentes en toute saison et des températures douces. Les vents de secteur ouest sont les plus fréquents nord-ouest en hiver et sud-ouest en été.

Globalement la qualité de l'air sur le secteur est bonne, avec des concentrations moyennes annuelles en polluants inférieures aux valeurs définies par la réglementation. Le dépassement du seuil d'information observé sur Frossay concerne la pollution par les particules fines en période hivernale. Le lit de la Loire est creusé dans un substratum rocheux du précambrien et de l'ère primaire (plissement hercynien). Cette partie sud du Massif armoricain est principalement constituée de granites, de gneiss et de schistes.

L'essentiel des sédiments qui se sont accumulés dans le lit de la Loire, datent de l'ère quaternaire (alluvions modernes). Ces alluvions (dont l'épaisseur peut atteindre plus de 50 mètres) sont composées d'une proportion variable de sable et d'argile. Le remplissage sédimentaire sur le secteur d'étude correspond à une zone à vases dominantes. Le site du Carnet est concerné par la nappe alluviale de l'estuaire de la Loire.

Le site du Carnet est une zone de faible altitude qui borde directement le cours de la Loire. L'élévation moyenne y est de 7 à 8 m CM soit 3,84 à 4,84 m IGN 69. Les berges de la Loire ont été renforcées par des enrochements sur une longueur de 2500 m depuis la vasière relictuelle du bras du Migron, à l'ouest, sur l'ensemble du linéaire concerné par le projet. La berge se situe entre 4 et 7 m CM.

4. MILIEU AQUATIQUE

4.1. MORPHOLOGIE DE L'ESTUAIRE ET AMENAGEMENTS ANTHROPIQUES

La vallée de la Loire présente une morphologie variable au fil des ans avec les crues qui modèlent le paysage, soit par érosion, soit par remblayage sédimentaire. L'homme a largement influencé ce paysage par ses activités (extraction du granulat, remblais, déroctage, ...). L'estuaire présente également des zones de rétrécissement et des zones d'élargissement. Le secteur d'étude a connu, depuis 1800, des bouleversements importants.

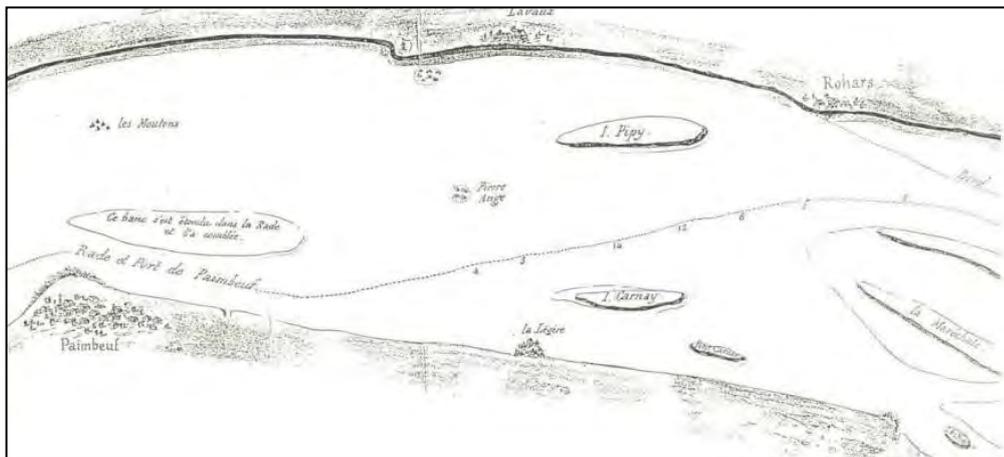


Fig. 10. Extrait de la carte géométrique levée par Magin et De Blaveau en 1755 et publiée en 1757

Les principaux aménagements anthropiques ayant modifié le secteur d'étude sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tabl. 2 - Principaux aménagements réalisés sur le secteur d'étude depuis 1800

EPOQUE - DATE	AMENAGEMENTS	OBJETS
1834-1849	Barrage entre l'île du Petit Carnet et l'île de la Maréchale	Approfondir la rade de Paimboeuf
1890	Dragage du Migron	Rétablir à titre expérimental la navigation
1970 - 1994	Remblai du Migron entre le feu vert du Petit Carnet et la Percée du Carnet (détails page suivante)	Dépôt de dragage Viabilisation primaire en vue d'une extension portuaire
1976	Percée du Carnet	Permettre l'évacuation des eaux depuis l'écluse du Carnet

Concernant le site du Carnet, les premiers remblais sont opérés en 1970 sur 100 ha (dont 40 sur l'île du Petit Carnet). La CIAT (Commission Interministérielle à l'Aménagement du Territoire) établit le financement de l'aménagement du chenal de Donges et la constitution par remblais des futures zones industrielles sur les deux rives (Montoir, Lavau, Le Carnet) en 1977. Durant l'été 1979, 100 ha sont remblayés sur l'île du Carnet avec les deux accès tels qu'ils sont localisés actuellement. Dans les années 1980, le bras du Migron entre ces deux accès est comblé.

Les dessins et photographies aériennes ci-après illustrent ces principaux aménagements.

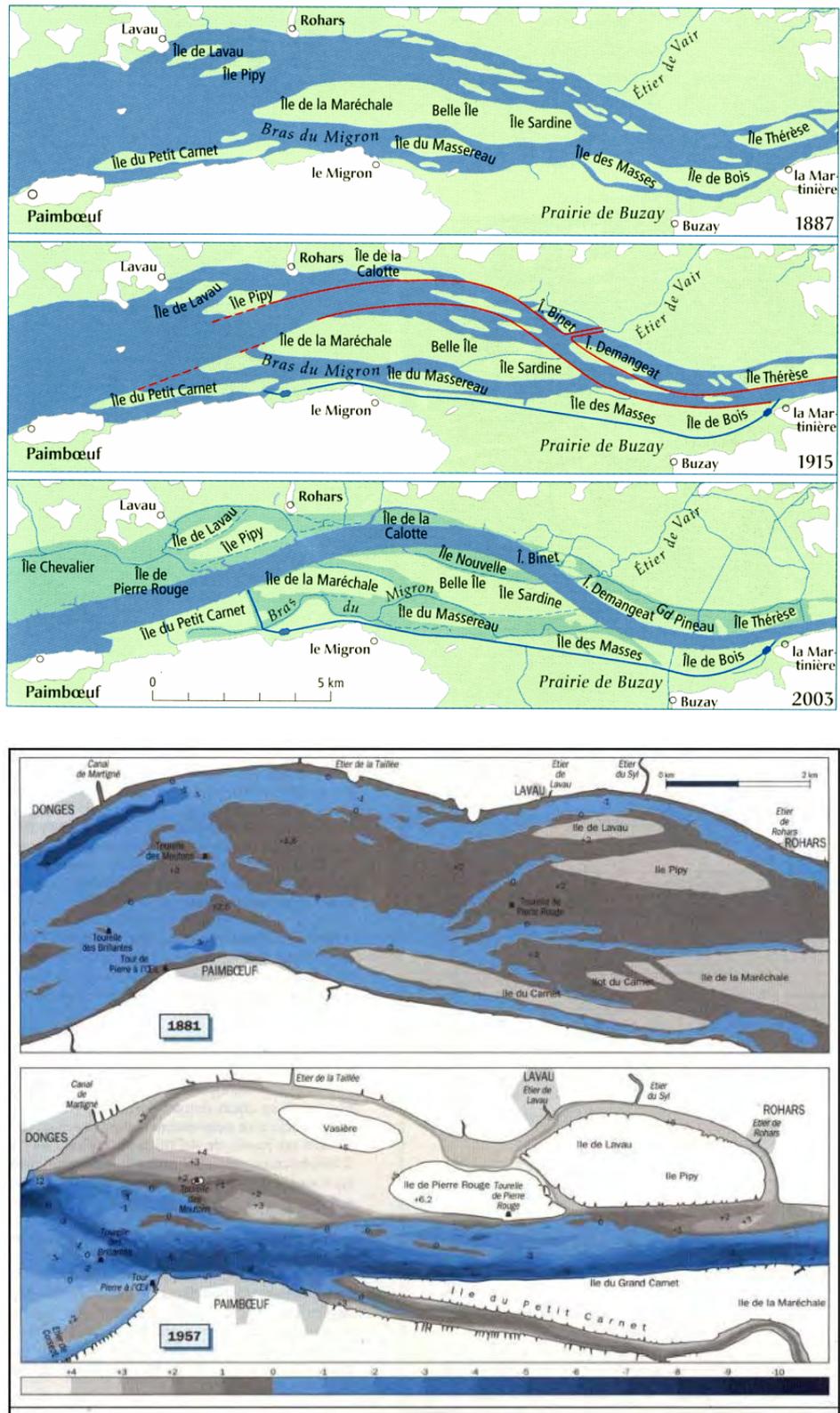


Fig. 11. Morphologie de l'estuaire et aménagements anthropiques [APEEL, 1994]



Fig. 12. Site du carnet en 1970 - en 1979 - en 1985 - en 1989 (remblais achevés en 1994) [IGN, 1970-1979-1985-1989]

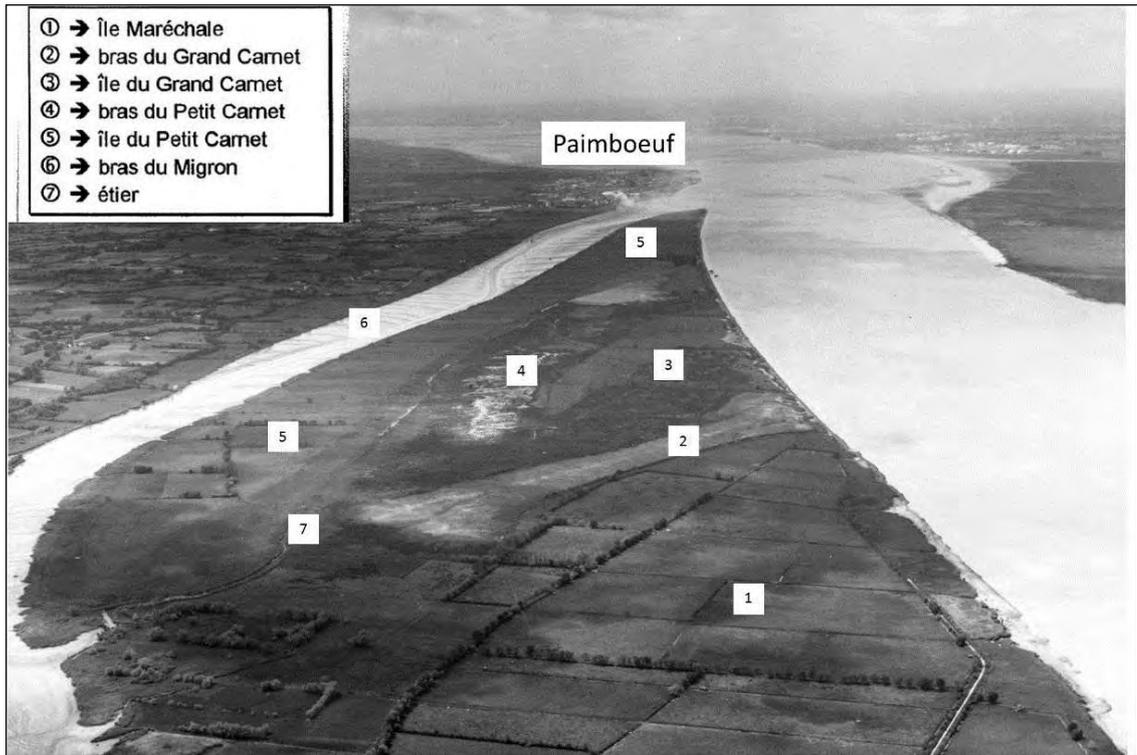


Fig. 13. Vue aérienne vers l'Ouest de la zone du Carnet [GPMNSN, mai 1972]

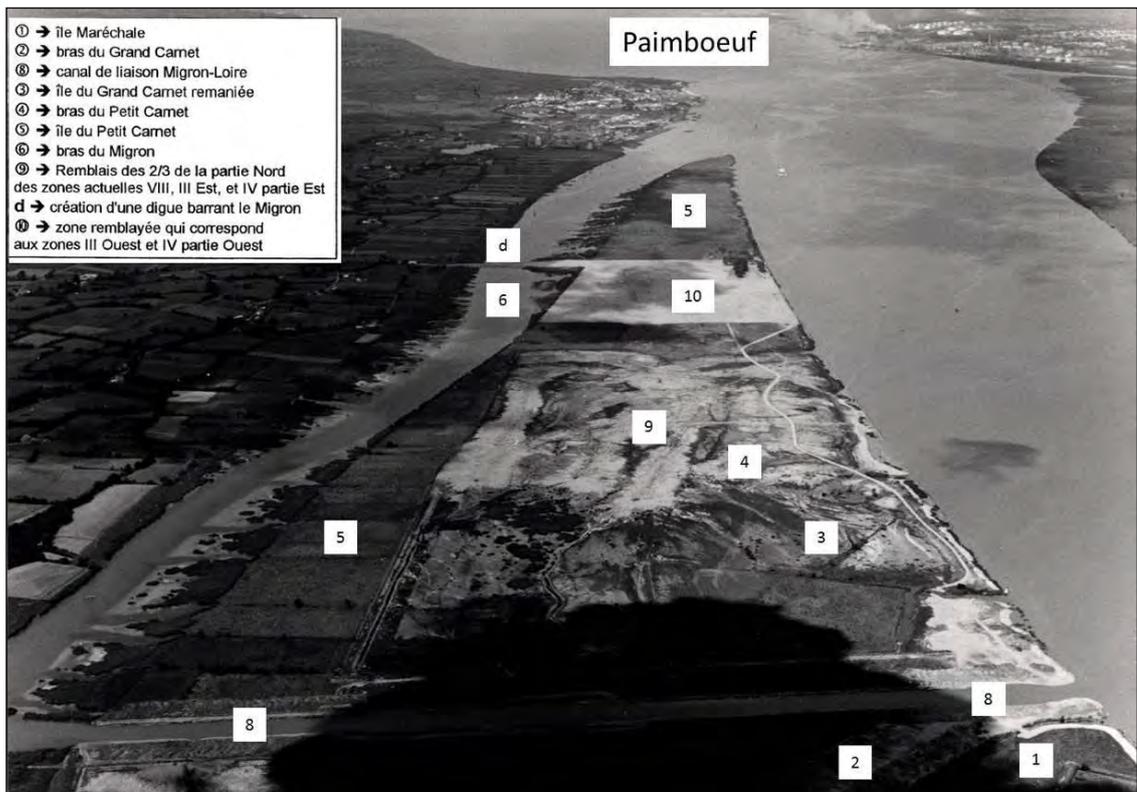


Fig. 14. Vue aérienne vers l'Ouest de la zone du Carnet [GPMNSN, juillet 1977]



Fig. 15. Vue aérienne de la zone du Carnet,-percée du Carnet au premier plan
[GPMNSN, 1978]



Fig. 16. Vue aérienne sur la pointe Ouest du Carnet [GPMNSN, 1979]



Fig. 17. Vue aérienne vers l'Est de la zone du Carnet [GPMNSN, début des années 1980]



Fig. 18. Vue aérienne vers l'Ouest de la zone du Carnet [GPMNSN, 2012]

4.2. EVOLUTION DES FONDS

Sous l'influence des différents facteurs estuariens, la profondeur du lit de la Loire a naturellement évolué au fil des siècles avec l'accumulation et l'évacuation de sédiments. En outre, les nombreux dragages destinés à faciliter les activités portuaires et le passage des navires sur le cours du fleuve ont profondément modifié la bathymétrie. Toutefois, dans les années 1990, la tendance observée était à l'exhaussement du fond de la Loire en raison du ralentissement des dragages d'entretien.

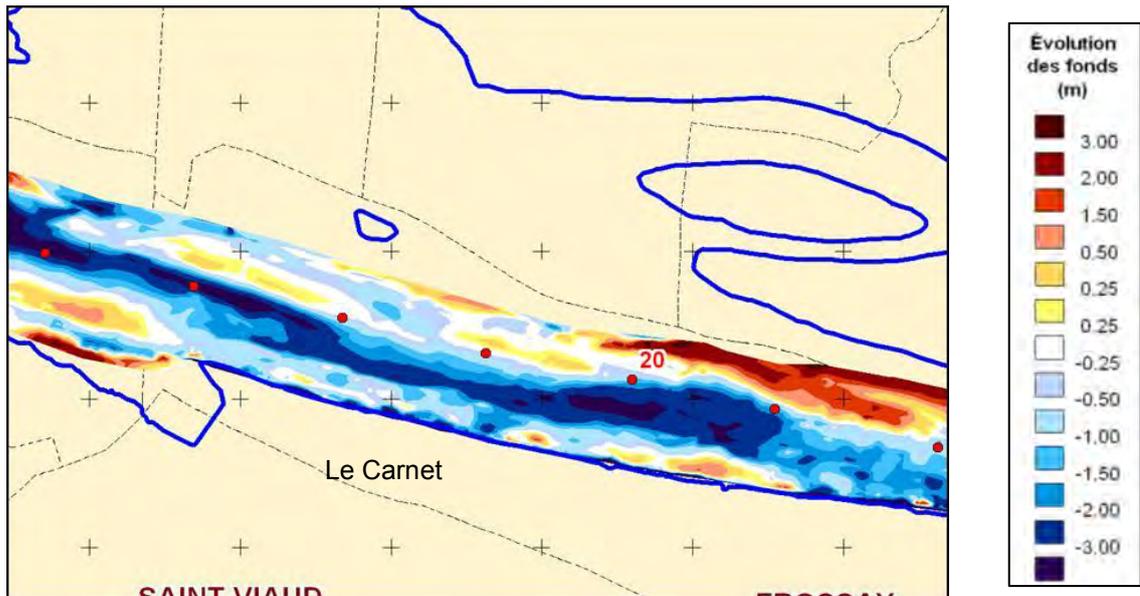


Fig. 19. Evolution des fonds de 1969 à 1984 (Source : SOGREAH)

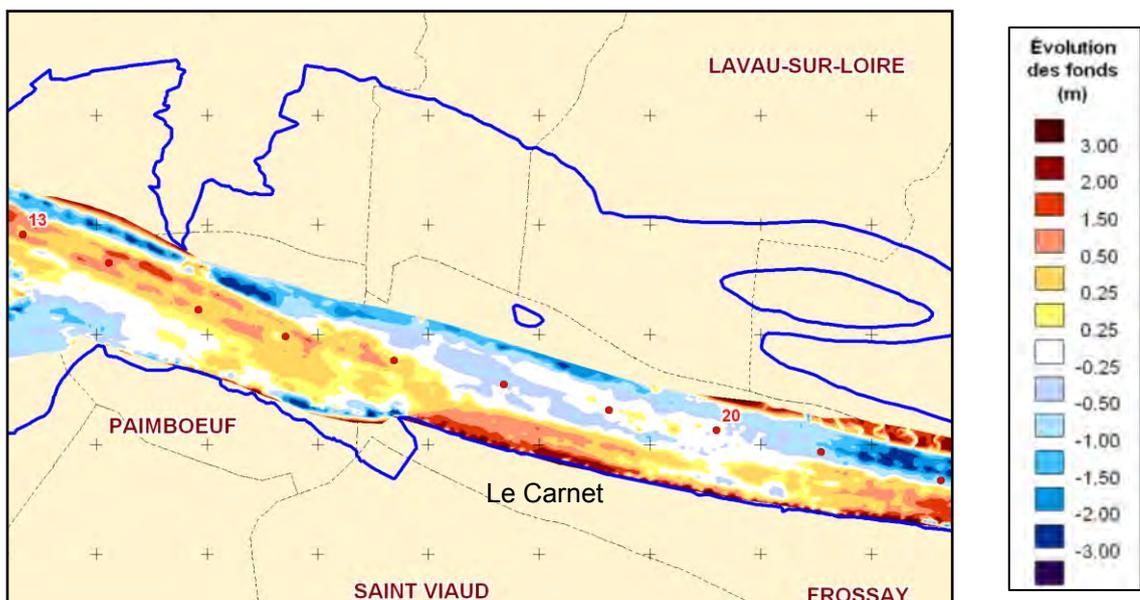


Fig. 20. Evolution des fonds entre 1984 et 2002 (Source : SOGREAH)

Actuellement, le fleuve au niveau de la zone d'étude a une profondeur qui avoisine -4 m CM en bordure immédiate de berge (bathymétrie 2007). Au même endroit, en 1947, une profondeur de -6 m par rapport au 0 CM était observée le long de la rive de l'île du Carnet, et ce sur une longueur de 3 km environ. Entre 1969 et 1984, un approfondissement général de 3 mètres maximum était observé sur le secteur d'étude.

La Loire a donc connu au niveau de la zone d'étude un approfondissement du fond de son lit entre 1969 et 1984 entre 1 et 3 m (localement en bord de berge). La tendance est inversée entre 1984 et 2002 avec des exhaussements pouvant atteindre 3 m en rive.

4.3. LA BATHYMETRIE ACTUELLE

La bathymétrie réalisée en 2008 est présentée sur la carte page suivante.

Sur le secteur terrestre, le merlon en bord de Loire est situé à plus de 9m CM ; devant lui se présente la frange de roselière, entre +6 et +7 m CM. Une zone terrestre « risberme », sur laquelle chemine un chemin piétonnier, sépare cette frange de phragmites du merlon.

Entre + 3 et - 4m CM, les fonds sont réguliers et plongent très rapidement, avec une pente importante (28%), puis les fonds deviennent quasiment plats.

La profondeur - 5 m CM est atteinte à environ 80 m du pied du merlon, sur la partie aval (feu vert du Petit Carnet) ; cette profondeur est atteinte à moins de 50 m sur le secteur de la Percée du Carnet.

BATHYMÉTRIE ACTUELLE



 Zone d'étude

Courbes de niveaux
(CM)

-  -7
-  -6.5
-  -6
-  -5.5
-  -5
-  -4.5
-  -4
-  -3.5
-  -3
-  -2.5
-  -2
-  -1.5
-  -1
-  -0.5
-  0

0 CM = -3,59 m IGN69

Source(s) : Données du GIP, levé Lidar 2008, Orthophoto 2012

0 0,15 0,75 km

4.4. NATURE DES TERRAINS ET DES FONDS ESTUARIENS

4.4.1. POINTS RECENSES A LA BANQUE DU SOUS-SOL DU BRGM

Pour certains des points recensés à la Banque du Sous-Sol du BRGM¹ sur le secteur, les coupes géologiques sont indiquées de l'Ouest vers l'Est dans le tableau ci-dessous comprenant la description de la nature du sol observée en fonction de la profondeur.

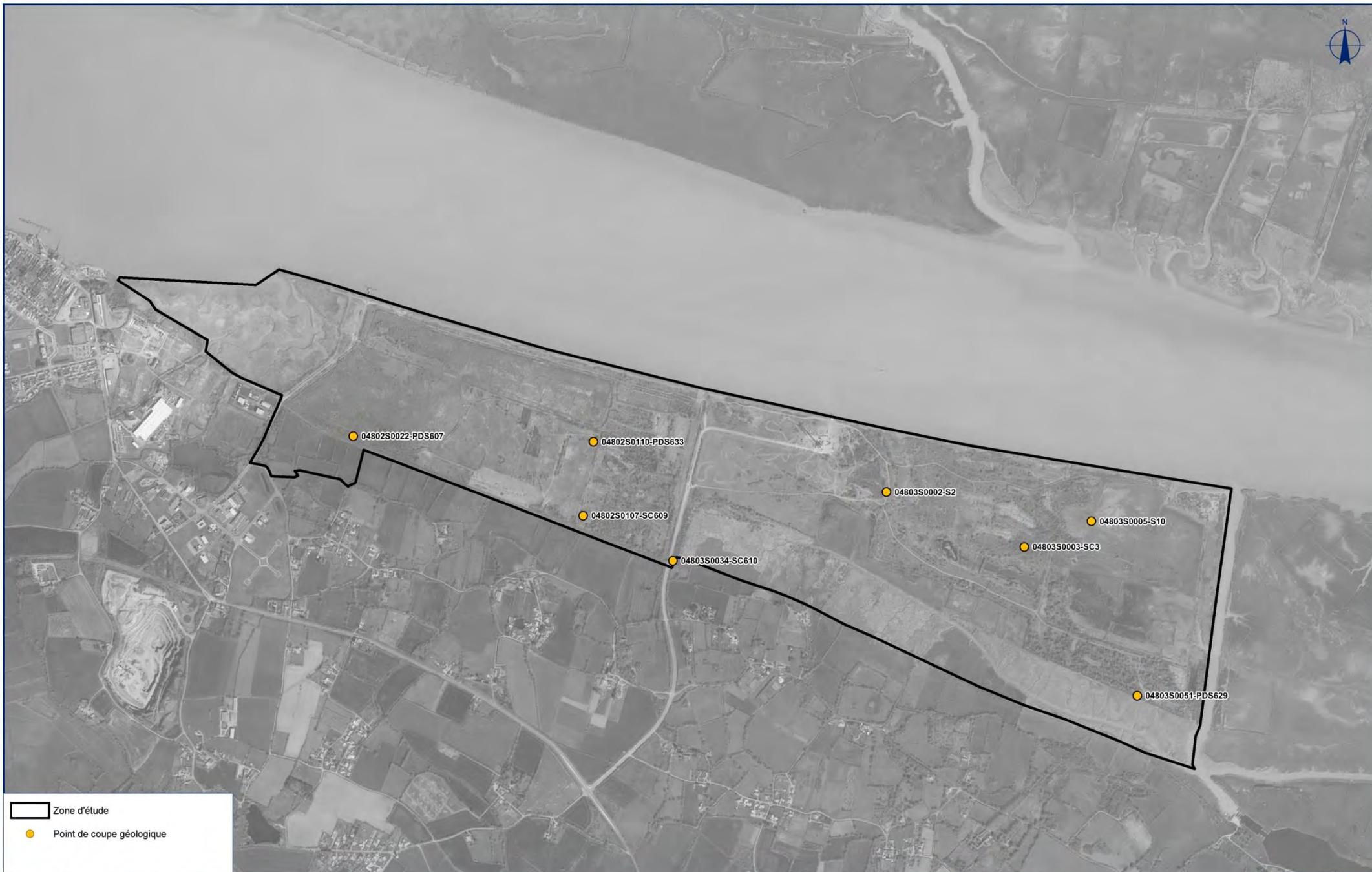
Tabl. 3 - Description et nature du sol sur le site du Carnet à partir des données géologiques disponibles sur le site du BRGM

CODE BSS	04802X0022/ PDS607	04802X0110/ PDS633	04802X0107/ SC609	04803X003 4/ SC610	04803X0002/ S2	04803X0003/ SC3	04803X000 5/ S10	04803X0051/ PDS629
ANNEE DE REALISATION	1975	1975	1975	1975	1955	1955	1956	1975
LOCALISATION	ACIERIE DE CARNET (SAINT-VIAUD)	Z.I DU CARNET (FROSSAY)	Z.I DU CARNET (SAINT-VIAUD)	Z.I DU CARNET (SAINT-VIAUD)	ILE DU GRAND CARNET (FROSSAY)	ILE DU GRAND CARNET (FROSSAY)	ILE DU GRAND CARNET (FROSSAY)	Z.I DU CARNET (FROSSAY)
Coupe géologique	Terre végétale de 0 à 1 m	Vase de 0 à 6,70 m	Remblai sableux de 0 à 1,60 m	Remblai (blocs anguleux) de 0 à 0,80 m	Terre végétale de 0 à 0,10 m	Sable de 0 à 2,20 m	Terre végétale de 0 à 0,70 m	Vase de 0 à 4,20 m
	Vase de 1 à 3 m	Sables, argile, vase de 6,70 à 30 m	Argile de 1,60 à 13 m	Vase, argile de 0,80 à 3,95 m	Sable de 0,10 à 3,50 m	Argile de 2,20 à 3,40 m	Terre / argile de 0,70 à 4,50 m	Sable, vase, argile de 4,20 à 23,70 m
	Argile de 3 à 9 m	Substrat de 30 à 30,70 m	Graviers galets de 13 à 14,75 m	Argile de 3,95 à 4,20 m	Argile de 3,50 à 6,80 m	Sable de 3,40 à 9,50 m	Sable de 4,50 à 11,50 m	Sable de 23,70 à 25,50 m
	Substrat de 9 à 9,50 m		Gneiss friable de 14,75 à 20,85 m	Gneiss dur de 4,2 à 11,40 m	Sable de 6,80 à 12 m	Argile de 9,50 à 12 m	Sable / argile de 11,50 à 18,20 m	Substrat de 25,50 à 25,70 m
			Gneiss tendre fissuré de 20,85 à 24,40 m		Argile de 12 à 16,30 m	Sable de 12 à 22,30 m	Sable de 18,20 à 33 m	
					Sable de 16,30 à 25,30 m	Argile de 22,320 à 28,20	Galet de 33 à 34,25 m	
					Argile de 25,30 à 31,50 m	Sable de 28,20 à 37,60 m	Gneiss de 34,25 à 35,75 m	
					Sable de 31,50 à 40,20 m	Galet de 37,60 à 41,50 m		
				Gneiss de 40,20 à 43,50 m	Gneiss de 41,50 à 46,50 m			

La carte, page suivante, permet de localiser ces coupes.

¹ <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>

POINTS RECENSÉS À LA BANQUE DU SOUS-SOL DU BRGM



Zone d'étude

● Point de coupe géologique

Source(s) : Orthophoto 2012, Points BSS du BRGM



4.4.2. RECONNAISSANCE DES SOLS DE LA ZIP DU CARNET

4.4.2.1. ETUDE CALLIGEE – 1996

Cette étude, réalisée en 1996 sur l'ensemble du périmètre de la ZIP du Carnet, visait à définir la nature et l'épaisseur des matériaux de surface. Des investigations ont été réalisées sur l'ensemble du site du Carnet :

- levés topographiques ;
- mesures de conductivité (cartes et profils) ;
- reconnaissances des sols présents (tarières, pelles mécaniques, pénétromètres, sondages à percussion) ;
- analyses granulométriques.

L'ensemble du site a été découpé par les services du Port de Nantes Saint-Nazaire en 8 zones, plus ou moins indépendantes vis-à-vis des différentes phases de remblaiement.

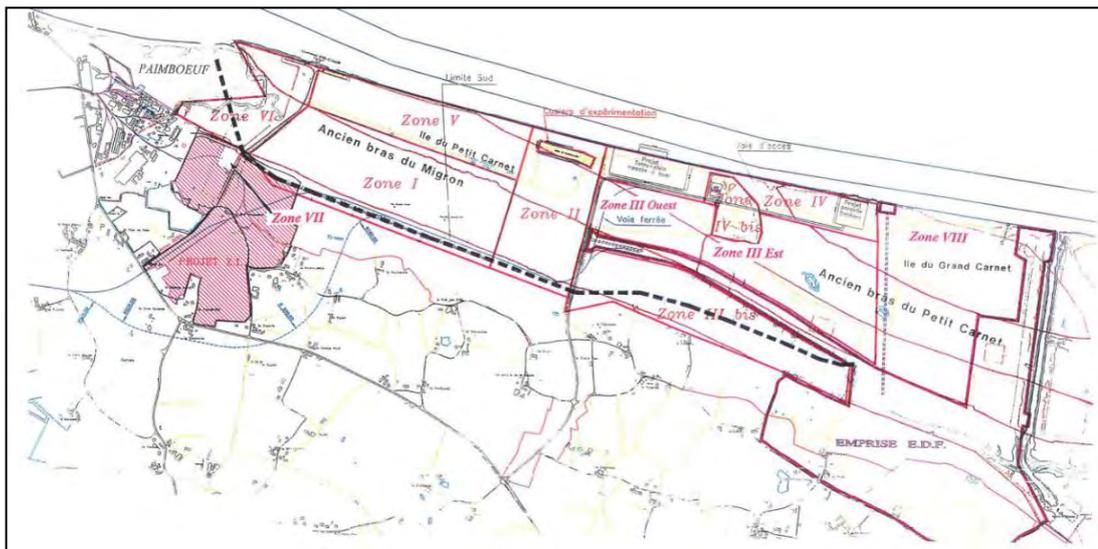


Fig. 21. Localisation des différentes zones de l'étude Calligée sur le site du Carnet

Zone I : cette zone correspond à un site de dépôts de dragage depuis la fin des années 1980. Les dernières opérations de remblaiement dans la partie aval datent de 1993. Les matériaux sont constitués de sable et de vase, la vase ayant décanté vers l'aval avec des alternances probables de sables/vases. Les deux paléosols identifiés (ancienne topographie du site du Carnet avant les remblais), se situent vers 3 mètres de profondeur pour le premier et aux environs de 7 m pour le second.

Zone II : en surface, les remblais sableux possèdent une apparence homogène avec quelques poches de vases. La profondeur du paléochenal (ancien bras du Migron) est a priori supérieure à 9,50 m sous la surface des terrains. En dehors de cet ancien chenal, l'ancienne topographie est localisée entre 0 et 3 mètres.

Zone III Ouest : la surface de cette zone est uniforme et constituée de sables. A l'exception de la partie Nord-Est où les anciens sols sont retrouvés au-delà de 5 m de profondeur, ce qui correspond à l'ancien bras du Petit Carnet, l'ancien sol est situé à 2-3 mètres sous la surface.

Zone III Est : cette zone possède une surface moins homogène avec une zone de remblai très visible (butte) sur la partie Nord-Ouest de la zone.

Les secteurs Sud-Ouest et Sud sont constitués de prairies basses naturelles séparées des zones remblayées par des digues et/ou fossés. L'ancien bras du Petit Carnet apparaît également très nettement sur les investigations effectuées. Le fond du chenal serait situé à environ 8 m de profondeur. Les anciens sols de la partie située au Nord (ancienne île du Grand Carnet) ont été localisés à environ 2 m de profondeur.

Zone III Bis : cette zone correspond au remblaiement du lit et des rives de l'ancien bras du Migron. Elle a fait l'objet d'aménagement lagunaires et de marais. Les terrains en place sont de nature argilo-vasarde, les quelques sables fins et argileux présents par endroits correspondent à des alluvions de Loire.

Zone IV : zone qui a également connu un remblaiement. Sur la partie Ouest, qui correspond à l'ancien bras du Petit Carnet, la profondeur pouvait être supérieure à 7 m. A l'Est, sur l'ancienne île du Grand Carnet, les paléosols se situent à environ 1-2 mètres sous des remblais de nature variable.

Zone IV bis : même remblaiement que la zone IV, cette zone a fait l'objet d'une exploitation sablière. Les épaisseurs de sable sont importantes et sont très souvent supérieures à 3 mètres.

Zone V : cette zone a été remblayée par une mise en dépôt de vases (sur une épaisseur initiale de 3 mètres) au-dessus de remblais anciennement constitués.

Zone VI : la surface de cette zone est restée en grande partie dans un état naturel, elle correspond à la confluence du Migron et de la Loire. Les secteurs remblayés pour les voies d'accès sont limités par des enrochements sur la partie Ouest et en bordure de Loire.

Zone VII : ce secteur possède une faible superficie et est bordé par une digue. La phase de remblaiement a été limitée.

Zone VIII : zone la plus orientale du site, située en bordure de la Percée du Carnet qui constitue la liaison entre la Migron et la Loire. La cote des anciens sols n'a pu être identifiée avec certitude. Toutefois, la trace de l'ancien bras du Petit Carnet est également retrouvée (en continuité avec les indices recensés sur la zone III Est) aux environs de 4-5 m de profondeur sous des remblais constitués de sables. Au Nord de cette zone, la « Percée du Carnet » est retrouvée et sépare en deux parties, l'ancienne île du Grand Carnet. La partie la plus au Sud de cette zone VIII possède une épaisseur moyenne d'environ 1,70 m de sables surmontant les argiles.

4.4.2.2. SYNTHESE

Le site du Carnet présente une stratification classique des zones remblayées de l'estuaire de la Loire : en tête, les remblais récents puis une alternance d'alluvions sablo-vasardes surmontant les alluvions graveleuses qui recouvrent le socle rocheux, formé principalement de gneiss.

Les terrains sont constitués de remblais sableux de bonne qualité sur 3 à 4 mètres d'épaisseur environ. Les alluvions modernes présentent une alternance de matériaux sablo-vasards et sont constituées en partie supérieure de 2 à 4 mètres d'épaisseur par une vase pure bleue verdâtre. Ce remplissage alluvionnaire présente une forte épaisseur de 30 à plus de 35 m et sa constitution est hétérogène. Dans l'ensemble, ces matériaux sont peu compacts et compressibles.

Le toit du substratum rocheux se situe vers -30 / -35 m CM en rive de Loire. Il remonte progressivement vers le sud pour atteindre 0 / -5 m CM au sud de la zone, dans le secteur de Pré Trouseau.

Les différents sondages effectués par CEBTP SOLEN et SOGREAH (tarière à main) ont permis d'identifier plus précisément la pédologie du secteur situé à l'ouest de la route de l'Eolienne.

A. Le secteur remblayé

- une couverture discontinue de « terre végétale » de 0,1 à 0,2 m d'épaisseur ;
- un niveau de remblai sableux à limoneux, détecté entre 0,8 et 1,6 m de profondeur ;
- une alternance d'horizons de sable alluvionnaire et d'horizons argileux vasards bleu à verdâtre, détecté jusqu'à 6 à 10 m de profondeur ;
- le socle est composé de granit, sur lequel repose un épais remblaiement alluvionnaire constitué de dépôts grossiers à la base (galets siliceux et granitiques) et de dépôts plus fins au-dessus (sable quartz légèrement argileux). Ce toit est de profondeur supérieure à 10 mètres.

B. Le secteur bocager

- une faible couverture de terre végétale de 0,1 à 0,2 m d'épaisseur ;
- un niveau de remblai limoneux à argileux ou de limon argileux marron détecté entre 0,5 et 1,2 m de profondeur ;
- un horizon d'argile vasarde beige, bleue à gris verdâtre, détectée entre 3.2 et 6 m de profondeur ;
- un niveau de gneiss fracturé en tête puis rapidement rocheux, entre 5 et 10 m de profondeur.

Ainsi, en zone remblayée, cette alternance de sable et d'argile confère à cette partie du sol des propriétés de perméabilité à l'eau très différentes. Des tests de percolation ont été effectués sur la zone remblayée et ont montré des vitesses d'infiltration de l'eau très différentes pour les deux types de sol :

- Les argiles vasardes sont imperméables et la vitesse d'infiltration est nulle.



Fig. 22. Sondages pédologiques (tarière à main) : horizons argileux vasards

- Les zones sableuses ont une perméabilité très élevée. Les vitesses testées (test de percolation) varient de 67 mm/h à 115 mm/h.



Fig. 23. Sondages pédologiques (tarière à main) : horizons de sable alluvionnaire

Cette alternance pédologique explique les brusques alternances des formations végétales sur ce site alternant faciès xérophile à hygrophile. Au niveau de la partie bocagère du site, le sol est également peu perméable en lien avec leur nature argileuse. L'eau a donc une tendance à stagner sur les prairies, leur conférant un faciès mésophile à hygrophile.

4.4.3. FONDS EN LOIRE

Au droit du projet sur la partie estuarienne, les sondages réalisés par le BRGM en 2006 peuvent être synthétisés de la façon suivante :

Les quatre premiers mètres sont caractérisés par un dépôt de vases argileuses brunes très plastiques, sans consistance. Le mètre inférieur correspond à des vases alternées de sables. Ces vases reposent ensuite sur une couche de 4 mètres de sables plus ou moins grossiers, puis sur 20 mètres de vases argileuses plus ou moins consistantes. Ces vases reposent sur le gneiss, qui correspond au toit du substratum. Au final, à quelques dizaines de mètres de la berge, en Loire, le toit du substratum est situé à plus de 25 mètres.

4.5. HYDROLOGIE DU FLEUVE

4.5.1. NOTIONS GENERALES

Le régime hydraulique d'une rivière peut être apprécié de manière qualitative en parlant :

- de hautes eaux ou de crues,
- de moyennes eaux,
- de basses eaux ou d'étiage.

Les services hydrométriques de l'Etat (DREAL, services de prévision des crues, agences de l'eau...) ont recours à un enregistrement continu des hauteurs d'eau au niveau des stations de jaugeage.

Les données mesurées sont reportées dans la banque nationale de données HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>).

Débit de référence

Le débit de référence est défini par l'article R.214-1 du code de l'environnement comme étant le débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans (QMNA5).

Le QMNA5 est une notion statistique correspondant au débit moyen mensuel minimum ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé une année donnée, ou encore n'étant pas dépassé en moyenne vingt fois par siècle. Il est communément appelé « débit d'étiage quinquennal ».

Le Module

Le module est le débit moyen interannuel calculé sur l'année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station. Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource.

Il a valeur de référence, notamment dans le cadre de l'article L.214-18 du code de l'environnement (fixant le débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces présentes au moins égal au 1/10 du module).

4.5.2. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE

La Loire est un fleuve long de 1 020 km (le plus long de France). Elle prend sa source en Ardèche à environ 1 400 m d'altitude. Son bassin de 117 000km² occupe plus d'un cinquième du territoire français.

La limite amont de l'estuaire correspond à la limite de l'influence de la marée dynamique (Ancenis en période d'étiage). La limite de l'influence de la Loire sur les eaux du littoral peut se faire sentir jusqu'en Baie de Bourgneuf.

D'Ancenis à Saint-Nazaire, la Loire draine les eaux d'affluents qui peuvent concourir à l'instabilité du fleuve en cas de pluies atlantiques persistantes ou au contraire de sécheresse.

- Sur la rive droite, d'est en ouest, se jettent les affluents suivants :
 - le canal du marais de Grée à Ancenis ;
 - le Hâve à Oudon ;
 - l'Erdre et la Chézine à Nantes ;
 - le Brivet, qui draine les eaux de la Brière, à Montoir ;
- et sur la rive gauche, d'est en ouest :
 - la Divatte, à la limite du département de Loire-Atlantique ;
 - la Goulaine, à Basse-Goulaine ;
 - la Sèvre Nantaise, à Nantes ;
 - l'Acheneau, émissaire du lac de Grand-Lieu, à Buzay.

Malgré un réseau hydrographique particulièrement dense, aucun affluent de la Loire ne se jette directement dans l'estuaire. Des vannages permettent le contrôle de la circulation et de la hauteur de l'eau entre la Loire et le réseau hydrographique adjacent.

La zone d'étude se situe à proximité de l'ancien bras du Migron, qui se jetait anciennement dans la vasière de Paimboeuf et conférait au Carnet un caractère réellement insulaire. Celui-ci se jette actuellement à la Percée du Carnet, en y rencontrant les eaux issues du Canal Maritime, à 3,5 km à l'est.

4.5.3. DEBITS MOYENS MENSUELS ET DEBITS D'ETIAGE CONTINENTAUX DE LA LOIRE

La Banque HYDRO donne accès à des chroniques de débits à partir de valeurs mesurées sur des stations de jaugeage. La station de Montjean-sur-Loire, située en amont de Nantes dans le Maine-et-Loire (49) est représentative des débits de la Loire aval.

Cette station est située à 100 km de Paimboeuf et intègre les apports de 93 % de la surface du bassin versant de la Loire (BV = 109 930 km²). A Montjean-sur-Loire, les statistiques disponibles sur une période d'observation très étendue (1863-2011) permettent d'estimer les valeurs débitométriques de référence présentées ci-après.

ESTIMATION DES DEBITS

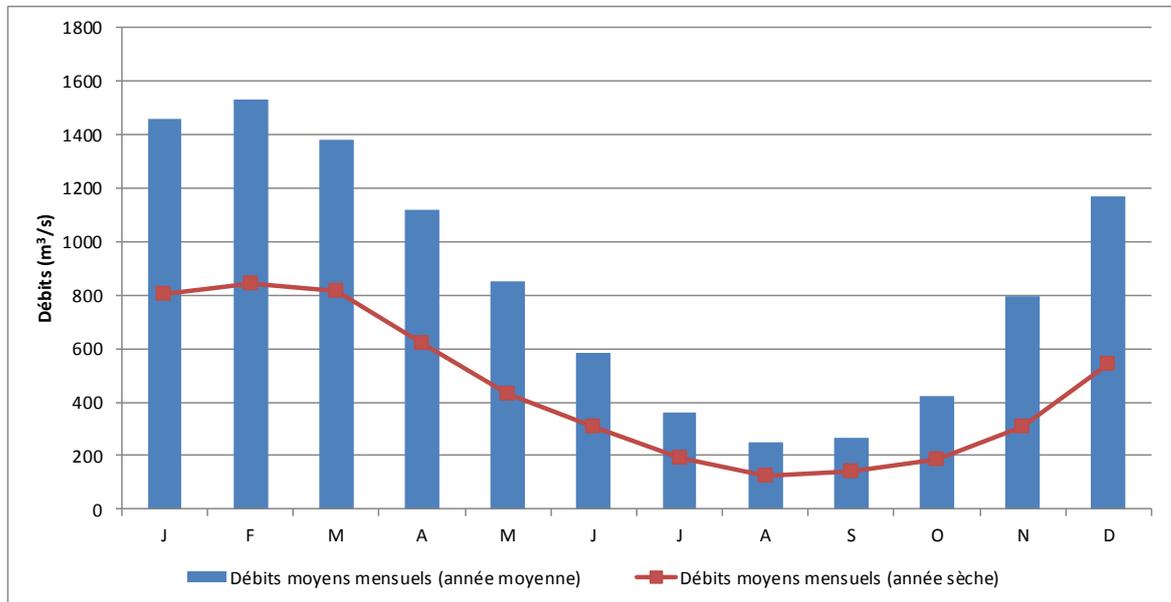
TRANSITANT DANS LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE

Source: Banque HYDRO (statistiques sur la période 1863- 2011)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<u>Année moyenne</u>												
Débits moyens mensuels (m ³ /s)	1460	1530	1380	1120	853	583	362	251	267	421	794	1170
Débits spécifiques (l/s/km ²)	13.3	13.9	12.5	10.2	7.8	5.3	3.3	2.3	2.4	3.8	7.2	10.7
<u>Année sèche de récurrence 5 ans</u>												
Débits moyens mensuels (m ³ /s)	804	845	818	621	430	306	193	126	143	186	306	540
Débits spécifiques (l/s/km ²)	7.314	7.687	7.441	5.649	3.912	2.784	1.756	1.146	1.301	1.692	2.784	4.912

GRAPHE DES DEBITS MOYENS MENSUELS

Année moyenne et année sèche de récurrence 5 ans



Le débit moyen annuel de la Loire sur la période 1863 – 2011 est de 845 m³/s à Montjean-sur-Loire, mais les débits peuvent présenter des variations saisonnières et/ou interannuelles considérables.

La répartition moyenne des débits est uni-modale et présente un maximum durant la deuxième moitié de l'hiver, en janvier-février, tandis que son minimum se situe à l'étiage, durant les mois d'août-septembre.

La Loire peut, par ailleurs, présenter des débits d'étiage particulièrement sévères. Le QMNA-5 de la Loire à Montjean-sur-Loire est estimé à 140 m³/s sur la période 1863-2011 (valeur extrême de 59,3 m³/s en août 1949).

A cette station de référence notée Lre1, le SDAGE Loire Bretagne 2010 - 2015 a fixé des objectifs quantitatifs :

- DOE : Débit d'Objectifs d'Etiage. Il s'agit d'un débit moyen mensuel assorti d'une probabilité de respect d'une année sur 5 (comparable au QMNA5) pour lequel l'ensemble des usages est possible, en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique ;
- DSA : Débit de Seuil d'Alerte. Débit moyen journalier au-dessous duquel une activité ou une fonction utilisatrice de l'eau est compromise.
- DCR : Débit de crise. Débit moyen journalier au-dessous duquel seules les exigences de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité civile et de l'alimentation en eau potable de la population et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaites.

A ce niveau, toutes les mesures de restriction des prélèvements et des rejets ont dû être mises en œuvre.

Tabl. 4 - Tableau des objectifs de quantité aux points nodaux [SDAGE 2010 – 2015]

OBJECTIFS QUANTITATIFS A MONTJEAN-SUR-LOIRE	
DOE	144 m ³ /s
DSA	127 m ³ /s
DCR	100 m ³ /s
QMNA-5 de référence ²	148 m ³ /s
Période de référence du QMNA 5	1984-2006

Au niveau du Carnet, le débit de la Loire est sous influence maritime. Il va ainsi dépendre à la fois du débit d'eau douce venant de Montjean-sur-Loire, mais également du coefficient de marée et du sens de marée (marée montante ou descendante).

Au cours de la remontée dans l'estuaire, l'onde de marée se déforme et devient de plus en plus dissymétrique : la durée du flot devient de plus en plus courte et celle du jusant de plus en plus longue. Cette dissymétrie augmente aussi avec le coefficient de marée.

Les cotes d'eau sont influencées, outre le coefficient de marée, par la pression atmosphérique, le vent et le débit fluvial.

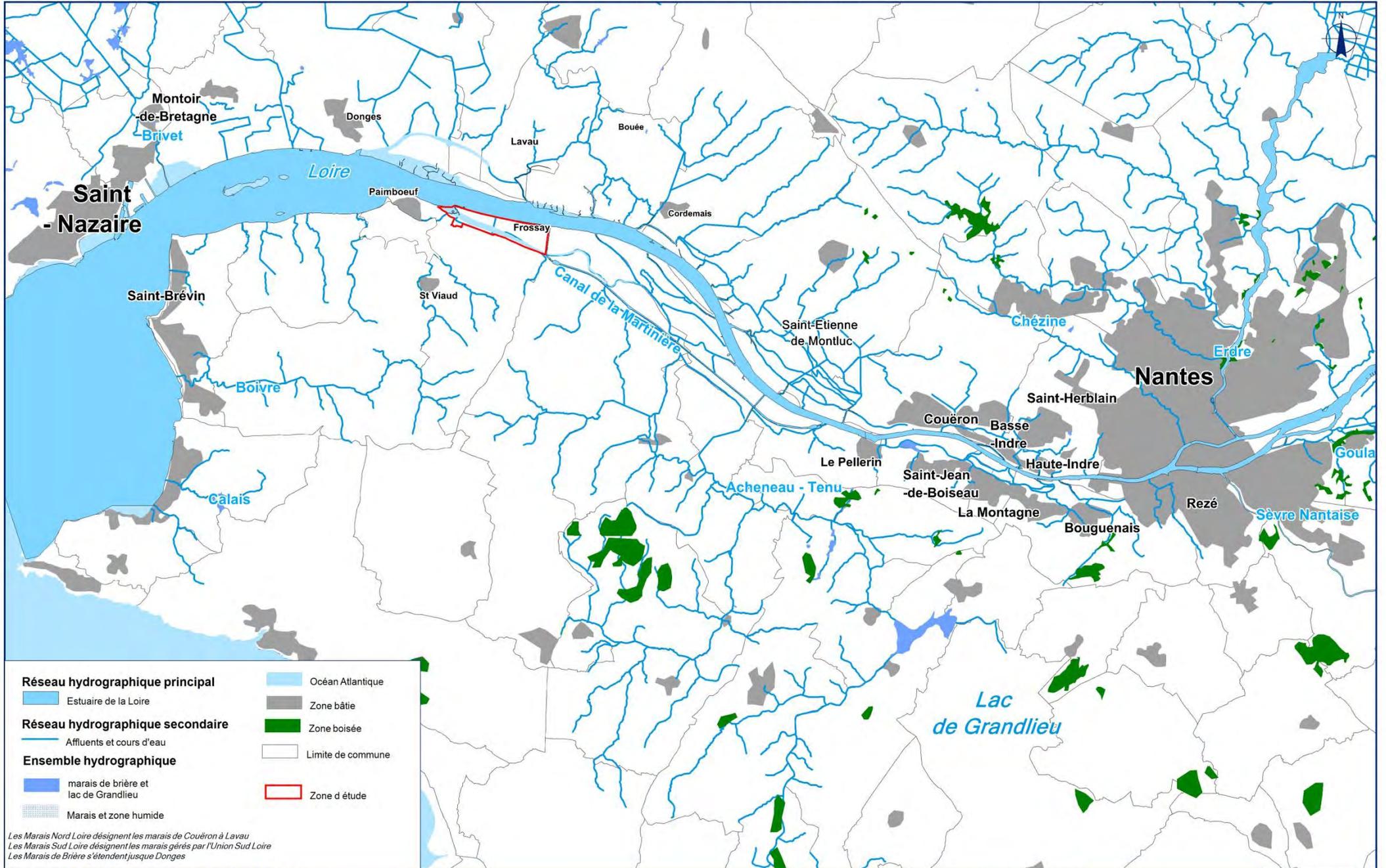
Les débits de marée, à l'étiage, à hauteur de Cordemais sont de l'ordre de :

- 3 000 m³/s pour un coefficient 45 (au flot et jusant)
- 5 000 m³/s pour un coefficient 95 (au flot et jusant)
- 7 000 à 8 000 m³/s pour un coefficient 116 (au flot et au jusant).

Ces données mettent en évidence qu'un débit moyen de crue (3 500 m³/s) ne suffit pas à repousser les débits de marée observés pour de forts coefficients.

² Le QMNA-5 de référence figurant au SDAGE 2010 – 2015 est une valeur statistique calculée sur la période de référence mentionnée au sein du tableau, à savoir : 1984-2006. La valeur indiquée (148 m³/s) est donc légèrement différente de la valeur actuelle, calculée sur la période 1863-2011 (140 m³/s).

RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE GÉNÉRAL



Réseau hydrographique principal

Estuaire de la Loire

Réseau hydrographique secondaire

Affluents et cours d'eau

Ensemble hydrographique

marais de brière et lac de Grandlieu

Marais et zone humide

Océan Atlantique

Zone bâtie

Zone boisée

Limite de commune

Zone d'étude

Les Marais Nord Loire désignent les marais de Couëron à Lavau
 Les Marais Sud Loire désignent les marais gérés par l'Union Sud Loire
 Les Marais de Brière s'étendent jusque Donges

Source(s) : BD GIP Loire Estuaire, Corine Land Cover simplifié

0 1,5 7,5 km

ARTELIA 4-53-1549
ACE JJC

4.5.4. LIGNES D'EAU ET INONDATIONS SUR LA LOIRE AVAL

4.5.4.1. LES REPERES TOPOGRAPHIQUES UTILISES

L'estuaire est essentiellement confronté à deux systèmes d'évaluation des altitudes : le système « maritime » avec les cotes marines (CM) et le système « terrestre » géré par l'Institut géographique national (IGN) qui a varié au cours du temps (système NGF – nivellement général de la France – et désormais NGF-IGN 69). Il est important de tenir compte des correspondances entre ces systèmes afin de permettre une comparaison entre des études anciennes et récentes.

**Tabl. 5 - Correspondance entre les repères topographiques
[AELB, GIP Loire-Estuaire, 2000]**

Cotes Marines	NGF	IGN 69	Cotes NGF ancien // NGF-IGN 69
Avant 1996 : 0 CM	- 3,03 m NGF	- 2,76 m NGF IGN 69	Les cotes NGF ancien sont à augmenter de : 0,26 m en amont d'Ancenis et 0,25 m en aval.
Après 1996 : 0 CM	- 3,43 m NGF	- 3,16 m NGF IGN 69	

Conformément au Décret n° 2006-272 du 3 mars 2006 « la cote du zéro hydrographique dans chaque zone de marée est définie par le SHOM dans les systèmes de référence géographiques, planimétriques et altimétriques ». **A Saint-Nazaire, le zéro hydrographique (0 CM) correspond à - 3,159 m NGF 69 [SHOM, 2010].**

4.5.4.2. ORIGINE DES CRUES

Sur l'ensemble du cours de la Loire, on distingue trois types de crues :

- Les crues océaniques : ce sont les plus fréquentes. Elles sont provoquées par des fronts pluvieux venant de l'océan qui peuvent s'étendre sur l'ensemble du bassin. La dernière crue océanique marquante sur la Basse Loire (à l'aval du Bec de Vienne) est celle de décembre 1982, avec un débit de 6 300 m³/s en aval de la Maine. Elle correspond à une fréquence au moins cinquantennale.
- Les crues cévenoles : ce sont les plus brutales. Elles résultent de précipitations orageuses d'origine méditerranéenne. Localisées sur les hauts bassins, ces crues s'atténuent rapidement si elles ne sont pas soutenues à l'aval par les apports d'une crue océanique.
- Les crues mixtes : elles sont issues de la conjonction d'une crue cévenole et d'une crue océanique, qui se traduit par une montée des eaux généralisée sur l'ensemble du bassin.
- Pour le bassin aval de Nantes, s'ajoutent les perturbations engendrées par de forts coefficients de marée, des forts vents du sud-ouest et les dépressions qui peuvent entraîner localement des surcotes importantes du fleuve.

La crue de 1910 est celle qui a eu le plus de conséquences sur la Loire, à l'amont du Pellerin. Son débit à l'aval du Bec de Maine était de 6 100 m³/s. Sur la Loire à l'aval du Pellerin, la référence est la crue de 1937.

Au niveau de la zone d'étude, les terrains retenus pour l'implantation des aménagements sont situés à des cotes topographiques comprises entre 5 et 9 m CM. Les talus entourant la zone peuvent atteindre 11 m CM.

Le niveau extrême de submersion marine correspond au niveau d'eau atteint pour une occurrence centennale ou pour l'évènement historique extrême, si celui-ci est supérieur au niveau centennal.

4.5.4.3. NIVEAUX D'EAU

A. Evolutions des niveaux de marée dans l'estuaire à Saint-Nazaire et Cordemais

D'après les données du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), les niveaux d'eau caractérisant la marée à St Nazaire (PK 0) sont synthétisés dans le tableau ci-après en Cote Marine (CM).

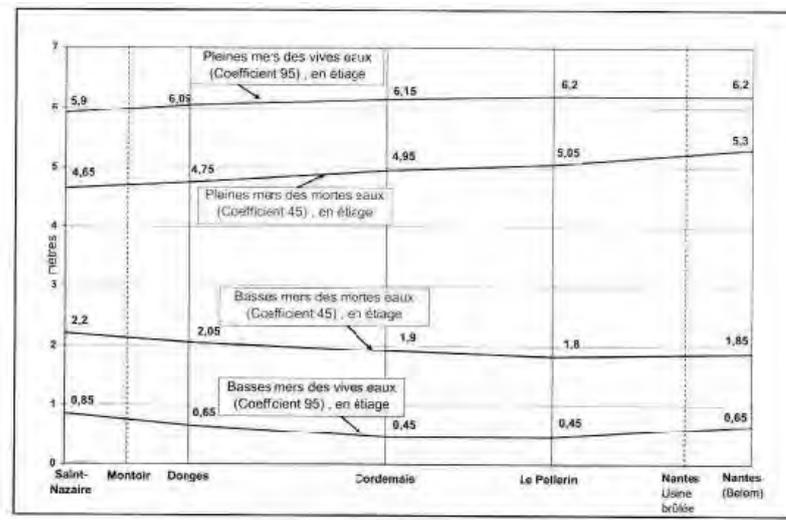


Fig. 24. Lieux géométriques des pleines et basses mers en vives eaux et mortes eaux à l'étiage dans l'estuaire de la Loire

En outre, les niveaux atteints, lors des pleines mers et des basses mers à Cordemais (PK24), varient par rapport aux niveaux atteints à l'embouchure (PK0). Ces variations au niveau de Cordemais sont présentées, pour un débit d'étiage, sur le tableau suivant.

Tabl. 6 - Niveaux d'eau atteints à Saint-Nazaire et Cordemais en fonction des marées [Sources : Site internet du SHOM en Janvier 2008, Annuaire de marée du PANSN édité en 2008]

Marée	Niveaux d'eau atteint (Cote Marine) à Saint-Nazaire (PK 0)	Variations entre le PK 0 et le PK 24 pour un débit d'étiage	Niveaux d'eau atteint (Cote Marine) à Cordemais (PK 24)
Plus Haute Mer de Vive Eau (coefficient 120)	6,64 m	+ 0,25 m	6,89 m
Plus Haute Mer de Vive Eau (coefficient 95)	5,90 m	+ 0,25 m	6,15 m
Plus Haute Mer de Morte Eau (coefficient 45)	4,65 m	+ 0,30 m	4,95 m
Niveau Moyen	3,57 m	-	3,57 m
Plus Basse Mer de Morte Eau (coefficient 45)	2,20 m	- 0,30 m	1,90 m
Plus Basse Mer de Vive Eau (coefficient 95)	0,85 m	- 0,40 m	0,45 m
Plus Basse Mer Astronomique (coefficient 120)	0,02 m	- 0,40 m	- 0,38 m

Il convient de noter que, depuis le début du 20^{ème} siècle, les aménagements en faveur de la navigabilité et les extractions de sable réalisées dans le lit mineur de la Loire ont entraîné un abaissement des niveaux d'eau. Cet abaissement est particulièrement marqué pour les faibles débits. A Montjean-sur-Loire (station hydrologique de référence), pour un même débit d'étiage de 177 m³/s, un abaissement du niveau d'eau de 2,10 m en un siècle a été relevé (+ 0,20 m en 1900 et - 1,90 m un siècle plus tard).

B. Changement climatique et élévation du niveau moyen de la mer

D'après le 5^{ème} rapport du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) de septembre 2013, le réchauffement climatique est confirmé. Suivant les modèles, la température mondiale devrait augmenter de 0,3°C à 4,8°C. Quatre principaux modèles sont utilisés : RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 prenant en compte l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300 à partir de l'évolution de concentration des gaz à effet de serre, de l'ozone et de précurseurs.

La surélévation du niveau de la mer pourrait atteindre entre 0,26 et 0,82 m d'ici 2100.

L'élévation du niveau moyen de la mer mondial pour 2081-2100 par rapport à 1986-2005 sera probablement de l'ordre de (hausse donnée avec un intervalle de confiance) :

- + 0,26 à 0,55 m pour le modèle RCP2.6 ;
- + 0,32 à 0,63 m pour le modèle RCP4.5 ;
- + 0,33 à 0,63 m pour le modèle RCP6.0 ;
- + 0,45 à 0,82 m pour le modèle RCP8.5.

Pour le modèle RCP8.5, la hausse d'ici 2100 sera comprise entre +0,52 et +0,98 m, avec une tendance moyenne annuelle sur la période 2081 à 2100 entre 8 et 16 mm par an.

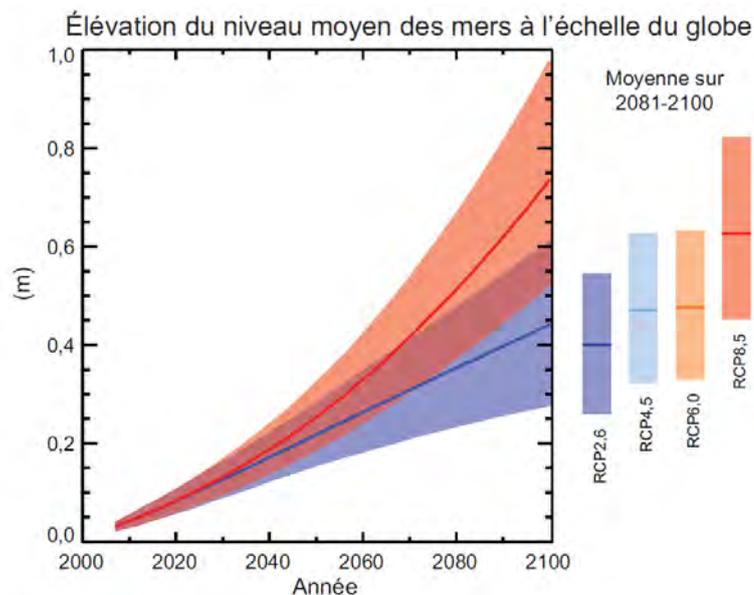


Fig. 25.

Projections de l'évolution du niveau moyen des mers au cours du XXI^e siècle par rapport à la période 1986-2005 [GIEC, 2013]

4.5.4.4. INONDABILITE DE LA ZONE D'ETUDE**A. PHEC et PHEP**

La cote de référence du risque d'inondation pris en compte correspond à l'évènement historique de la tempête Xynthia du 28 février 2010 (7,34 CM soit 4,18 IGN 69 au niveau de l'île Pipy et 7,33 m CM au niveau du Carnet soit 4,17 m IGN 69) [AZI Estuaire de la Loire, 2014 et GPMNSN, 2011].

Cet évènement, qui correspond aux PHEC (Plus Hautes Eaux Connues), surpasse la cote de la crue historique du 14 mars 1937 lors d'un coefficient de 111 qui correspondait à la cote de 7.28 m CM soit environ 4,12 m IGN 69 sur le site du Carnet. Il a par ailleurs été estimé que la cote marine du risque millénial dans le secteur était de 7,96 m CM [GIP Loire Estuaire, 2006].

La cote PHEP (Plus Hautes Eaux Prévisibles), aujourd'hui dépassée, a été établie en 1957. Elle correspondait dans l'estuaire aux conditions suivantes : vent d'ouest de 100 km/h, coefficient de marée de 110, débit de la Loire de 6 300 m³/s prenant en compte l'abaissement de la ligne d'eau résultant de l'incision du lit oscillant de 30 cm à Mauves jusqu'à 1 m à Saint Félix [Géo-Hyd, 2005]. Cette cote atteignait 7,18 m CM soit 4,02 m IGN 69 au canal de la Martinière [AZI de la vallée de la Loire, 2001].

B. Atlas des inondations de l'estuaire de la Loire - 2014

Document de connaissance des zones inondables sur l'estuaire de la Loire, l'Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire a été validé et notifié aux communes en Juin 2014.

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. Au vu des données disponibles, il apparaît que Xynthia est l'évènement le plus important de mémoire d'homme. La période de retour de cet évènement étant estimée à plus de 100 ans, il est retenu de considérer l'évènement de type Xynthia comme étant l'évènement de référence actuel. Cet évènement prend en compte la ligne d'eau de Xynthia dans le lit mineur, mais ne tient pas compte des ouvrages qui sont susceptibles de dysfonctionner, de surverser ou de rompre (par exemple, les digues, les clapets et autres ouvrages hydrauliques, les remblais linéaires, ...).

Sur le secteur d'étude, la DDTM a relevé une cote d'inondation sur le secteur de la Ramée (habitations) à 3.90 m NGF. Le village de la Ramée n'a jamais subi un niveau d'inondation de ce type. Le chemin d'exploitation de SOREDI vers la Loire a subi des dégâts ; le clapet anti-retour sur cette voirie (en désuétude avant l'évènement) a été emporté. Un nouvel ouvrage a par conséquent été mis en place.

Afin de prendre en compte le réchauffement climatique et le rehaussement du niveau moyen des océans qui en découle, il est retenu de prendre en compte un rehaussement de 0,6 m. Ainsi, l'« évènement de type Xynthia + 60 cm » sera appelé « évènement de référence avec changement climatique ».

La cartographie des aléas permet de définir deux aléas (aléa fort et aléa modéré) en fonction du croisement de la hauteur d'eau et des vitesses d'écoulement ou, pour quelques secteurs, en fonction des éléments anthropiques protégeant des inondations.

Tabl. 7 - Définition des aléas suivant les hauteurs d'eau et les vitesses

Hauteur d'eau par rapport à l'évènement considéré	Zone de vitesse faible	Zone de vitesse forte
0 – 1 m	Aléa modéré	Aléa fort
> 1 m	Aléa fort	Aléa fort

Sur le secteur étudié, les cotes d'inondabilité retenues sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Tabl. 8 - Cotes d'inondabilité sur le secteur d'étude

	Cote en m CM	Cote en m IGN 69	Source
PHEC (site du Carnet)	7.33 (Xynthia)	4.17	GPMNSN, 2011
PHEP (canal de la Martinière)	7.18	4,02	AZI Vallée de la Loire, 2001
Niveau marin extrême estimé (sud Loire-Atlantique)	6.96	3.80	SHOM, 1994
Estimation risque millénial (Saint-Nazaire)	7.96	4.80	GIP Loire-Estuaire, 2006
Cote de référence « Xynthia » -Ile Pipy	7.34	4.18	AZI Estuaire de la Loire, 2014
Prise en compte du changement climatique			AZI Estuaire de la Loire, 2014 ONERC, 2010
- Hypothèse pessimiste (ONERC 2010)	+ 0,6 m		
- Hypothèse extrême (ONERC 2010)	+ 1 m		
Cotes d'inondabilité retenues : cote « Xynthia » + prise en compte du changement climatique	Hypothèse pessimiste : 7.94 Hypothèse extrême : 8.34	Hypothèse pessimiste : 4.78 Hypothèse extrême : 5.18	

Selon la synthèse des données ci-dessus, les cotes d'inondabilité du site retenues sont la cote de référence « Xynthia » de l'Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire (Ile Pipy) (4,18 m IGN 69) majorée par la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en lien avec le changement climatique :

- + 0,60 m dans l'hypothèse pessimiste soit **4,78 m IGN 69** ou **7,94 CM**,
- + 1 m dans l'hypothèse extrême soit **5,18 m IGN 69** ou **8,34 CM**.

La cote 7,94 m CM correspond à une cote hypothèse pessimiste qui est quasi équivalente à l'estimation du GIP Loire-Estuaire de la cote marine de risque millénial sur le secteur de Saint-Nazaire (7,96 m CM). La prise en compte de ces deux hypothèses permet d'annihiler tout risque à l'horizon 2100.

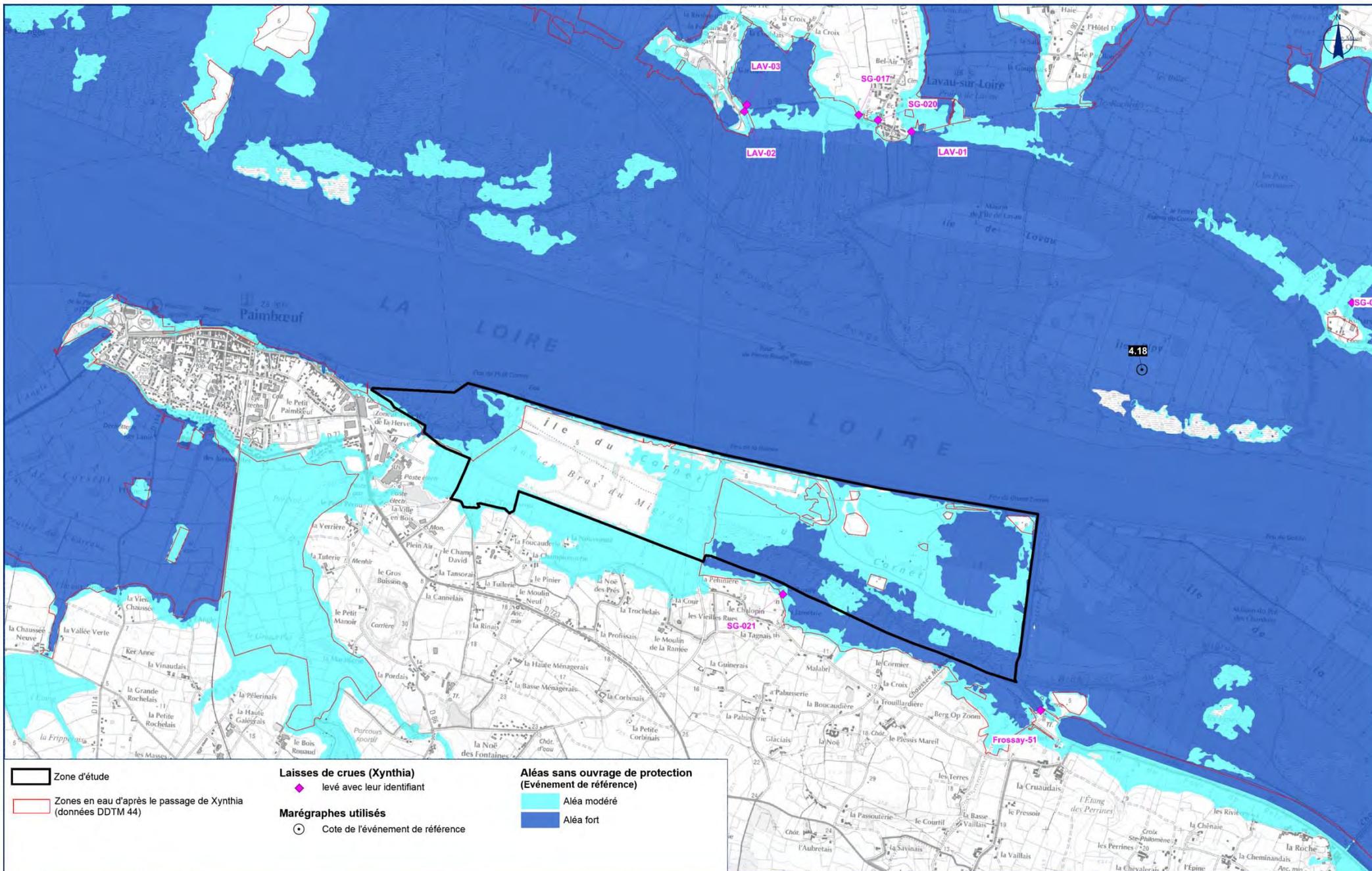
Les cartes pages suivantes sont extraites de l'Atlas des inondations de l'Estuaire de la Loire et illustrent, sur la zone du Carnet, les aléas pour l'événement de référence et l'événement de référence + 0,60 cm.

Le site du Carnet est concerné par des aléas modéré et fort. La partie ouest du site (à l'ouest de la route de la Ramée) est située à un niveau plus élevé, la majeure partie du site reste hors d'eau pour l'événement de référence. Les surfaces concernées sur le périmètre d'étude sont indiquées dans le tableau suivant.

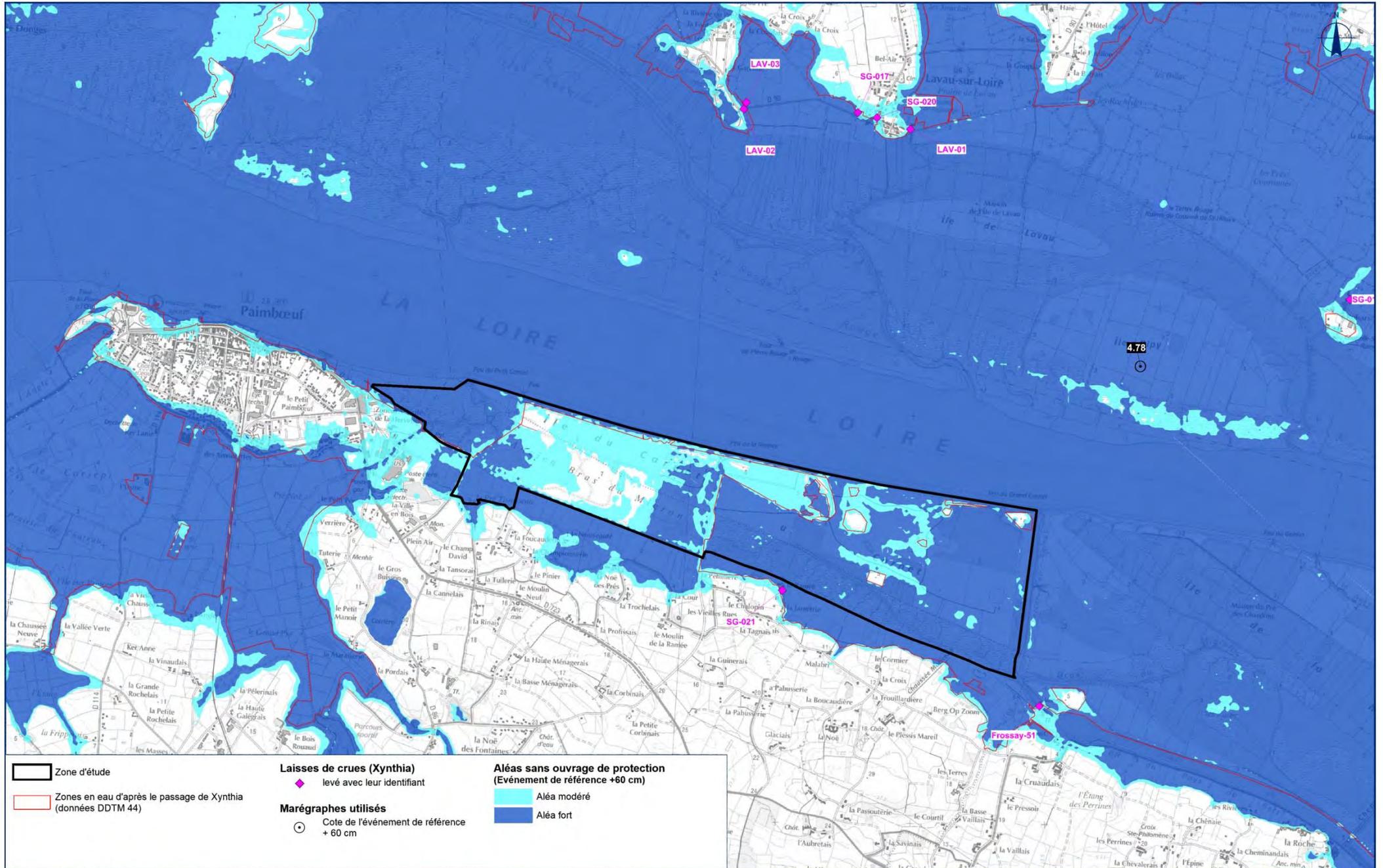
Tabl. 9 - Surfaces concernées par les risques d'inondation sur le secteur du Carnet

Caractérisation de l'aléa inondation sur le site du Carnet	Evénement de référence	Evénement de référence + 0,60 cm
Non concerné	29 ha	74 ha
Aléa modéré	104 ha	201 ha
Aléa fort	120 ha	262 ha

INONDATIONS : ALÉAS SANS OUVRAGE DE PROTECTION - EVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE



INONDATIONS : ALÉAS SANS OUVRAGE DE PROTECTION - EVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE + 60 CM



<p> Zone d'étude</p> <p> Zones en eau d'après le passage de Xynthia (données DDTM 44)</p>	<p>Laisses de crues (Xynthia)</p> <p> levé avec leur identifiant</p> <p>Marégraphes utilisés</p> <p> Cote de l'événement de référence + 60 cm</p>	<p>Aléas sans ouvrage de protection (Evénement de référence +60 cm)</p> <p> Aléa modéré</p> <p> Aléa fort</p>
---	---	--

Sources : SCAN25®, AZI ARTELIA 2013

0 0,25 1,25 km

4.5.5. VOLUMES OSCILLANTS

Les volumes d'eau qui pénètrent et sortent de l'estuaire à chaque marée varient en fonction de la hauteur de la marée et de la géométrie de l'estuaire, le débit fluvial réduisant le volume de flot et augmentant celui de jusant.

Au total, au cours d'une année, il pénètre et sort de l'estuaire 140 milliards de m³ d'eau [Migniot et Le Hir, 1994], alors que la Loire apporte entre 20 et 50 milliards de m³ d'eau douce par an, soit 1/3 à 1/6 du volume d'eau oscillant [Géo-Hyd, 2005].

Ce volume d'eau oscillant diminue en fonction de la distance à l'embouchure.

Le GIP indique [GIP Loire-Estuaire, 2004] que, pour une marée de coefficient 90 et en étiage de 260 m³/s, les volumes emmagasinés par le flot en amont de certaines stations étaient compris entre 234 et 24 millions de m³.

Tabl. 10 - Volumes (Mm³) emmagasinés par le flot à l'amont de stations pour une marée de coefficient 90 et en étiage de 260 m³/s [GIP Loire Estuaire, 2004]

Saint-Nazaire	Donges	Paimboeuf	Cordemais	Le Pellerin	Chantenay
234	165	111	76	39	24

Cette valeur de volume oscillant, rapportée à un débit fluvial, caractérise le régime de l'estuaire et détermine alors si l'on se situe en régime maritime dominant, en régime fluvio-maritime ou en régime fluvial.

En aval du Carnet, l'influence de la marée domine. En amont, à hauteur de Cordemais, le régime est fluvio-maritime.

4.5.6. COURANTS

Les courants dans l'estuaire sont liés aux effets cumulés de la marée et du débit fluvial. Leurs vitesses sont fonction de l'amplitude de la marée, du débit et d'autres facteurs liés à la morphologie du fleuve.

Ces facteurs sont les suivants :

- la profondeur, et la variation des vitesses sur la hauteur d'eau,
- la position dans l'estuaire,
- le coefficient de marée et l'instant dans la période de marée.

Les vitesses des courants dépendent de différents facteurs :

- coefficient de marée (pour un débit fluvial donné),
- débit fluvial (pour un coefficient de marée donné),
- les aménagements.

Selon des mesures in situ, il semble que :

- au niveau du chenal de Donges, les vitesses maximales de surface se rencontrent pour un débit fluvial de petite crue (1 400 m³/s) ; elles sont plus élevées en jusant qu'en flot,
- dans le même secteur, le flot est plus puissant en étiage qu'en crue.

Il existe également une variation de vitesse sur la verticale qui en l'absence de salinité et de gradient de turbidité importants suit une loi logarithmique, les vitesses étant plus faibles au fond qu'en surface. Ce rapport entre les vitesses maximales mesurées près du fond et en surface vaut en moyenne 0,6.

Les travaux d'aménagement de l'estuaire au cours des dernières décennies ont eu une influence sur la vitesse des courants.

A l'amont de Nantes, d'après MIGNIOT (1993), une augmentation des vitesses par abaissement des fonds et augmentation de la pente de la ligne d'eau est probable et l'apparition de courants alternatifs de marée a pu entraîner des remises en suspension des fonds et une érosion des berges, sur des zones précédemment stables.

A l'aval de Nantes, MIGNIOT (1993) estime que l'approfondissement du chenal de navigation entre 1949 et 1976 avait entraîné une augmentation des courants dans l'estuaire de Nantes à Saint-Nazaire. Cette augmentation des vitesses a été sensible, les vitesses passant par exemple, à Cordemais et en vives eaux (VE), de 1,2 m/s en 1953 à 1,5 m/s en 1976.

Des mesures ont également été réalisées en différents points du chenal pour comparer les vitesses de courants avant et après creusement du chenal de Donges à la cote -12,85 m CM au début des années 80. Ces comparaisons montrent que les vitesses de courants (MIGNIOT, 1993) sont :

- accentuées à Villes-Martin par suite d'un meilleur tracé du chenal au large,
- réduites de 10 à 20 % devant le poste méthanier et de 20 à 30 % au poste 5 de Donges,
- augmentées devant le Carnet,
- augmentées devant l'île Sardine (commune du Pellerin),
- peu ou pas modifiées devant Cheviré.

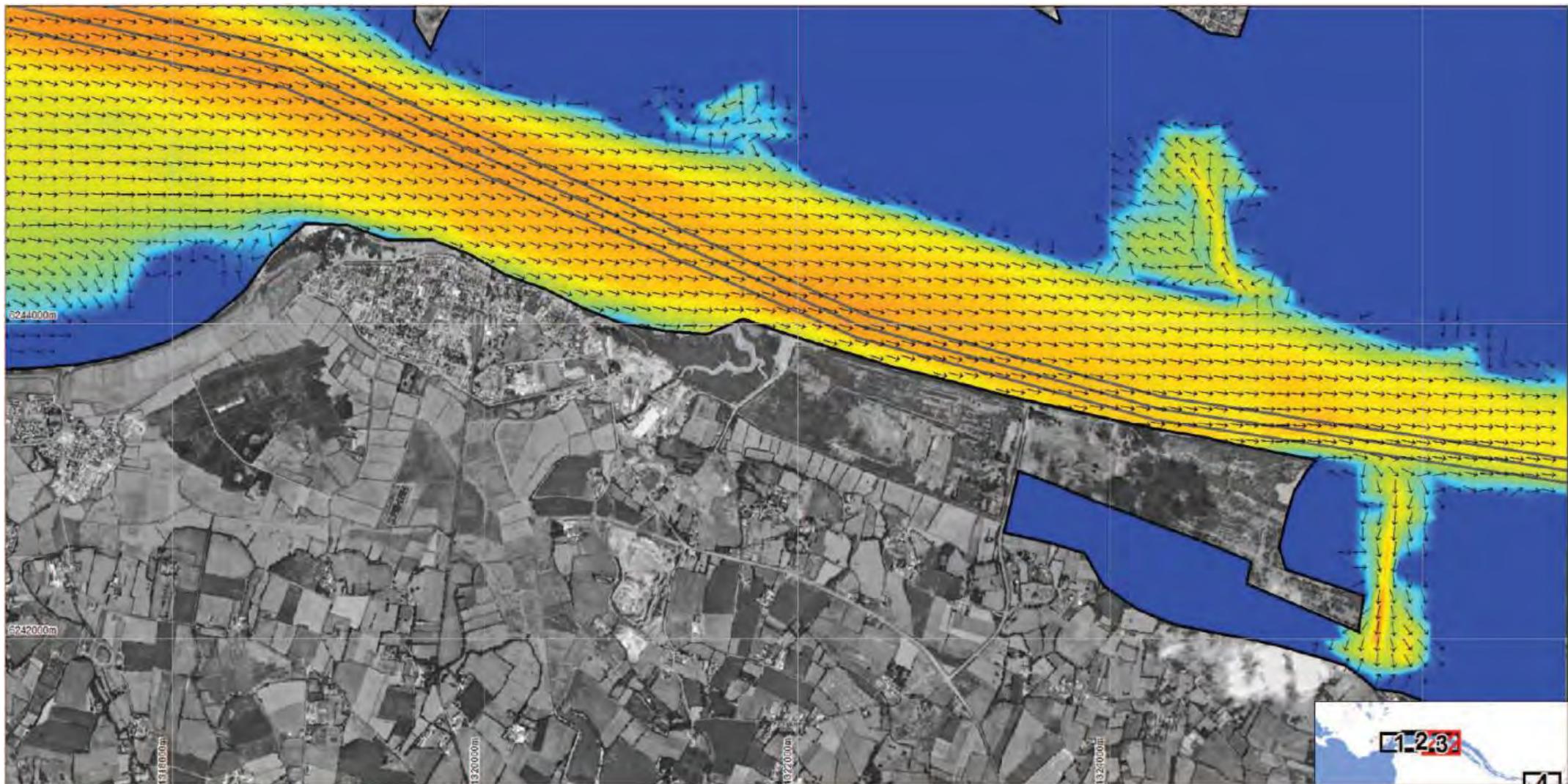
Une modélisation des champs de courants de surface en Loire a été réalisée en 2013. Les champs de courants sont fournis d'heure en heure pour des marées de coefficients 44, 73 et 94 et, dans chaque cas, pour trois débits de Loire (200, 850 et 3100 m³/s).

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des intensités des courants à PM-3h et PM+5h (autour des maximums de flot et de jusant) pour une marée de coefficient 94 et les trois débits de Loire (200, 850 et 3100 m³/s) dans le chenal de navigation au droit du Carnet [ARTELIA, 2013].

Tabl. 11 - Valeur des intensités de courants au droit du Carnet dans le chenal de navigation (m/s) [ARTELIA, 2013]

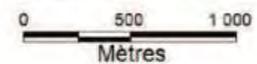
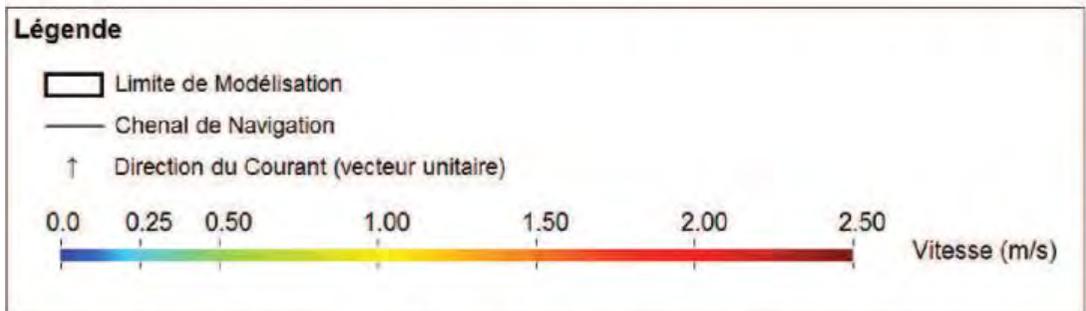
Débit de Loire considéré (m ³ /s)		200	850	3 100
Marée de coefficient 94	PM-3h	~ 1,5 - 2 m/s	~ 1 m/s	~ 0.25 - 0,5 m/s
	PM+5h	~ 1 - 1,5m/s	~ 1,5 m/s	~ 2 - 2,5 m/s

Les cartes pages suivantes, extraites de l'atlas cartographique produit, présentent les résultats de la modélisation pour la marée de coefficient 94 à PM-3h et PM+5 h et le débit en Loire de 850 m³/s.



Amorces du carroyage en Lambert 93 - Zone 6 (CC47)

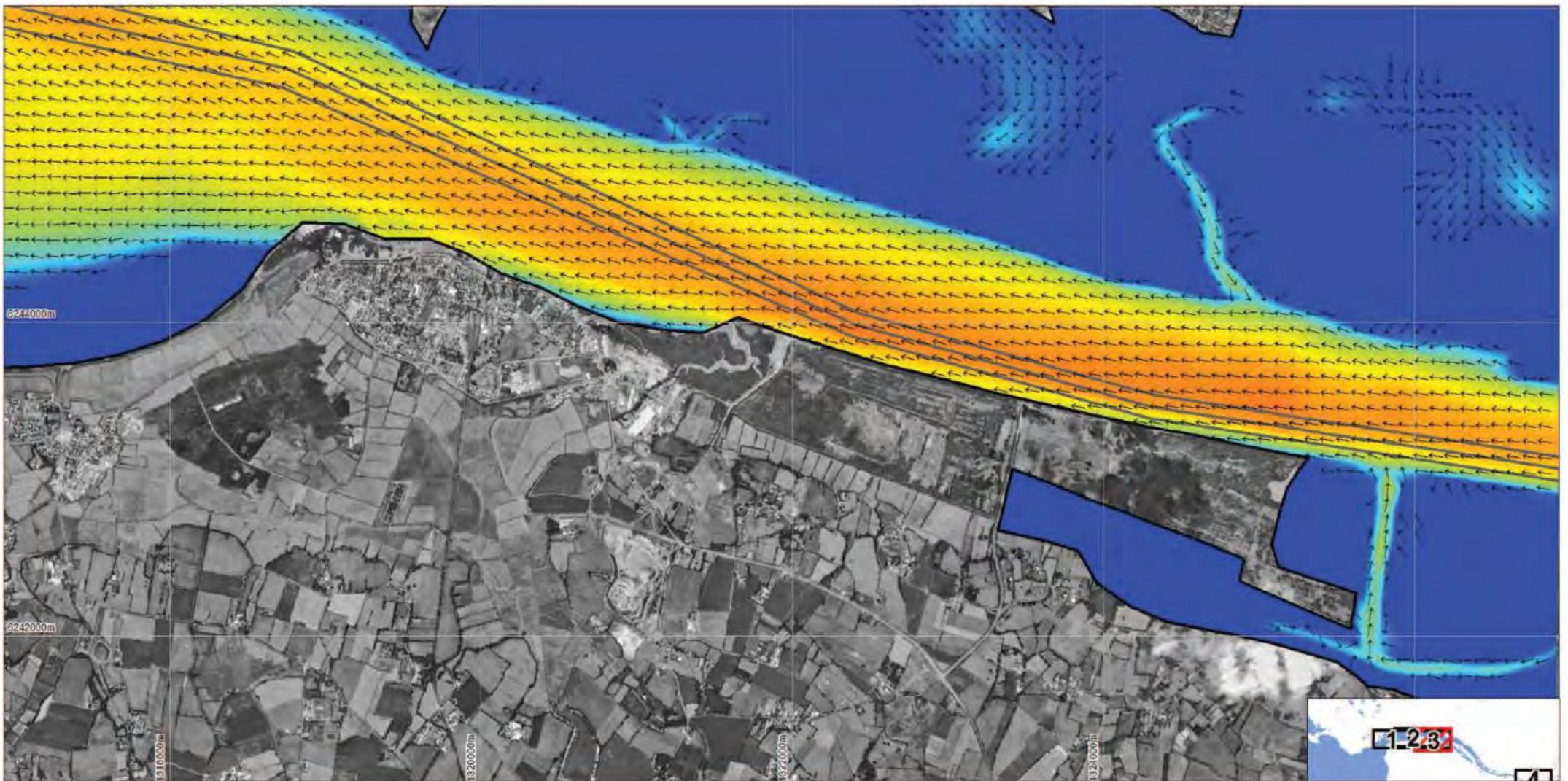
Fond de plan : Ortho Photo ©



**PM - 3 h / BM + 2.4 h
à Saint-Nazaire**

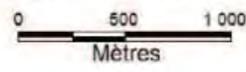
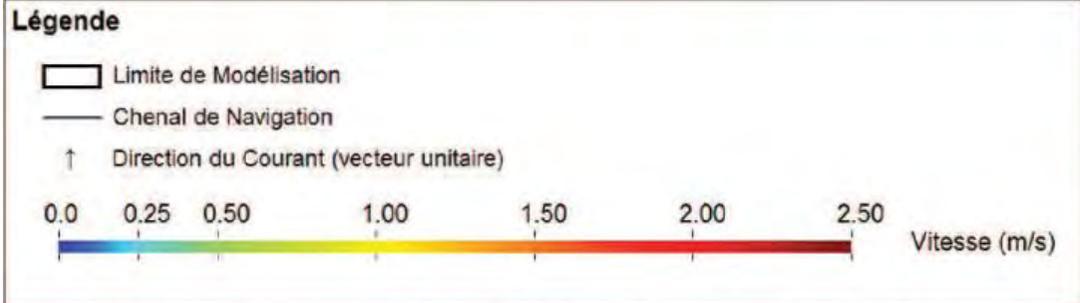
GPMNSN	
<p>Courants de surface en Loire Corsept - Le Carnet</p>	
	Affaire : 8 41 0272 Date : Jan. 2013 Visa : GCa
ECHELLE: 1 / 25 000 (1cm = 250 m)	Planche 069 -- 3

Coef Marée : 94 du 23/03/2008 Débit en Loire de 850 m³/s



Amorces du carroyage en Lambert 93 - Zone 6 (CC47)

Fond de plan : Ortho Photo ©



**PM + 5 h / BM - 1.9 h
à Saint-Nazaire**

GPMNSN	
Courants de surface en Loire Corsept - Le Carnet	
Affaire : B 41 0272 Date : Jan 2013 Visa : GCa	Planche 077 -- 3
ECHELLE 1 / 25 000 (1cm = 250 m)	

Coef Marée : 94 du 23/03/2008 Débit en Loire de 850 m³/s

4.5.7. AGITATION

Il existe 2 types d'agitation :

- les houles du large (houles océaniques) qui sont générées par les dépressions océaniques et qui se propagent jusqu'à la côte,
- les clapots locaux, qui sont générés par les vents locaux.

Dans l'estuaire de la Loire, les houles du large sont amorties en pénétrant dans l'estuaire, et n'atteignent pas l'intérieur de l'estuaire. Des études réalisées récemment sur le secteur de Montoir mettent en évidence une hauteur de houle résiduelle inférieure à 0,5 m. Il n'y a pas de houle résiduelle en provenance du large à hauteur du Carnet.

Des clapots peuvent être levés par les vents soufflant dans l'axe de la Loire et bénéficiant d'une longueur d'action de 3 à 4 km. Cependant, du fait de l'orientation de la Loire dans la zone d'intérêt et du régime des vents, les hauteurs des clapots générés restent inférieures à l'agitation due au batillage induite par le passage des navires.

4.5.8. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

La dynamique sédimentaire rend compte des transports de sédiments observés dans la zone d'étude et des conséquences que cela entraîne sur la morphologie des fonds. Cette dynamique a largement évolué au cours du vingtième siècle par suite des interventions humaines résumées aux paragraphes précédents. Elle est maintenant plutôt stabilisée depuis 20 ans.

4.5.8.1. IMPORTANCE RELATIVE DES SABLES ET DES VASES

La Loire est un fleuve qui a historiquement charrié jusque dans sa partie fluvio-maritime (entre Ancenis et Nantes) et sa partie estuarienne (à l'aval de Nantes) des quantités importantes de sables qui ont formé le lit de l'estuaire. Cependant, les extractions massives effectuées au cours du 20^{ème} siècle depuis l'embouchure jusqu'à Ancenis (180 millions de m³ extraits selon l'estimation du GIP Loire Estuaire) ont conduit à une forte réduction des apports de sable dans l'estuaire. Ces extractions ont été définitivement arrêtées fin 1992.

Les apports naturels de la Loire ne parviennent pas à reconstituer le stock à l'amont de Nantes et les sédiments qui arrivent à l'embouchure sont constitués essentiellement de vases (apports pélagiques), même si la part des sables augmente dans les sédiments dragués depuis une dizaine d'années.

4.5.8.2. EVOLUTION DE LA TURBIDITE – DEPLACEMENT DU BOUCHON VASEUX

Dès que les eaux fluviales sont freinées par la marée dynamique, un « piège à sédiments » commence à fonctionner et s'amplifie au fur et à mesure que le régime proprement estuarien s'accroît. Dans la zone de rencontre des eaux de jusant et des eaux de flot, les courants diminuent, voire s'annulent en un point dit « point nodal ». Les particules sédimentaires, jusque-là maintenues en suspension s'agglomèrent sous forme de flocons et tombent sur le fond à la faveur des étales de basse mer.

La quantité de sédiments piégés varie de 0,5 à 1,5 million de tonnes.

Cette masse très turbide s'entretient et se déplace dans l'estuaire interne suivant le coefficient de marée et le débit de la Loire, sous deux formes remarquables qui se déposent en alternance :

- le bouchon vaseux,
- la crème de vase.

Le **bouchon vaseux** est présent en période de vives-eaux, quand les courants créent une forte agitation des eaux et que les étales sont courtes. Il peut osciller d'une vingtaine de kilomètres au cours d'une même marée. Il est repérable, tant en amont qu'en aval, par une brusque chute des concentrations en matières en suspension, tandis qu'à l'intérieur, les turbidités varient de 1 g/l en surface à 30 g/l au fond. Sa position dans l'estuaire est fonction du débit.

La **crème de vase** ne se forme qu'en mortes-eaux, quand les courants atténués et la durée accrue des étales favorisent le dépôt des sédiments du bouchon vaseux. Les turbidités y sont comprises entre 30 g/l et 300 g/l, sur une épaisseur de 1 à 3 m et une longueur de 20 km.

La crème de vase est minimale en crue et en vive-eau (1,5 Mt) et maximale en fin d'étiage et morte-eau (8 Mt). Elle se déplace très peu au cours de la marée. Au-dessus, subsiste un bouchon vaseux très discret et réduit.

Leur position varie selon le débit de la Loire, tandis que leur extension et leur concentration dépendent du coefficient de marée.

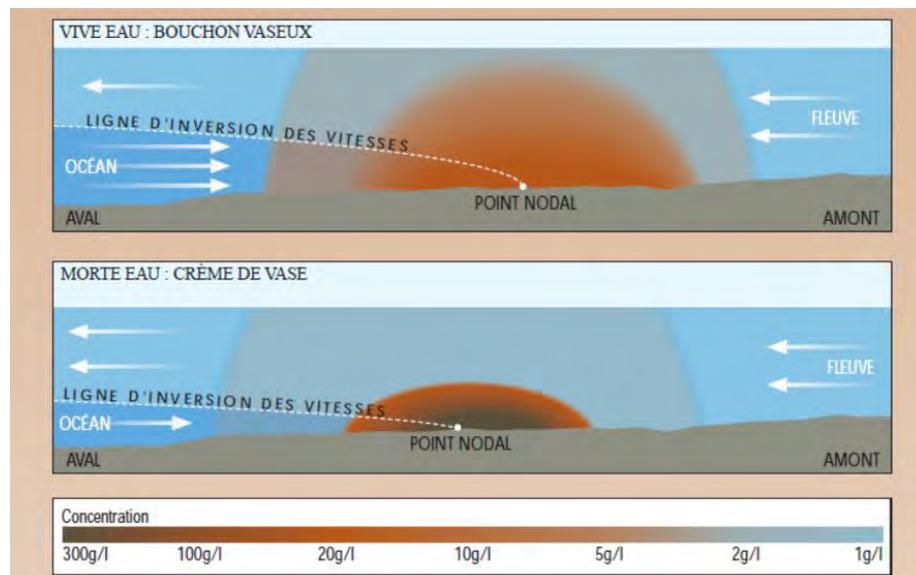


Fig. 26. Formation du bouchon vaseux et de la crème de vase [GIP Loire Estuaire]

Le schéma suivant illustre la position du bouchon vaseux et de la crème de vase selon le débit de la Loire, pour un coefficient de marée donné.

Pour la moitié du temps (débits moyens compris entre 500 et 1 000 m³/s) cette « vase » est centrée entre Donges et Cordemais. Le secteur principalement concerné s'étend de Saint-Nazaire à Couëron, voire plus en amont jusqu'à Nantes et Thouaré en période d'étiage. Pour évacuer l'ensemble de cette vase hors de l'estuaire, il est nécessaire d'observer une crue de 5 000 m³/s.

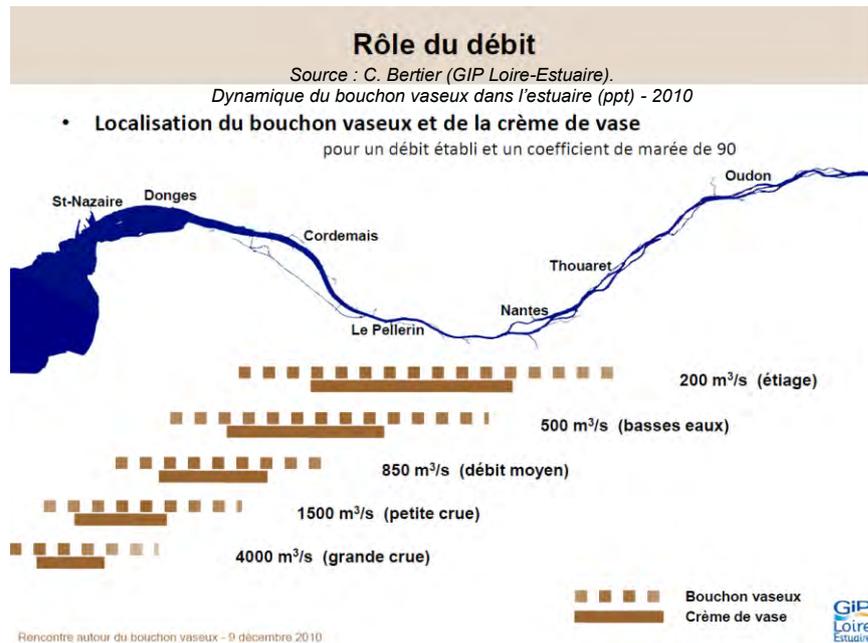


Fig. 27. Localisation du bouchon vaseux et de la crème de vase
[GIP Loire Estuaire]

4.5.8.3. MESURES DE LA CONCENTRATION EN MES DANS L'ESTUAIRE

Le suivi des concentrations en vases dans l'estuaire (appelées aussi matières en suspension = MES) est effectué depuis 2007 en continu grâce à un réseau permanent de mesures nommé SYVEL³, mis en place par le GIP Loire Estuaire.

Ce réseau se compose de six stations réparties tout au long de l'estuaire de la Loire, entre Donges et Nantes (la station de Donges n'a été mise en service qu'en fin 2010), cf. figure suivante. Les stations sont munies de capteurs permettant de mesurer en continu les paramètres suivants :

- température,
- turbidité (concentration en MES),
- conductivité (salinité),
- teneur en oxygène dissous.

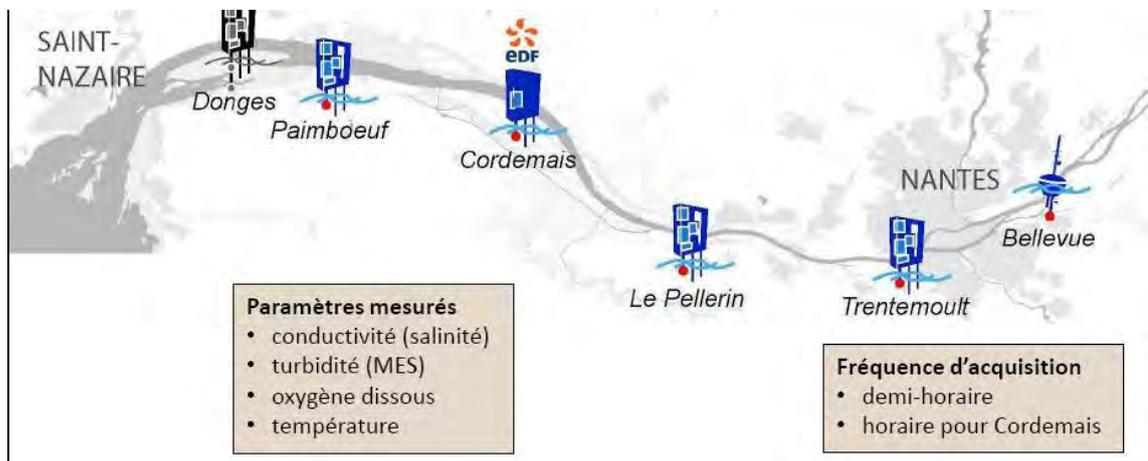


Fig. 28. Localisation du réseau SYVEL sur l'estuaire de la Loire [GIP Loire Estuaire, 2013]

Tous les paramètres sont mesurés en subsurface, à l'exception de la station de Donges, où les paramètres sont mesurés à la fois en surface et à 4 m de profondeur.

Ce système permet de suivre trois phénomènes :

- le bouchon vaseux (zone où la concentration en matières en suspension (MES) dépasse 1 g/l),
- la zone d'hypoxie (zone où la concentration en oxygène dissous descend en-deçà de 5 mg/l),
- le front de salinité (limite de salure des eaux à 1 g/l).

Un exemple de mesures obtenues sur l'année 2010 avec ce réseau est fourni sur la figure page suivante. On observe fréquemment à l'aval de Nantes des concentrations dépassant plusieurs grammes par litres (g/l) ce qui est caractéristique de la présence du système bouchon vaseux – crème de vase. A l'amont de Nantes (station de Bellevue) les concentrations ne dépassent pas quelques centaines de milligrammes et sont représentatives des apports en MES par la Loire.

³ Système de Veille dans l'Estuaire de la Loire mis en service en février 2007.

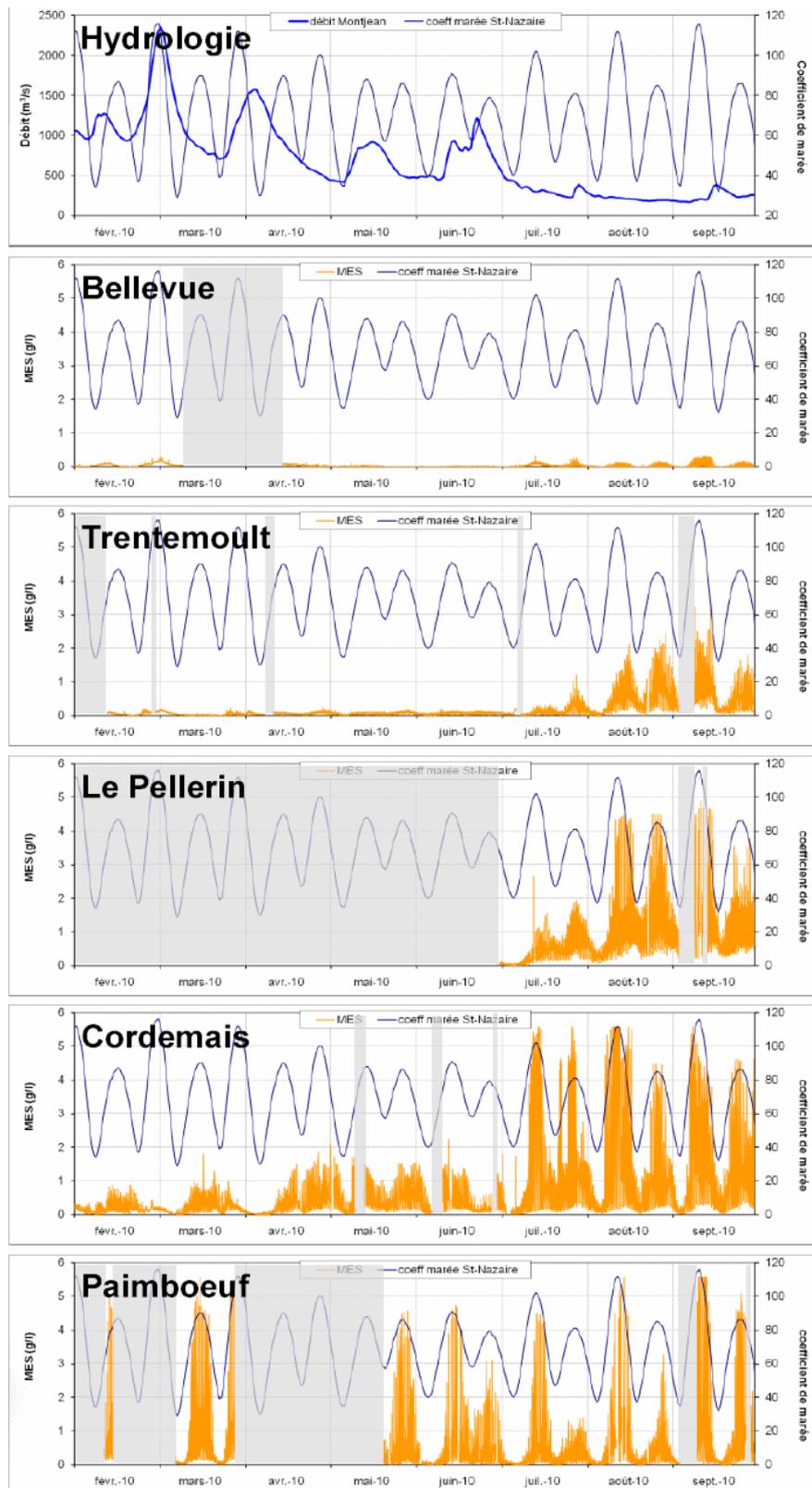
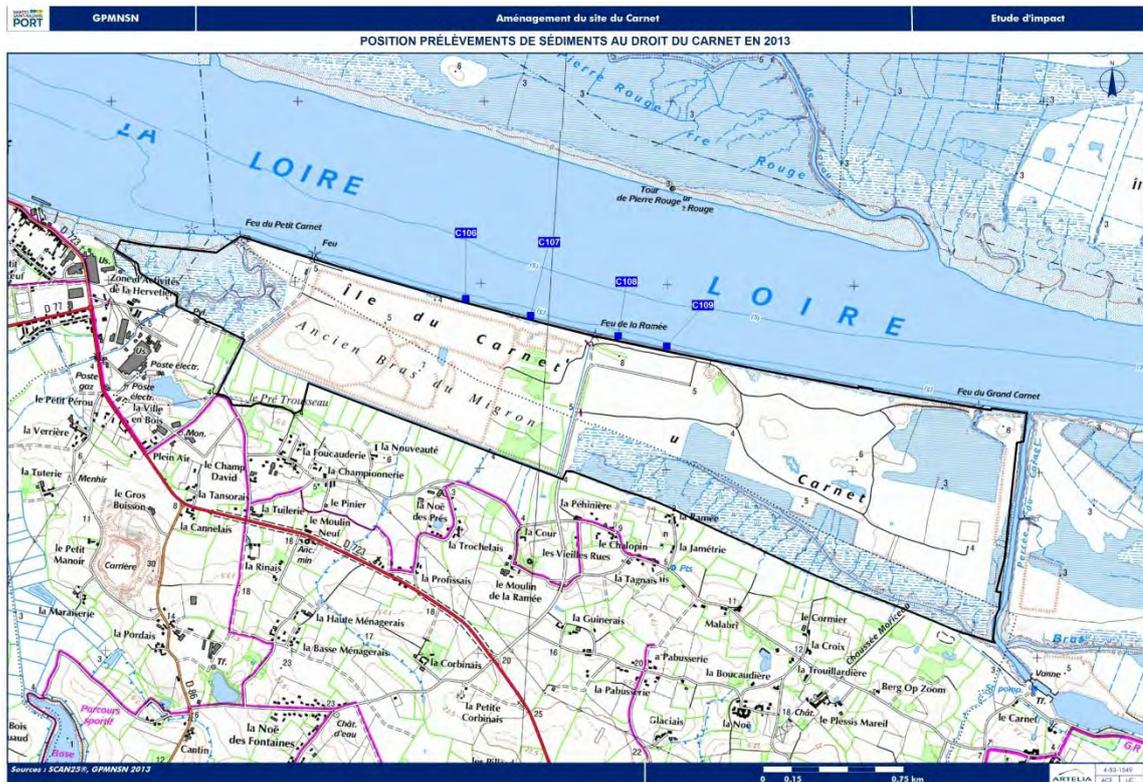


Fig. 29. Suivi du bouchon vaseux par le réseau SYVEL [GIP Loire-estuaire]

4.5.8.4. ANALYSE DES SEDIMENTS DANS L'ESTUAIRE

Les données disponibles sur les sédiments dans l'estuaire correspondent à des prélèvements réalisés dans le chenal de navigation au droit du Carnet en 2010, et au niveau de Cordemais et du Carnet en 2013.



Les analyses ont été réalisées en fonction des paramètres réglementés par l'arrêté du 9 août 2006 pour les sédiments marins et estuariens. Cet arrêté donne des seuils de qualité N1 (seuil inférieur) et N2 (seuil maximal déclenchant la nécessité d'une étude d'impact).

Ces analyses concernent notamment les paramètres suivants :

- Eléments traces métalliques (cuivre, zinc, cadmium, chrome, nickel, plomb, mercure, arsenic) ;
- Polychlorobiphényles (PCB), Hydrocarbures Polyaromatiques (HAP) et tributylétain (TBT).

Les teneurs relevées sont toutes inférieures au seuil N1 de l'arrêté précité, à l'exception de l'arsenic dont la valeur dépasse très faiblement⁴ le niveau de référence N1 sur les trois prélèvements les plus en amont. Ces dépassements du niveau N1 pour l'arsenic sont très fréquents dans l'estuaire, en lien avec le bruit de fond géologique. Les sédiments présents ne présentent donc pas de signe de pollution particulière.

⁴ Pour l'Arsenic, la valeur seuil de N1 correspond à 25 mg/kg. Les valeurs observées pour les quatre prélèvements sont, d'aval en amont, de 9.71, 25.43, 27.45 et 29.43.

4.6. RESEAU HYDROGRAPHIQUE LOCAL

4.6.1. ECOULEMENTS SUPERFICIELS SUR LES COMMUNES DE FROSSAY ET DE SAINT-VIAUD

Les communes de Saint-Viaud et de Frossay appartiennent au bassin versant de la Loire qui draine leurs eaux de ruissellement. Seule la partie sud de Saint-Viaud est drainée par le Boivre, qui rejoint directement l'Océan Atlantique au sud de Saint-Brévin.

L'essentiel des écoulements de ces deux communes est capté par de petits cours d'eau qui les acheminent jusqu'à la Loire, notamment via « l'ancien bras du Migron » réduit maintenant au ruisseau du Migron transitant via l'emprise du projet.

La Percée du Carnet reçoit principalement les écoulements des marais de Vue, situés à l'ouest de Frossay, via le canal maritime de la Basse Loire.

Les marais de Saint-Viaud, à l'extrême nord-ouest de la commune, stockent une partie des eaux du territoire communal avant de les acheminer vers le ruisseau de l'Aumondière (3110 ha). Un vannage permet de maîtriser le passage des eaux sous la RD 723, avant rejet dans la vasière de Paimboeuf.

Le ruisseau du Migron draine une partie des eaux de ruissellement qui s'écoulent depuis les reliefs de Saint-Viaud. L'étier de la Bonde constitue le principal « ruisseau » temporaire qui draine ce secteur. L'ensemble des eaux captées par le Migron rejoint soit :

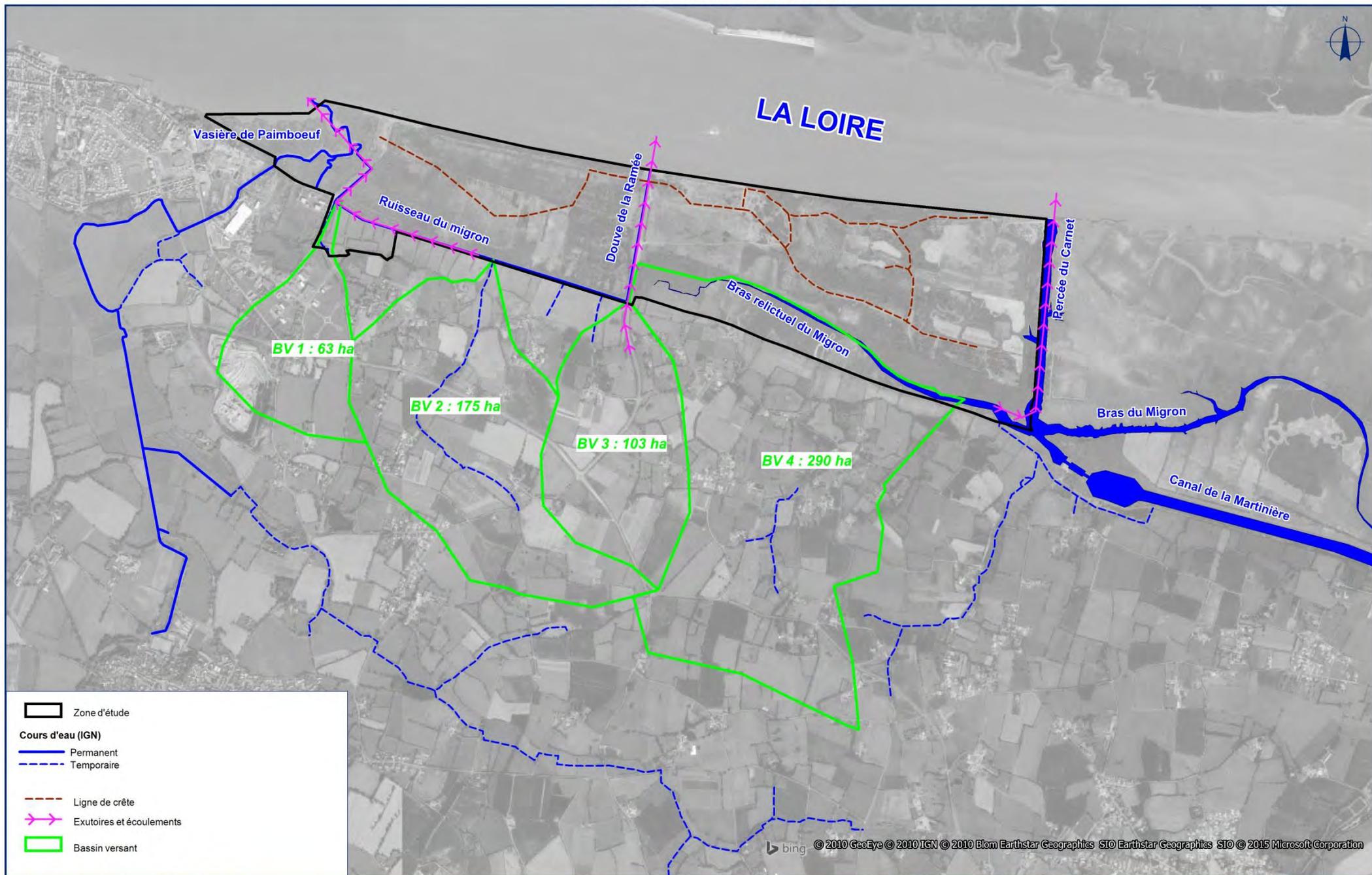
- la Loire au droit de la route de la Ramée, via la douve longeant la voirie (douve de la Ramée),
- la Loire via la vasière de Paimboeuf,
- la Loire via la Percée du Carnet.

L'ensemble de ces exutoires sont interconnectés par des buses dans le cas de fortes pluviométries. Par temps sec, les faibles pluviométries sont acheminées vers ces trois exutoires selon quatre bassins versants.

Tabl. 12 - Emprise des bassins versants et exutoires associés

EXUTOIRE	EMPRISE RUISSELEE ESTIMEE	BASSIN VERSANT CONCERNE
Vasière de Paimboeuf	325 ha	BV1 - BV2 et écoulements directs (ZIP)
Douve de la route de la Ramée	140 ha	BV3 et écoulements directs (ZIP)
Percée du Carnet	340 ha	BV4 et écoulements directs (ZIP)

BASSINS VERSANTS ET EXUTOIRES



4.6.2. RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Du fait du remaniement anthropique de la zone, le réseau hydrographique local est devenu totalement artificialisé. Le site du Carnet laisse apparaître des surfaces temporairement inondées importantes, en périodes hivernale et printanière, illustrant une vaste zone humide.

Trois principaux écoulements sont identifiés sur la zone d'étude :

- le ruisseau du Migron qui sépare la zone remblayée de la zone bocagère via un clapet anti-retour fonctionnel vers la vasière de Paimboeuf ;
- le bras relictuel du Migron sur la partie à l'est de la Route de la Ramée qui rejoint la Percée du Carnet ;
- la douve de la route de la Ramée, qui s'écoule via un clapet anti-retour fonctionnel vers la Loire.

La faune invertébrée présente dans ces trois étiers dépendant de l'estuaire, traduit un caractère oligohalin à l'aval et presque dulcicole à l'amont. D'une manière générale, la faune invertébrée saumâtre reflète celle de l'estuaire [Ouest Am', 2009]. Ces étiers sont considérés comme milieux saumâtres.

4.6.2.1. LES REMBLAIS TEMPORAIREMENT INONDES

Les pentes extrêmement faibles et la nature des terrains (tantôt drainants, tantôt argileux), favorisent les remontées de la nappe alluviale (fonctionnement type « nappe perchée » affleurante en période hivernale et absente en période estivale) et les accumulations lors des épisodes pluvieux. Les fossés situés au pied des talus érigés par les activités humaines représentent les principales zones d'accumulation. Ces dépressions humides temporaires (ou permanentes) occupent une surface relativement vaste mais variable en lien avec les variations saisonnières et interannuelles des précipitations.

Afin d'évacuer les eaux contenues dans les chambres de dépôt des matériaux de dragage, des systèmes de drainage ont été installés en deux endroits : à l'ouest et au nord-est. Le système est constitué de drains verticaux qui jouent le rôle de trop plein (niveau cote fixe) et permettaient ainsi une décantation lors des dépôts de dragages, et des drains horizontaux souterrains reliés au réseau hydrographique aval. Ce système compense ainsi la faible transmissivité des matériaux due à la présence d'argile. Les drains horizontaux passent sous les talus qui encerclent les remblais.

En l'état actuel, ce système peut s'avérer ponctuellement fonctionnel pour l'évacuation des eaux dans le cas de fortes pluviométries. Le rôle de l'évapotranspiration et l'infiltration semblent toutefois dominants sur le périmètre. Pour des forts coefficients de marée, les collecteurs horizontaux peuvent se mettre en charge.



Fig. 30.

Localisation des prises de vues illustrant les accumulations temporaires hivernales [SOGREAH, 2007]



1 - Chemin en bord de Loire



2 - Dépressions en eau en période hivernale



3 - Dépressions en eau en période hivernale



4 - Prairies subhalophiles inondables



5 - Dépressions en eau en période hivernale



6 - Roselières inondables

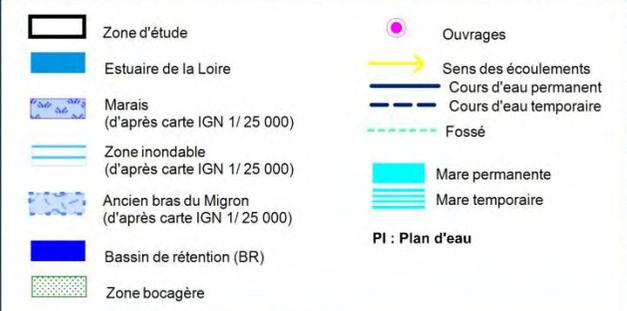
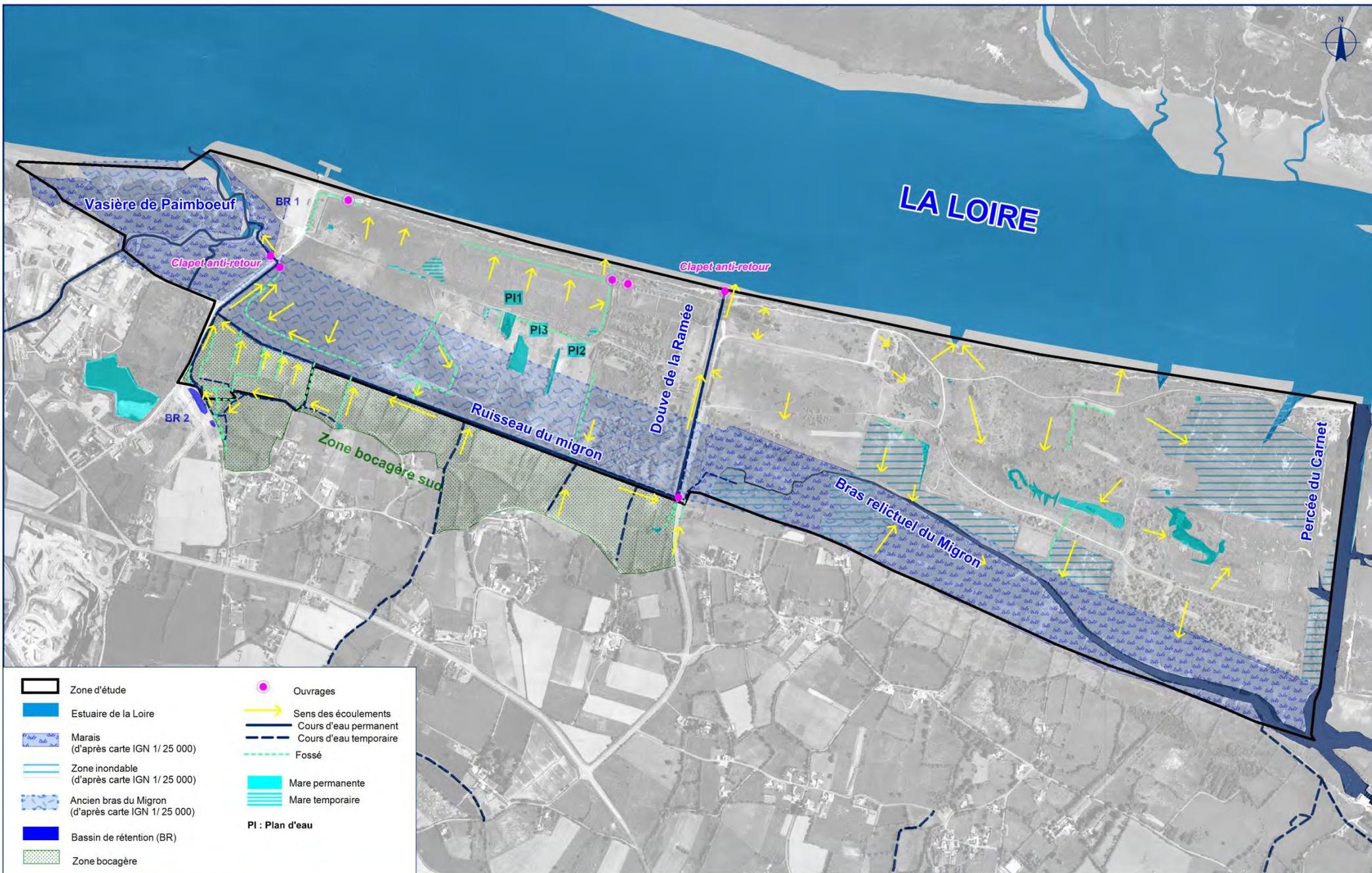


7 - Mares permanentes



8 - Prairies humides fauchées

RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE LOCAL



4.6.2.2. LA ZONE BOCAGERE SITUEE AU SUD

La zone bocagère est délimitée au nord par le ruisseau du Migron, qui s'écoule prioritairement d'est en ouest et récupère au sud-ouest les eaux issues du bassin versant amont (atteignant une surface totale cumulée d'environ 340 ha). Ce bassin intègre également les eaux issues de la zone d'activité située au sud.

Ce réseau hydrographique principal est secondé par un réseau de fossés qui achemine les eaux de ruissellement vers le ruisseau du Migron au nord.

Du fait des faibles pentes, les dépressions humides sont également fréquentes sur cette partie du secteur d'étude, en lien notamment avec le fonctionnement en « nappe perchée ». Les eaux s'accumulent le long des fossés en hiver à cause du faible drainage.

L'eau gravite finalement vers la vasière de Paimboeuf à l'ouest par l'intermédiaire d'un seuil à clapet actuellement hors d'usage. Le ruisseau du Migron est connecté avec la douve de la Ramée. Deux exutoires fonctionnels lors de fortes pluviométries régulent donc le niveau du ruisseau du Migron.

4.6.2.3. PLANS D'EAU PERMANENTS

Il existe trois plans d'eau permanents au centre du périmètre du projet. Leur surface s'élève à 3 300, 6 400 et 2 000 m². Tous les trois sont situés sur la partie centrale (cf. carte de l'hydrographie locale ci-avant), ils ont été aménagés notamment à des fins cynégétiques.

**Fig. 31.****Plan d'eau n°1****Fig. 32.****Plan d'eau n°2****Fig. 33.****Plan d'eau n°3**



Fig. 34. Plan d'eau n°3

Une analyse ponctuelle sur la conductivité des masses d'eau au sein du périmètre ZIP a permis de conclure sur une salinité nulle à très faible. Celle-ci a été réalisée par marée haute le 04 avril 2008 (coefficient de 86).

Les mares et plans d'eau analysés présentent une conductivité faible au vu du contexte estuarien. En effet, les mesures s'échelonnent entre 78 μS et 257 μS . Seule la douve à proximité (et en parallèle) de la Loire et les eaux de la douve de la Ramée sur sa partie basse présentent des conductivités plus fortes, respectivement 495 et 825 μS ⁵.

Les pH notés dans les différents plans d'eau à cette date (temporaires ou permanents) sont situés entre 7.5 et 8.2. Deux analyses présentent des niveaux plus élevés sur la partie est (plans d'eau permanents) à savoir 9.43 et 10.25.

Les plans d'eau permanents (ou temporaires) sont donc à classer dans les eaux douces à légèrement saumâtres pour les faciès les plus proches de la Loire.

4.6.2.4. OUVRAGES HYDRAULIQUES EXISTANTS

Quatre ouvrages hydrauliques principaux influencent les écoulements sur le site du Carnet : deux clapets anti-retours et deux bassins de rétention (les aménagements réalisés dans le cadre du Port à sec sont pris en compte dans la description du projet).

A l'interface avec la Loire, deux clapets anti-retours sont présents du côté ouest de la rue de l'éolienne (route de la Ramée).

⁵ Pour information : gamme de valeur de la salinité en fonction de la conductivité :

	Salinité (g/l)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eau douce	<0.5 à 0.6	<833
Eau douce à très légèrement saumâtre	<1	<1 319
	<1.5	<1 990
Eau légèrement salée	>10	>11 765
Eau salée	>35	>41 176
Eau très salée	>170	>200 000

Le clapet anti-retour situé à l'ouest du site qui débouche sur la vasière de Paimboeuf a été récemment rénové (2011-constat terrain). Les abords de cet ouvrage ont été renforcés au moyen d'enrochements. La finalité de ce nouvel ouvrage est de permettre le déversement du ruisseau du Migron à marée basse dans la vasière de Paimboeuf et de limiter les intrusions d'eau salée à marée haute. Des intrusions d'eau sont néanmoins constatées, lors des marées importantes.

La douve située à l'ouest de la route de la Ramée est connectée à la Loire au droit du feu vert de la Ramée, par l'intermédiaire d'un clapet anti-retour fonctionnel. Cette douve est cependant également marquée par des intrusions d'eaux saumâtres au vu de la végétation halophytique recensée sur la moitié aval et de la montée du niveau d'eau dans la douve lors des marées importantes. L'analyse de la faune invertébrée présente confirme ces constats.

Deux bassins de rétention se situent à proximité de la zone. Le premier, d'une surface de 30 m² (BR1), est situé aux abords de la roselière de Paimboeuf. Il est actuellement abandonné et n'a aucun usage. Il a été créé dans le cadre de la gestion des déchets issus du naufrage de l'Erika en 1999. Le deuxième (BR2) a une emprise de 3 300 m². Son exutoire se jette dans le ruisseau du Migron.

L'évacuation des eaux stockées temporairement sur l'emprise de la ZIP peut être partiellement assurée par les ouvrages « historiques » associés aux dépôts de dragage, cités précédemment.



Fig. 35. Clapet anti-retour sur la vasière de Paimboeuf à marée descendante



Fig. 36. Clapet anti-retour sur la vasière de Paimboeuf à marée basse



Fig. 37. Clapet anti-retour sur la vasière de Paimboeuf à marée haute (coefficient de 95)



Fig. 38. Intrusion saline constatée sur l'ouvrage rénové à marée haute (coefficient de 95)



Fig. 39. Clapet anti-retour sur la douve de la Ramée à marée basse



Fig. 40. Système de drainage des dépôts de dragage



Fig. 41. Clapet anti-retour sur la douve de la Ramée à marée haute



Fig. 42. Intrusion d'eau salée turbide dans la douve de la Ramée



Fig. 43. Vue ouest sur la vasière de Paimboeuf depuis le ruisseau du Migron [SOGREAH, 2011]

4.6.2.5. LE RUISSEAU DU MIGRON

La zone d'étude est en partie située sur l'emplacement de l'ancien bras du Migron. Celui-ci faisait, jusque dans les années 1970, partie intégrante du lit actif de la Loire. Son cours s'étendait alors de Paimboeuf à l'île des Masses, sur une distance de 16,6 km.

Les nombreux travaux de dragage, d'approfondissement de la Loire et de suppression des seuils rocheux depuis le 17^{ème} siècle provoquèrent un envasement progressif du bras du Migron. Les remblaiements dus aux dépôts volontaires de produits de dragage à partir des années 1970 sur l'île du Carnet vinrent achever l'assèchement de ce cours d'eau.

Le bras relictuel du Migron mesure actuellement 12,8 km. Il relie désormais l'île des Masses à la Percée du Carnet. Le tronçon du Migron associé à l'île du Carnet est à présent comblé. Subsiste dorénavant un ruisseau soumis au régime des marées (dénommé Ruisseau du Migron – carte réseau hydrographique local).

La largeur du lit du Migron varie également assez fortement selon le tronçon considéré. La largeur totale historique a atteint jusqu'à 200 m par endroits. Actuellement, le lit mineur du Migron est en partie endigué sur le site du Carnet (emprise de la ZIP) et il n'excède pas 1,5 m de largeur. Certaines parties du cours d'eau sont plus ou moins comblées et en voie de colonisation par des roselières.

Un projet de réhabilitation du bras du Migron a par ailleurs été étudié au début des années 2000 (SCE, 1998-2000). Le scénario envisagé consistait à restaurer son cours actuel hormis pour le secteur du site du Carnet. L'exutoire via la Percée du Carnet était conservé. Le canal maritime aurait joué un rôle dans la réalimentation en eau du Migron.

Sur le site du Carnet était alors proposée la création de plans d'eau (faible profondeur) à des fins ornithologiques sur le cours actuel du ruisseau du Migron. Ce projet a été abandonné en raison des coûts de réalisation et de fonctionnement (dragages d'entretien) particulièrement lourds.

4.6.2.6. INFLUENCE DES MAREES SUR LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE LOCAL

Il a été vu précédemment que la zone bocagère se situait sur une zone inondable lors des événements climatiques rares (conjonction grande marée et tempête).

Toutefois, l'effet de la marée se fait également sentir lors des périodes de coefficient plus faible. A marée haute, les eaux pénètrent dans le ruisseau du Migron et occupent la totalité de son lit. Ponctuellement, sur des forts coefficients, les systèmes de drainage associés présents au sein du site peuvent permettre l'intrusion des eaux estuariennes sur la zone du Carnet, sans que la végétation soit marquée par un caractère halophile.

Les illustrations suivantes montrent le site du Carnet avant la mise en place du nouveau clapet anti-retour et concernent une marée de coefficient 82 pour les deux premières vues et un coefficient de 94 pour la suivante, le 7 mars 2007.

Une végétation halophytique s'est développée sur la moitié aval de la douve. En effet, au vu des cotes du ruisseau actuel (entre 5 et 6 m CM), l'intrusion des eaux souterraines se faisait à partir d'une marée moyenne (PM coefficients 60 à 70).



Vue ouest depuis le ruisseau du Migron sur la vasière de Paimboeuf avant la réalisation des travaux sur le clapet anti-retour



Vue nord depuis l'exutoire du ruisseau du Migron vers la vasière de Paimboeuf



Vue sud-est sur le ruisseau du Migron et les prairies de la Ramée (partiellement inondées)



Ouvrages de drainage historiques des dépôts de dragage partiellement en eau (exutoire vers la vasière de Paimboeuf)

Fig. 44. Photographies du site d'étude – 7 mars 2007. [SOGREAH, 2007]

4.7. LA QUALITE DES EAUX

4.7.1. LES PRINCIPAUX RESEAUX DE SUIVI DE QUALITE DE L'EAU EXISTANTS

4.7.1.1. RESEAUX DE MESURES DE L'AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE

L'Agence de l'eau Loire Bretagne gère, au sein d'une base de données (OSUR) l'ensemble des informations recueillies dans le cadre de la surveillance de la qualité des cours d'eau, des plans d'eau et des eaux côtières. Le tableau suivant synthétise les différents réseaux de mesures utilisés.

Tabl. 13 - Réseaux de mesures de la qualité des eaux

Réseaux	Maître d'ouvrage
Réseaux Contrôle de Surveillance (RCS)	Agence de l'eau Loire Bretagne /DREAL/ONEMA
Réseaux Contrôle Opérationnel (RCO)	Agence de l'eau Loire Bretagne/DREAL/Départements
Réseaux départementaux	Départements
Réseaux Complémentaire Agence (RCA)	Agence de l'eau Loire Bretagne

Sur la base des résultats de ces suivis, l'Agence de l'eau évalue l'état de la ressource en eau à l'échelle des masses d'eau ; unités hydrographiques définies par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

4.7.1.2. RESEAU SYVEL (SYSTEME DE VEILLE DANS L'ESTUAIRE DE LA LOIRE)

Le réseau SYVEL (SYstème de Veille dans l'Estuaire de la Loire) a été mis en place au début de l'année 2007 par le GIP Loire Estuaire spécifiquement pour le suivi du bouchon vaseux dans le cadre de la dynamique estuarienne. Les paramètres mesurés sont la température, la conductivité, la turbidité et la concentration en oxygène dissous.

4.7.1.3. SUIVIS LITTORAUX

Pour le suivi des eaux côtières et de transition (eaux estuariennes), des paramètres spécifiques entrent dans la caractérisation de l'état des masses d'eau. Ces paramètres correspondent entre autres aux ulves, aux phytoplanctons, à la microbiologie, ...

D'autres réseaux de suivis quantitatifs et/ou qualitatifs (dires d'experts), sont ainsi mis à contribution pour la détermination de l'état des eaux faite par l'Agence de l'Eau. C'est le cas des suivis de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), du CEVA (Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues), de l'Agence Régionale de la Santé, ...

4.7.2. QUALITE GENERALE DES EAUX : LES MASSES D'EAU CONCERNEES PAR LE PROJET ET LEUR OBJECTIF REGLEMENTAIRE

4.7.2.1. RAPPEL DES NOTIONS DE MASSE D'EAU ET D'OBJECTIFS VISES

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE n° 2000/60/CEE) demande aux Etats membres de tendre vers un « bon état » des eaux et d'atteindre ce « bon état écologique » ou un « bon potentiel écologique » dans le cadre d'un calendrier précis (2015 - avec une échéance maximale de 2027).

La Directive Cadre sur l'Eau a également introduit la notion de masses d'eau. Les masses d'eau correspondent à des unités ou portions d'unités hydrographiques ou hydrogéologiques constituées d'un même type de milieu : rivière, estuaire, nappe, ... C'est à l'échelle de ces masses d'eau que va s'appliquer l'objectif de « bon état ».

Le schéma suivant décrit la méthodologie utilisée pour fixer l'objectif de qualité selon le type de « masse d'eau » :

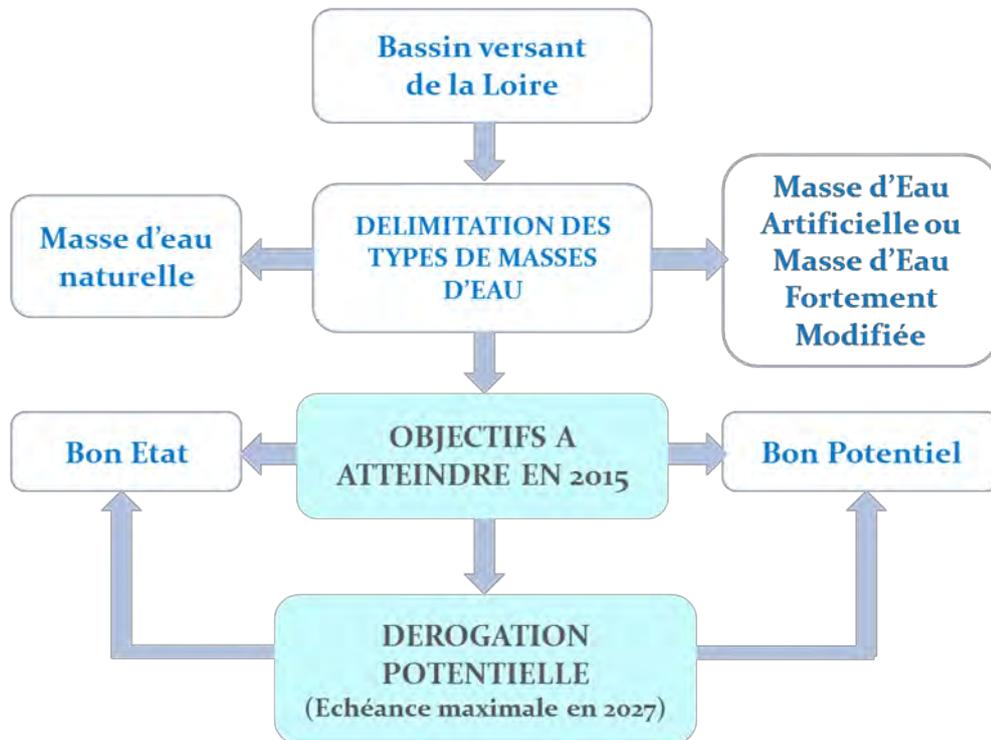


Fig. 45. Directive Cadre sur l'Eau - Schéma de principe

Les prescriptions de la DCE sont transcrites en France dans les Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), ainsi que dans les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) qui définissent les actions nécessaires pour aboutir au « bon état » des cours d'eau en 2015 ou, le cas échéant, avec un report de délai.

4.7.2.2. LES MASSES D'EAU CONCERNEES PAR LE PROJET

Les deux masses d'eau identifiées au droit du projet, sont les suivantes :

- « Estuaire de la Loire » : masse d'eau superficielle de transition (FRGT28). Elle est considérée comme fortement modifiée (MEFM) car elle répond à la définition suivante : « *Cours d'eau navigués - linéaires modifiés par des interventions à des fins de navigation, Urbanisation – zones urbanisées, zones industrielles, Endiguement - réduction de l'espace de liberté du cours d'eau, Endiguement – linéaires modifiés par des interventions à des fins de protection* ».
- « Estuaire - Loire » (FRGG022), masse d'eau souterraine.

A. Objectifs de la qualité de la masse d'eau de transition et système d'évaluation

Le MEEDAAT (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire) a publié en mars 2009 un « **Guide technique pour l'évaluation de l'état des eaux douces de surface de métropole** ». Les objectifs définis dans ce guide ont été repris par l'**arrêté du 25 janvier 2010** relatif aux « méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface ». Bien qu'inspirés par le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux établi par l'Agence de l'Eau, ces nouveaux objectifs se sont ainsi substitués à l'ancien « Seq-Eau ».

L'évaluation de l'état écologique des masses d'eau de transition repose sur l'analyse de paramètres biologiques et physico-chimique.

Les paramètres biologiques pris en compte sont les suivants :

- chlorophylle a,
- invertébrés benthiques,
- macroalgues,
- angiospermes,
- poissons.

Les seuils de qualité de ces indices sont renseignés par l'arrêté du 25 Janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R.212-10, R.212-11 et R.212-18 du Code de l'Environnement.

L'élément physico-chimique pris en compte dans la détermination de l'état des masses d'eau de transition est l'oxygène dissous.

Il convient de noter que pour les éléments température, salinité, turbidité, les estuaires étant par définition des zones subissant de très fortes et fréquentes variations, ces éléments ne sont pas pertinents pour la définition de l'état global des masses d'eau de transition (annexe 6 de l'arrêté du 25/01/2010).

B. Objectifs de la qualité de la masse d'eau souterraine et système d'évaluation

L'état des masses d'eau souterraines est évalué sur la base de critères à la fois quantitatifs et qualitatifs fixés par l'arrêté du 17 Décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines.

L'état quantitatif s'appuie, sur l'historique des niveaux des nappes mesurés dans le cadre des réseaux piézométriques.

L'état chimique repose sur les principaux paramètres physico-chimiques responsables d'une dégradation : nitrates, pesticides, micropolluants (métaux comme le plomb ou l'arsenic, ou organiques tels que les hydrocarbures aromatiques, ...). Seulement deux classes d'état sont distinguées pour les eaux souterraines : bon état ou état médiocre.

C. Qualité des masses d'eau concernées

a) Masse d'eau superficielle de transition FRGT28

L'objectif assigné aux MEFM est l'atteinte du « bon potentiel écologique », correspondant au bon état de la masse d'eau naturelle de laquelle elle se rapproche le plus.

Le tableau ci-dessous présente, pour la masse d'eau de transition « La Loire » :

- son état écologique global,
- la caractérisation des paramètres macroalgues ulves et physico-chimiques, utilisés pour la définition de l'état écologique global,
- la notion de risque de non-atteinte du Bon Potentiel pour 2015,
- le délai d'atteinte du Bon Potentiel assigné à la masse d'eau.

Ces éléments sont issus des données de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne (2008-2009).

Tabl. 14 - Qualité de la masse d'eau de transition « Estuaire de la Loire » n°FRGT28 (Agence de l'eau Loire-Bretagne, données 2010-2011)

MASSE D'EAU DE "TRANSITION"				Evaluation de l'état de la masse d'eau Données 2010-2011		Caractérisation du risque de non atteinte de l'objectif de bon état						Objectif de bon état et délai d'atteinte de l'objectif			
Nom SAGE	Code du BV masse d'eau	Nom du BV de masse d'eau	Type ME	Etat écologique	Etat chimique	Global	Nitrate, Ulve	PO4NH4, Phytoplancton Toxique	P et N, Phytoplancton	Micropolluants	Morphologie	Échéance d'atteinte du Bon état ou Bon potentiel	Échéance d'atteinte du bon potentiel chimique	Échéance d'atteinte du bon potentiel global	Motivation du report de délai
Estuaire de la Loire	FRGT28	LA LOIRE - MASSE D'EAU DE TRANSITION	MEFM	3	5	-1	1	1	1	-1	1	2015	2027	2027	FT

Classes d'état pour les masses d'eau superficielles :

1	Très bon état
2	Bon état
3	État moyen
4	État médiocre
5	Mauvais état

Caractérisation du risque de non atteinte de l'objectif :

1	Risqué
0	Doute
-1	Risque - Délai et/ou actions supplémentaires
2	Non qualité

Report de délai motivé, conformément à la DCE, par :

CN	Conditions naturelles
FT	Faisabilité technique
CD	Coûts disproportionnés

La masse d'eau de transition « La Loire » est classée en « état écologique médiocre » avec un indice de confiance moyen.

Très peu de masses d'eau côtières ou de transition ont un niveau de confiance élevé. D'après l'agence de l'eau, la définition nationale et européenne des indicateurs était encore très partielle au moment de l'évaluation. Certains indicateurs font encore défaut, d'autres ont été évalués à dire d'expert, notamment les ulves. Les données sont donc à relativiser.

La masse d'eau est ainsi évaluée en état écologique « médiocre », et en « mauvais état chimique ».

Ainsi, l'objectif environnemental assigné à la masse d'eau est l'atteinte du **bon potentiel écologique pour 2015, et du bon potentiel chimique en 2027.**

Le report de délai jusqu'en 2027 dont fait l'objet la masse d'eau « La Loire » a été justifié par un manque de faisabilité technique pour atteindre le bon potentiel chimique.

L'objectif environnemental est ainsi moins strict que le bon état à cause d'une contamination par le benzo(g,h,i)pérylène (HAP considéré comme ubiquiste en application de la directive 2013/39/UE concernant les substances prioritaires).

Le report est également justifié par l'indicateur poisson qui est inférieur au bon état ; la cause de ce déclassement pouvant varier d'un estuaire à l'autre, il a été jugé préférable de reporter l'objectif de bon état tant que l'origine possible du déclassement n'a pas été identifiée.

b) Masse d'eau souterraine FRGG022

Le tableau ci-dessous présente, pour la masse d'eau souterraine « Estuaire - Loire ».

Tabl. 15 - Qualité de la masse d'eau souterraine « Estuaire de la Loire » n°FRGG022 (Agence de l'eau Loire-Bretagne, données 2008-2009)

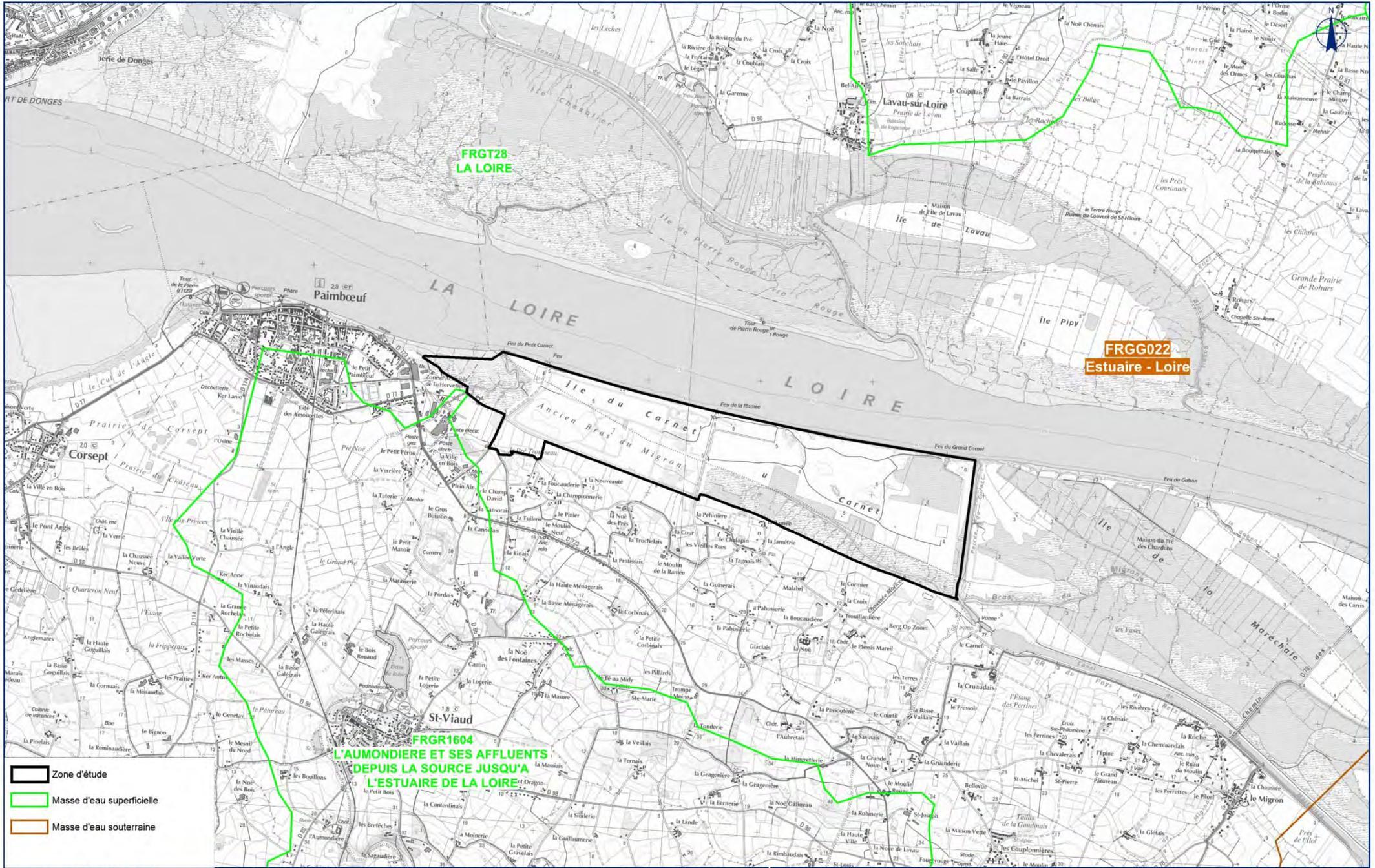
Masse d'eau souterraine			Qualité chimique	Etat quantitatif	Objectif environnemental global	Échéance d'atteinte du Bon Etat	Paramètres du risque de non atteinte
Type masse d'eau	n° de la masse d'eau	nom de la masse d'eau					
Souterraine	FRGG022	Estuaire - Loire	Médiocre	Bon état	Bon Etat	2021	Nitrates, pesticides, Organo-halogénés volatils

La masse d'eau souterraine est évaluée en « bon état » quantitatif, mais en « état médiocre » pour la qualité chimique.

De cette façon, l'objectif environnemental assigné à la masse d'eau est l'atteinte du **bon état global pour 2021.**

Le report de délai jusqu'en 2021 dont fait l'objet la masse d'eau souterraine « Estuaire - Loire » pour atteindre le bon état chimique a été justifié par les conditions naturelles.

MASSSES D'EAU



- Zone d'étude
- Masse d'eau superficielle
- Masse d'eau souterraine

Source(s) : IGN SCAN25®, AELB



4.7.3. LE RESEAU SYVEL – GIP LOIRE ESTUAIRE

Les éléments présentés ici sont issus des bulletins SYVEL disponibles en ligne sur le site du GIP Loire Estuaire.

4.7.3.1. SALINITE

La remontée du sel dans l'estuaire est conditionnée par l'équilibre fleuve - mer. Lors des bas débits, la salinité pénètre davantage dans l'estuaire. Au contraire, lors des crues, elle est maintenue dans la partie aval de l'estuaire.

La salinité augmente progressivement d'amont en aval de l'estuaire de la Loire. Au niveau des stations amont (Bellevue et Trentemoult), la salinité est inférieure à 1 psu⁶. Aux stations intermédiaires (Le Pellerin et Cordemais), la salinité varie entre 1 et 4 psu pour Le Pellerin et entre 2 et 11 psu à Cordemais. Aux stations situées en aval (Paimboeuf et Donges), la salinité est de l'ordre de 5 à 15 psu en hiver et 20 à 30 psu en été.

La salinité suit également une évolution saisonnière et varie ainsi en fonction du débit de la Loire. Quelle que soit la station considérée, la salinité est minimale en hiver, période de crue, et maximale en été, période d'étiage du fleuve. Les salinités des eaux de surface et des eaux profondes (station de Donges) suivent les mêmes évolutions saisonnières. La salinité des eaux de surface observée est toujours inférieure, de l'ordre de quelques psu (3 à 8), à celle des eaux en profondeur.

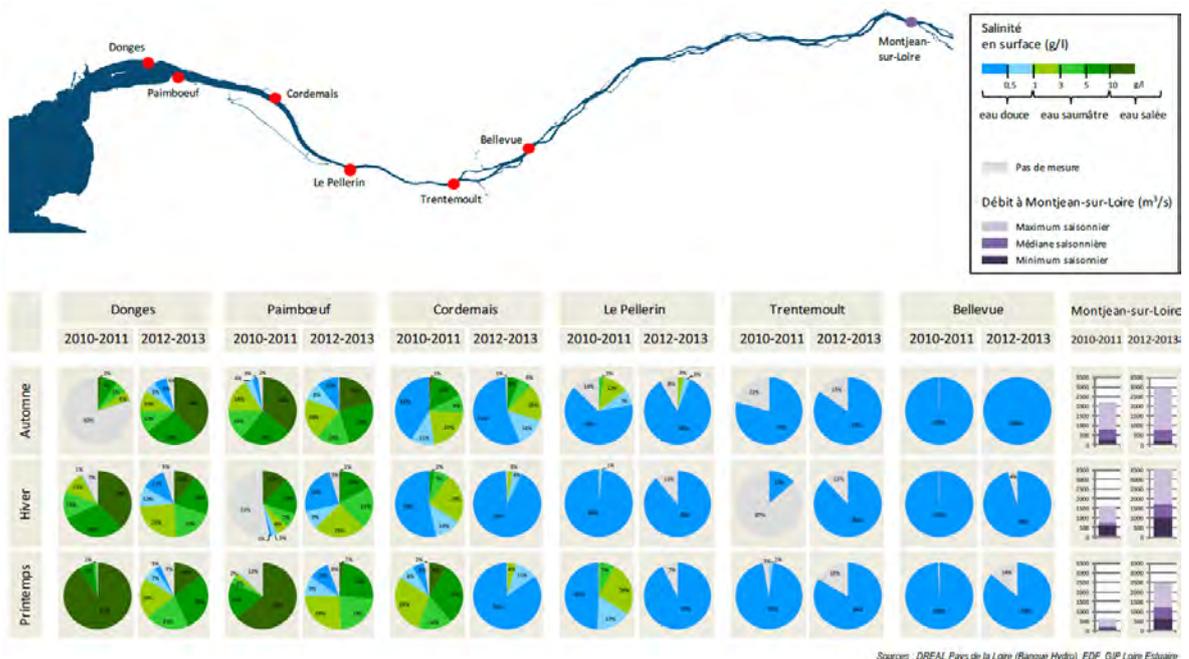


Fig. 46. Répartition saisonnière de la salinité en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]

⁶ psu = practical salinity unit. 1 psu = 1 g de sel par kg d'eau de mer.

4.7.3.2. TEMPERATURE

La température des eaux du fleuve est globalement similaire quelle que soit la station considérée. Ce paramètre suit une évolution saisonnière. Elle est minimale en hiver, de l'ordre de 5 à 8°C et maximale en été, comprise entre 20 et 25°C.

La température des eaux de surface et des eaux plus profondes (station de Donges) est identique et suit les mêmes évolutions saisonnières.

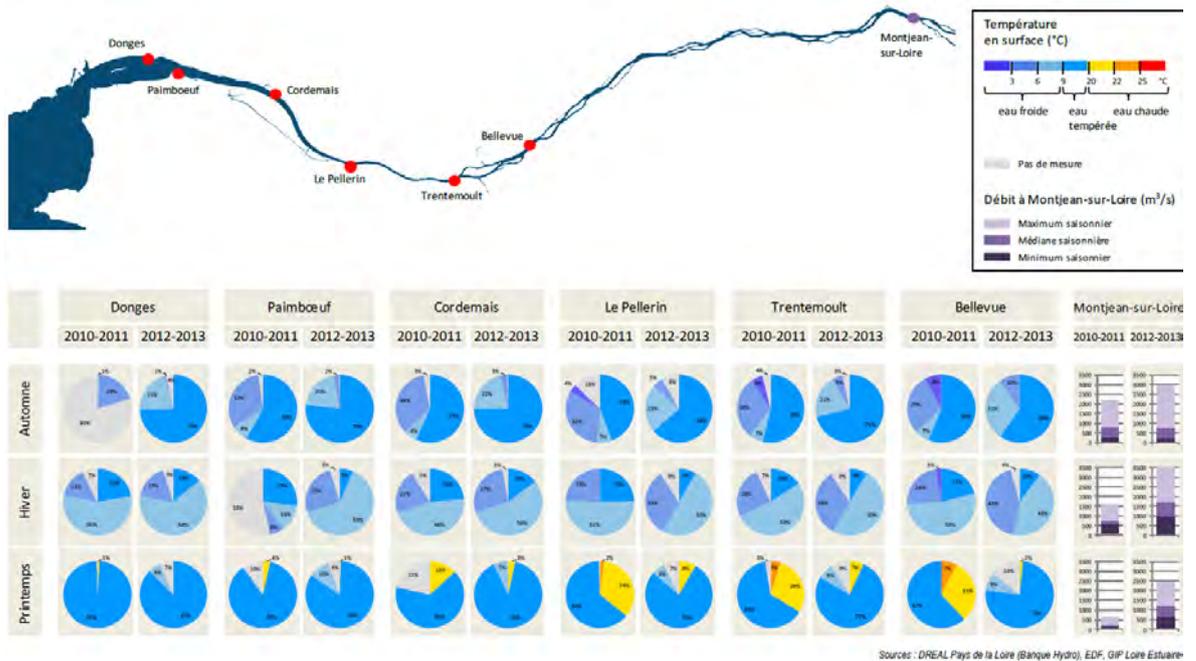


Fig. 47. Répartition saisonnière de la température en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]

4.7.3.3. CONCENTRATION EN MES (PARAMETRE CALCULE A PARTIR DES MESURES DE TURBIDITE)

L'évolution des matières en suspension (MES) le long du fleuve et selon les saisons a été présentée au paragraphe 4.5.8.

A la station de Bellevue, la concentration en MES est faible, inférieure à 0,5 g/l et les évolutions saisonnières de ce paramètre sont peu marquées.

Aux stations de Trentemoult, du Pellerin et de Cordemais, les évolutions saisonnières des concentrations en MES sont plus marquées : la concentration en MES augmente en été et diminue en hiver. Les concentrations en MES sont minimales en hiver et au printemps, inférieures à 0,5 g/l et maximales en été et à l'automne, de l'ordre de 1 à 3 g/l. A Cordemais, les concentrations estivales en MES peuvent atteindre 5 g/l.

A Paimboeuf et Donges, la variation saisonnière est moins marquée que pour les stations situées en amont. La concentration en MES est variable pour ces deux stations, comprise entre moins de 0,5 g/l à 2,5 g/l.

Les concentrations en MES mesurées en surface sont inférieures à celles mesurées en profondeur (station de Donges). La différence observée entre ces deux mesures est de l'ordre de 0,5 à 1 g/l.

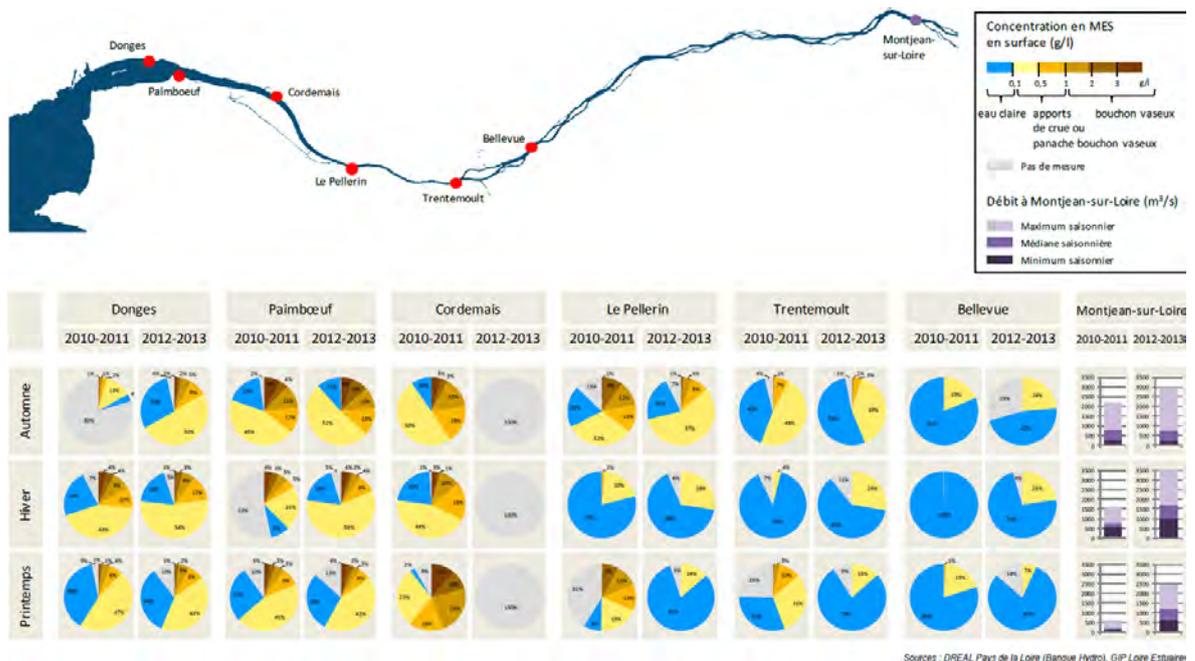


Fig. 48. Répartition saisonnière de concentration en matières en suspension (MES) en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]

4.7.3.4. OXYGENE DISSOUS

Quelle que soit la station considérée, la teneur en oxygène dissous suit les mêmes variations saisonnières dans les eaux de l'estuaire de la Loire :

- en été, l'oxygénation des eaux est minimale, de l'ordre de 2 à 6 mg/l,
- en hiver, l'oxygénation est maximale, comprise entre 10 et 12 mg/l.

Aucune différence de teneur en oxygène dissous n'est observée, que la mesure soit réalisée en surface ou en profondeur (station de Donges).

La zone d'hypoxie (zone où la concentration en oxygène dissous descend en-dessous de 5 mg/l), est présente généralement entre les mois de juillet et septembre. Elle peut arriver précocement dès le mois d'avril si les débits de la Loire sont faibles. Cette zone suit la remontée du bouchon vaseux dans l'estuaire avec la diminution des débits.

Les hypoxies peuvent être de courte durée (inférieure à la durée d'une marée, à pleine mer ou à basse mer, suivant le lieu), ou à l'échelle d'un cycle de marée (crise d'hypoxie lors des marées de coefficient supérieur à 60).

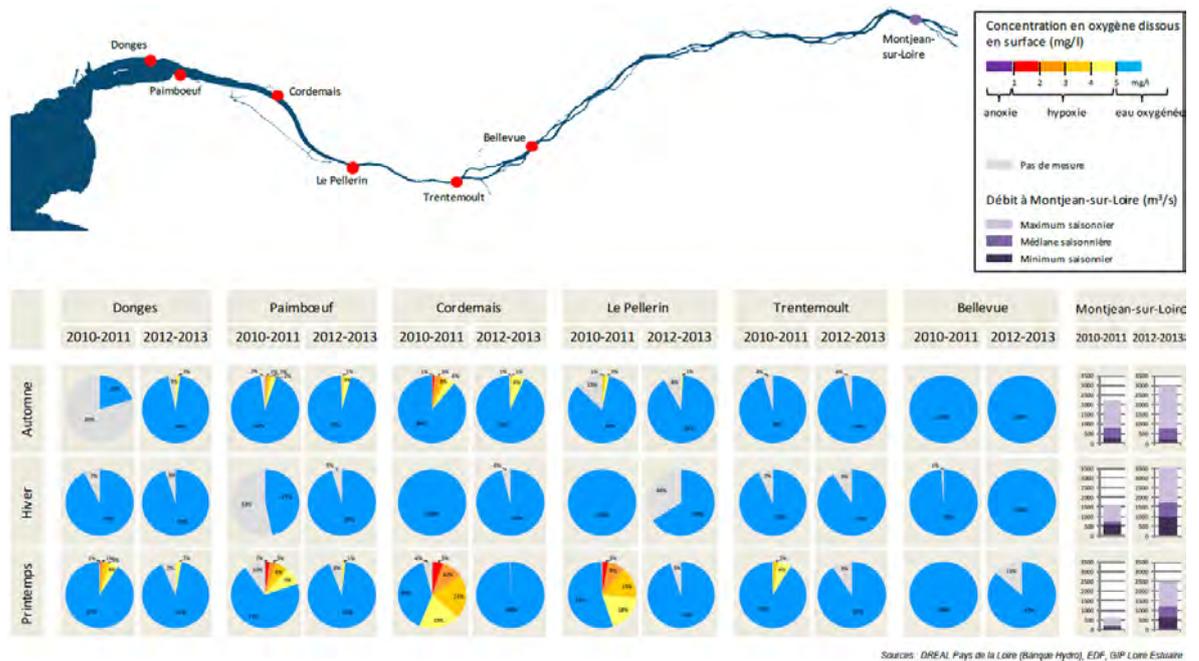


Fig. 49. Répartition saisonnière de la concentration en oxygène dissous en surface, selon les stations, en pourcentage de temps [GIP Loire Estuaire, 2013]