Étude Hydrologie-Milieux-Usages-Climat (HMUC) du SAGE Estuaire de la Loire

Rapport de phase 2

« Volet Hydrologie »

Avec le soutien financier de :

Et l'accompagnement du bureau d'étude :

SUIVI DE DOCUMENT

Rédacteur	Version	Objet	Date
ANTEA – TB/JD	V0	Rapport initial	07/2023
ANTEA - TB	V1	Prise en compte des retours de la maitrise d'ouvrage	02/2024
ANTEA – JD	V2	Prise en compte des retours de la maitrise d'ouvrage	08/2024
ANTEA – JD	V3	Prise en compte des retours de la maitrise d'ouvrage	09/2024

Sommaire

TABLE DES FIGURES 4

TABLE DES TABLEAUX 8

1 INTRODUCTION GENERALE **12**

2 OBJECTIFS DU VOLET « H » ET ELEMENTS PRELIMINAIRES **15**

2.1 LE VOLET HYDRO(GEO)LOGIE : OBJECTIFS ET CONTENU 15
2.2 ELEMENTS PRELIMINAIRES 16
2.2.1 Les critères spatiaux *17*
2.2.2 Les critères temporels *17*

3 ANALYSE DE L'HYDROLOGIE MESUREE ET OBSERVEE **19**

3.1 LE RESEAU HYDROMETRIQUE 19
3.1.1 Localisation et sélection des stations hydrométriques *19*
3.1.2 Analyse des régimes hydrologiques *22*
3.1.3 Analyse spécifique de la période d'étiage *36*
3.2 LE RESEAU ONDE 43
3.2.1 Localisation des sites d'observation *43*
3.2.2 Analyse générale des observations *46*
3.3 LES DONNEES MODELISEES 47
3.3.1 La base de données LOIEAU *47*
3.3.2 Les chroniques modélisées sur les stations RRP - BDMAP *48*

4 RECONSTITUTION DES REGIMES HYDROLOGIQUES AUX EXUTOIRES DES ENTITES **50**

4.1 ELEMENTS INTRODUCTIFS 50
4.2 ENTITE ACHENEAU-TENU 54
4.2.1 Sous-entité du Tenu amont *54*
4.2.2 Sous-entité du Tenu médian *57*
4.2.3 Sous-entité de l'Acheneau et du Tenu aval *57*
4.3 ENTITE BRIERE-BRIVET 60
4.3.1 Sous-entité du Brivet amont *60*
4.3.2 Sous-entité des Marais de Brière *64*
4.4 ENTITE DE L'ERDRE 67
4.4.1 Sous-entité de l'Erdre amont *68*
4.4.2 Sous-entité de l'Erdre aval *76*
4.5 ENTITE GOULAINE – DIVATTE – ROBINETS 91
4.5.1 Sous-entité de la Goulaine *91*
4.5.2 Sous-entité de la Divatte *94*
4.5.3 Sous-entité des Robinets *97*
4.5.4 Sous-entités petits affluents de la Loire *100*
4.6 ENTITE HAVRE – GREE 100
4.6.1 Sous-entité du Hâvre *100*
4.6.2 Sous-entité du Grée *104*
4.6.3 Sous-entités petits affluents de la Loire *107*
4.7 ENTITE DE LA LOIRE ET SES PETITS AFFLUENTS 108
4.7.1 Sous-entité de la Loire *108*
4.7.2 Sous-entité de la Chézine *109*
4.7.3 Sous-entités petits affluents de la Loire *111*
4.8 ENTITE DU LITTORAL GUERANDAIS ET NAZAIRIEN 112
4.8.1 Sous-entité du Littoral Guérandais *112*
4.8.2 Sous-entité du Littoral Nazairien *113*

4.9 ENTITE MARAIS NORD LOIRE 114
4.9.1 Sous-entité Marais Nord Loire 114
4.9.2 Sous-entité des petits affluents de la Loire 117
4.10 ENTITE SUD ESTUAIRE ET COTE DE JADE 118
4.10.1 Sous-entité Sud Estuaire 119
4.10.2 Sous-entité du Boivre 120
4.10.3 Sous-entité Cours d'eau côtiers du Sud de l'estuaire 122
5 SYNTHESE 126

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des sous-entités hydrologiques 16
Figure 2 : Entités hydrogéologiques du territoire 17
Figure 3 : Localisation des stations hydrométriques en activité (vert) et fermées (gris) 20
Figure 4 : Variation du débit moyen mensuel sur la **Loire à Montjean-sur-Loire** sur la période 2000 - 2020 22
Figure 5 : Evolution des QMNA sur la **Loire à Montjean-sur-Loire** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 - 2020 23
Figure 6 : Variation du débit moyen mensuel sur **l'Erdre à Candé – La Grée** sur la période 2000 - 2020 24
Figure 7 : Evolution des QMNA sur **l'Erdre à Candé -La Grée** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 -2020 25
Figure 8 : Variation du débit moyen mensuel sur **l'Erdre à Nort-sur-Erdre** sur la période 2000 - 2020 26
Figure 9 : Evolution des QMNA sur **l'Erdre à Nort-sur-Erdre** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 -2020 27
Figure 10 : Franchissements des débits de gestion de crise sur la période 2000 - 2020 28
Figure 11 : Variation du débit moyen mensuel sur **le Gesvres à Treillières** sur la période 2010 - 2020 29
Figure 12 : Evolution des QMNA sur **le Gesvres à Treillières** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2010 - 2020 30
Figure 13 : Variation du débit moyen mensuel sur le **Hâvre à Mésanger** sur la période 2010 - 2020 . 31
Figure 14 : Evolution des QMNA sur le **Hâvre à Mésanger** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2010 -2020 32
Figure 15 : Variation du débit moyen mensuel sur le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** sur la période 2000 - 2020 32
Figure 16 : Evolution des QMNA sur le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 - 2020 33
Figure 17 : Variation du débit moyen mensuel sur la **Logne à Saint-Colomban** sur la période 2000 - 2020 34
Figure 18 : Evolution des QMNA sur **la Logne à Saint-Colomban** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 -2020 35
Figure 19 : Variation du débit moyen mensuel sur la **Sanguèze à Tillières** sur la période 2000 - 202035
Figure 20 : Evolution des QMNA sur **Sanguèze à Tillières** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 -2020 36
Figure 21 : Illustration de l'étiage pour l'année 2005 sur l'Erdre à Nort-sur-Erdre 37
Figure 22 : Evolution des volumes déficitaires annuels d'étiage sur l'Erdre à Nort-sur-Erdre sur la période 2000 - 2020 41
Figure 23 : Localisation des sites d'observation du réseau ONDE 44
Figure 24 : Localisation des points de suivi des assecs du SAH (maintenant SGLE) sur la sous-entité Tenu amont 45
Figure 25 : Implantation du suivi photographique sur le bassin versant de la Goulaine 45
Figure 26 : Répartition des proportions des écoulements critiques (assecs, non visibles) et visibles (visibles, visibles faibles) 46
Figure 27 : Localisation des stations LOIEAU disponibles sur le territoire et de l'échantillon sélectionné 47
Figure 28 : Localisation des sites RRP-BDMAP ayant fait l'objet d'une modélisation pluie-débit 49

Figure 29 : Synthèse des méthodes de reconstitution des régimes hydrologiques par entités et sous-entités hydrologiques 53
Figure 30 : Carte de contexte de la sous-entité du **Tenu amont** 54
Figure 31 : Débits moyens mensuels interannuels et modules sur le **Tenu amont** 56
Figure 32 : Carte de contexte de la sous-entité du **Tenu médian** 57
Figure 33 : Carte de contexte de la sous-entité de **l'Acheneau et du Tenu aval** 58
Figure 34 : Débits moyens mensuels interannuels et modules sur la Blanche (Acheneau – Tenu aval) 59
Figure 35 : Evolution des QMNA et incertitudes LOIEAU (LO4012) sur le sous-bassin de **la Blanche** sur la période [2000 - 2020] 59
Figure 36 : Carte de contexte de la sous-entité du **Brivet amont** 61
Figure 37 : Débits moyens mensuels interannuels et modules LOIEAU sur le **Brivet amont** 62
Figure 38 : Evolution des QMNA et incertitudes LOIEAU (LO4584) sur le **Brivet amont** sur la période [2000 -2020] 63
Figure 39 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Moulin Foulon** [M8503011] 63
Figure 40 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Canal de la Fleur** [M8503012] 64
Figure 41 : Carte de contexte de la sous-entité des **Marais de Brière** 65
Figure 42 : Réseau de suivi des niveaux d'eau implanté par le SBVB 66
Figure 43 : Représentation schématique du réseau hydrographique du bassin de l'Erdre. 68
Figure 44 : Carte de contexte de la sous-entité de **l'Erdre amont** 69
Figure 45 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin de **l'Erdre amont** 70
Figure 46 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin du **Montagné** 71
Figure 47 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques agrégées (bleu) et LOIEAU (vert) à **l'exutoire de l'Erdre amont** 72
Figure 48 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de **l'Erdre** [M6304311] 74
Figure 49 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de **l'Erdre** [M6325011] 75
Figure 50 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de **la Guinelière** [M6333021] 75
Figure 51 : Carte de contexte de la sous-entité de **l'Erdre aval** 76
Figure 52 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin du **Gesvres** 79
Figure 53 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin du **Cens** 80
Figure 54 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin de **l'Hocmard** 81
Figure 55 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** 82
Figure 56 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4958) sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** sur la période [2000 – 2020] 82
Figure 57 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin du **ruisseau de la Déchausserie** 83

Figure 58 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4960) du **ruisseau de la Déchausserie** sur la période [2000 – 2020] 84
Figure 59 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin **ruisseau des Huppières** 85
Figure 60 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4968) du **ruisseau des Huppières** sur la période [2000 – 2020] 85
Figure 61 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin de **l'Etang Hervé** 86
Figure 62 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4973) de **l'Etang Hervé** sur la période [2000 – 2020] 87
Figure 63 : Débits moyens mensuels interannuels modélisés par agrégation (bleu), LOIEAU (vert) et de la station virtuelle de Saint-Félix (rouge) sur la sous-entité de **l'Erdre aval** 88
Figure 64 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de l'Hocmard [M6340001] 89
Figure 65 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Gesvres** [M6357021] 90
Figure 66 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Cens** [M6357022] 90
Figure 67 : Carte de contexte de la sous-entité de la **Goulaine** 91
Figure 68 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur **la Goulaine** 92
Figure 69 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO9018) de la **Goulaine** sur la période [2000 – 2020] 93
Figure 70 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Gueubert** [M6230001] 94
Figure 71 : Carte de contexte de la sous-entité de la **Divatte** 95
Figure 72 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur la **Divatte** 96
Figure 73 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de la **Divatte** [M6214011] 97
Figure 74 : Carte de contexte de la sous-entité des **Robinets** 98
Figure 75 : Débits moyens mensuels interannuels et module LOIEAU sur la sous-entité des **Robinets** 99
Figure 76 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO7516) des **Robinets** sur la période [2000 – 2020] 100
Figure 77 : Carte de contexte de la sous-entité du Hâvre 101
Figure 78 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur la sous-entité du **Hâvre** 102
Figure 79 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Donneau** [M6204012] 103
Figure 80 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Hâvre** [M6204011] 104
Figure 81 : Carte de contexte de la sous-entité du **Grée** 104
Figure 82 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur la sous-entité du **Grée** 106
Figure 83 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Grée** [M6110001] 107
Figure 84 : Carte de contexte de la sous-entité de **la Chézine** 109
Figure 85 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur **la Chézine** 110
Figure 86 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO733) de la **Chézine** sur la période [2000 – 2020] 110

*Figure 87 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de la **Chézine** [M8000021]* 111
Figure 88 : Carte de contexte de la sous-entité du **Littoral Guérandais** 113
Figure 89 : Carte de contexte de la sous-entité du **Littoral Nazairien** 113
Figure 90 : Carte de contexte de la sous-entité du **Marais Nord Loire** 115
Figure 91 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur **le ruisseau de la Joncherais** (haut) **et la Douve du Pontreau** (bas) 116
Figure 92 : Evolution des QMNA et incertitudes sur les points LOIEAU localisés en amont des marais [2000 – 2020]. Haut : Douve du Pontreau ; Bas : ruisseau de la Joncherais. 117
Figure 93 : Carte de contexte de la sous-entité des **Petits affluents de la Loire des Marais Nord Loire** 118
Figure 94 : Carte de contexte de la sous-entité du **Sud Estuaire** 119
Figure 95 : Carte de contexte de la sous-entité du Boivre 120
Figure 96 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur le **Boivre** 121
Figure 97 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO24494) du **Boivre** sur la période [2000 – 2020] 122
Figure 98 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Boivre** [N000001] 122
Figure 99 : Carte de contexte de la sous-entité des **cours d'eau côtiers Sud Estuaire** 123
Figure 100 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur la **Tabatière** 124
Figure 101 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO19836) de la **Tabatière** sur la période [2000 – 2019] 125

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Critères de paramétrage et performance des modèles pluie-débit sur le Gesvres [M635702301] et le Hâvre [M620401010] 21
Tableau 2 : Indicateurs d'étiage calculés sur la **Loire à Montjean-sur-Loire** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 23
Tableau 3 : Indicateurs d'étiage calculés sur **l'Erdre à Candé – La Grée** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour..... 24
Tableau 4 : Indicateurs d'étiage calculés **sur l'Erdre à Nort-sur-Erdre** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour..... 26
Tableau 5 : Débits seuils de gestion au point nodal de **Nort-sur-Erdre** (SDAGE Loire-Bretagne 2022 – 2027)..... 27
Tableau 6 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Gesvres à Treillières** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour..... 29
Tableau 7 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Hâvre à Mésanger** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour..... 31
Tableau 8 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour..... 33
Tableau 9 : Indicateurs d'étiage calculés sur la **Logne à Saint-Colomban** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour..... 34
Tableau 10 : Indicateurs d'étiage calculés sur la **Sanguèze à Tillières** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour..... 36
Tableau 12 : Quantiles 15 (Q15) des stations hydrométriques..... 37
Tableau 13 : Caractéristiques globales des étiages (la durée correspond à la durée de franchissement du Q15)..... 38
Tableau 14 : Années sans étiage sur les stations du territoire 38
Tableau 15 : Caractéristiques des volumes (Mm3) et lames d'eau déficitaires (mm) calculées sur la période analysée 40
Tableau 16 : Caractéristiques des dates d'entrée en étiage sur les stations analysées 41
Tableau 17 : Caractéristiques des dates de pic de l'étiage sur les stations analysées..... 42
Tableau 18 : Caractéristiques des dates de fin d'étiage sur les stations analysées..... 42
Tableau 19 : Caractéristiques de la durée des épisodes d'étiage sur les stations analysées 42
Tableau 20 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Tenu amont** 54
Tableau 21 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur le **Tenu amont** 55
Tableau 22 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le **Tenu amont** calculées sur la période 2000 - 2020..... 55
Tableau 23 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Tenu amont** sur la période 2000 – 2020..... 56
Tableau 24 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Tenu médian**..... 57
Tableau 25 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **l'Acheneau et du Tenu aval** 58
Tableau 26 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **la Blanche** calculées sur la période 2000 - 2020..... 58
Tableau 27 : Indicateurs d'étiage calculés sur **la Blanche** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour..... 59
Tableau 28 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Brivet amont**..... 60
Tableau 29 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **le Brivet amont** calculées sur la période 2000 - 2020..... 61

Tableau 30 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Brivet amont** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 62
Tableau 31 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Marais de Brière** 64
Tableau 32 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **l'Erdre amont** 68
Tableau 33 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur **l'Erdre amont** 70
Tableau 34 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **le sous-bassin de l'Erdre** sur la période 2000 - 2020 70
Tableau 35 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin de **l'Erdre** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 71
Tableau 36 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Montagné** sur la période 2010 - 2020 71
Tableau 37 : Indicateurs d'étiage calculés sur **le sous-bassin du Montagné** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 72
Tableau 38 : Caractéristiques du régime hydrologique de **l'Erdre amont** sur la période 2010 - 2020 72
Tableau 39 : Indicateurs d'étiage calculés à **l'exutoire de l'Erdre amont** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 73
Tableau 40 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **l'Erdre aval** 76
Tableau 41 : Méthodes employées pour reconstituer les régimes hydrologiques sur les sous-bassins de **l'Erdre aval** 77
Tableau 42 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur **les sous-bassins de l'Erdre aval** 78
Tableau 43 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées à l'exutoire de l'Erdre aval avec la chronique disponible au droit de la **station virtuelle de Saint-Félix**. 78
Tableau 44 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Gesvres** sur la période 2010 - 2020 78
Tableau 45 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **Gesvres** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 79
Tableau 46 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Cens** sur la période 2010 - 2020 79
Tableau 47 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **Cens** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 80
Tableau 48 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin de l'**Hocmard** sur la période 2010 - 2020 80
Tableau 49 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin de l'**Hocmard** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 81
Tableau 50 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** sur la période 2000 - 2020 81
Tableau 51 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 82
Tableau 52 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du ruisseau de la **Déchausserie** sur la période 2000 - 2020 83
Tableau 53 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **ruisseau de la Déchausserie** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 83
Tableau 54 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **ruisseau des Huppières** sur la période 2000 - 2020 84
Tableau 55 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **ruisseau des Huppières** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 85

Tableau 56 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin de **l'Etang Hervé** sur la période 2000 - 2020 86
Tableau 57 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin de **l'Etang Hervé** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 86
Tableau 58 : Caractéristiques du régime hydrologique **à l'exutoire de l'Erdre aval** sur la période 2010 - 2020 87
Tableau 59 : Indicateurs d'étiage calculés sur la sous-entité **de l'Erdre aval** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 88
Tableau 60 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **la Goulaine** 91
Tableau 61 : Caractéristiques du régime hydrologique de **la Goulaine** sur la période 2000 - 2020 92
Tableau 62 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU de la **Goulaine** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 92
Tableau 63 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de la **Divatte** 94
Tableau 64 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU 95
Tableau 65 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **la Divatte** calculées sur la période 2000 - 2020 95
Tableau 66 : Indicateurs d'étiage de la **Divatte** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour . 96
Tableau 67 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité des **Robinets** 97
Tableau 68 : Caractéristiques du régime hydrologique de la sous-entité des **Robinets** sur la période 2000 - 2020 98
Tableau 69 : Indicateurs d'étiage du point LOIEAU des **Robinets** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 99
Tableau 70 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Hâvre** 100
Tableau 71 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU 101
Tableau 72 : Caractéristiques du régime hydrologique sur la sous-entité du **Hâvre** sur la période 2010 - 2020 101
Tableau 73 : Indicateurs d'étiage calculés sur la sous-entité du **Hâvre** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 102
Tableau 74 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Grée** 104
Tableau 75 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur la sous-entité du **Grée** 105
Tableau 76 : Caractéristiques du régime hydrologique sur la sous-entité **du Grée** sur la période 2010 - 2020 105
Tableau 77 : Indicateurs d'étiage calculés sur la sous-entité du **Grée** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour 106
Tableau 78 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de la **Loire** 108
Tableau 78 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de la **Chézine** 109
Tableau 80 : Caractéristiques du régime hydrologique de **la Chézine** sur la période 2000 - 2020 109
Tableau 81 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU de la **Chézine** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 110
Tableau 81 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Littoral Guérandais** 112
Tableau 82 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Littoral Nazairien** .. 113
Tableau 83 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Marais Nord Loire** 114
Tableau 84 : Indicateurs d'étiage calculés sur les points LOIEAU en **amont des marais** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 116

Tableau 85 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité des **Petits affluents de la Loire des Marais Nord Loire** 117
Tableau 86 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité **Sud Estuaire** 119
Tableau 87 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Boivre** 120
Tableau 88 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le **Boivre** sur la période 2000 - 2020 121
Tableau 89 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU du **Boivre** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour 121
Tableau 90 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité des **cours d'eau côtiers Sud Estuaire** 123
Tableau 91 : Caractéristiques du régime hydrologique de la **Tabatière** sur la période 2000 - 2019 .. 124
Tableau 92 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU de la **Tabatière** sur la période 2000 – 2019 et fréquences de retour 124

1 Introduction générale

Le périmètre du SAGE Estuaire de la Loire s'étend sur 3 855 km², hors masses d'eau côtières. Il intègre la Loire, depuis l'amont d'Ancenis jusqu'à l'embouchure vers l'océan Atlantique. Il regroupe également les bassins versants des affluents Erdre, Brivet, Goulaine, Divatte, Robinets, Acheneau, Tenu, les marais du nord Loire, et les fleuves côtiers de Piriac-sur-Mer, au nord, jusqu'à la pointe Saint-Gildas à Préfailles, au sud. Il couvre, pour tout ou partie, 20 intercommunalités et 158 communes des départements de Loire-Atlantique, du Maine-et-Loire et du Morbihan.

Le périmètre du SAGE compte 37 masses d'eau cours d'eau, 3 masses d'eau plans d'eau, 1 masse d'eau de transition, 2 masses d'eau côtières et 6 masses d'eau souterraines. Il ressort des travaux d'évaluation du SDAGE Loire-Bretagne que 89 % des masses d'eau cours d'eau présentaient en 2013 un risque de non atteinte du bon état lié à l'hydrologie. Ce chiffre évolue à la hausse à travers l'état des lieux 2019 du SDAGE 2022-2027 avec 94% des masses d'eau cours d'eau présentant ce risque. Deux masses d'eaux souterraines connaissent un état quantitatif moins que bon : les sables et calcaires du bassin tertiaire de Machecoul et ceux de Nort-sur -Erdre.

La récurrence des épisodes de sécheresse ces dernières années a accentué le constat d'un manque de connaissance sur les besoins en eau, les ressources disponibles et les conséquences du changement climatique sur le territoire, de manière globale et à l'échelle des sous-bassins versants. Cette préoccupation est renforcée par plusieurs éléments inhérents au territoire : la nature du sol peu propice au soutien d'étiage, la dépendance à la Loire qui constitue la principale ressource en eau, la forte densité de plans d'eau pouvant avoir un impact cumulé important, la saisonnalité des prélèvements avec des besoins plus élevés en période de basses eaux, etc.

Pour ces raisons, le nouveau SAGE Estuaire de la Loire intègre un enjeu thématique dédié à la « gestion quantitative et à l'alimentation en eau potable », ainsi qu'un enjeu transversal concernant le changement climatique.

Dans ce contexte, la disposition GQ1-1 du nouveau SAGE introduit la réalisation d'une étude HMUC (Hydrologie, Milieux, Usages, Climat) sur le périmètre, conformément à la méthodologie recommandée par le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 (et développée dans sa fiche de lecture 6.1), et reprise dans le SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027.

L'engagement de cette étude doit permettre **d'approfondir la connaissance de la ressource quantitative sur le territoire**, dans un contexte de changement climatique, afin d'aboutir à la définition de débits objectifs d'étiage, de volumes prélevables qui pourraient être répartis entre les différents usagers, et de conditions de prélèvements hivernaux.

Cette étude HMUC comporte 4 phases distinctes :

- **Phase 1** : Appropriation du territoire ;
- **Phase 2** : État initial et diagnostic des volets Hydrologie, Milieux, Usages, Climat ;
- **Phase 3** : Définition des débits objectifs d'étiage, proposition de scénarios de volumes prélevables et analyse des conditions de prélèvements hivernaux pour caractériser les entités hydrologiques ;
- **Phase 4** : Limites et perspectives de l'étude.

Sur le plan technique, l'étude HMUC est composée de 4 volets qui sont croisés lors du diagnostic :

- ✓ **H - Analyse Hydro(géo)logique** : caractérisation du fonctionnement de l'hydrologie en particulier en étiages ; caractérisation du fonctionnement des eaux souterraines, de la piézométrie et analyse de la variation du niveau des nappes ; etc.

- ✓ **M - Analyse du Milieu** : caractérisation de l'état des milieux & détermination des débits écologiques (débits qui permettent le maintien de la vie aquatique en période de basses eaux, et qui prennent en compte l'objectif d'atteinte du bon état des masses d'eau de la DCE).

- ✓ **U - Analyse des Usages de l'eau** : caractérisation fine des prélèvements et des restitutions au milieu, des transferts d'eau entre les entités du SAGE et au-delà du SAGE, des usages dépendants de l'eau, des aménagements modifiant l'hydrologie (plans d'eau, ...) ; prospective d'évolution des usages ; analyse des modalités de gestion de la ressource.

- ✓ **C - Analyse des effets du changement Climatique** : caractérisation du climat et son évolution passée et future ; qualification des impacts sur l'hydrologie et la recharge des nappes.

Ce rapport présente les premiers éléments de résultats du volet « Hydrologie » de la phase 2 de l'étude, à savoir :

- La description et la caractérisation des sites de suivis hydrométriques ;
- L'analyse spécifique des phénomènes d'étiages sur les sites de suivis hydrométriques retenus et l'analyse des observations du réseau ONDE ;
- La description et l'analyse des méthodes de reconstitution des chroniques hydrologiques pour chaque entité et sous-entité de gestion, et l'analyse des régimes hydrologiques.

*Les principaux éléments de méthode mobilisés pour ce volet sont décrits dans le **cahier des méthodes**.*

Page de garde Volet Hydro(géo)logie

2 Objectifs du volet « H » et éléments préliminaires

2.1 LE VOLET HYDRO(GEO)LOGIE : OBJECTIFS ET CONTENU

L'objectif de l'analyse HMUC est de confronter la ressource disponible aux besoins des milieux aquatiques et des différents usages présents sur le territoire étudié. La connaissance des régimes hydrologiques et piézométriques constitue ainsi la base permettant de mener cette analyse.

Le volet Hydro(géo)logie de l'étude HMUC s'attache donc à décrire de manière précise l'ensemble du système hydrologique et des interactions existantes entre les eaux de surface et les eaux souterraines, notamment en période de basses eaux. Cette analyse repose sur le découpage du territoire en entités hydrologiques et hydrogéologiques (Phase 1 de l'étude HMUC).

La connaissance de la ressource disponible constitue la clé de voûte de la gestion de la ressource et implique une description fine du bassin versant et de son hydrologie superficielle et souterraine. Cette analyse repose sur plusieurs étapes :

- La **caractérisation générale** de l'hydrologie observée à différentes échelles de temps (annuelle, mensuelle voire journalière) et notamment de la nature des régimes hydrologiques et de certaines périodes caractéristiques (étiages). Dans le cas d'un territoire peu instrumenté, une étape de reconstitution des régimes hydrologiques aux exutoires des entités hydrologiques définies est nécessaire.
- **L'analyse des variables statistiques descriptives** des régimes hydrologiques observés et/ou reconstitués aux différents pas de temps cités et sur les périodes clés pour la gestion des ressources en eau, notamment les périodes d'étiages.
- La **reconstitution des débits naturels** (ou débits désinfluencés) à partir de l'analyse des prélèvements, rejets et des autres sources de modifications des régimes hydrologiques, présentées dans le cadre du volet « Usages ». Cette troisième étape n'est pas exposée dans ce document et fera l'objet d'un rapport complémentaire ultérieurement.

> Les résultats présentés pour chaque sous-entité dans ce document sont des résultats intermédiaires. En effet, la caractérisation de l'hydrologie de chaque sous-entité ne pourra être validée qu'après l'étape de renaturalisation des débits influencés (ou influence des débits pseudo-naturels).
>
> Le type de débit reconstitué et analysé dans ce document est rappelé pour chaque sous-entité.

2.2 ELEMENTS PRELIMINAIRES

Dans le cadre de la phase 1 de l'étude (« Appropriation du territoire »), le territoire d'étude a été découpé en 9 entités superficielles (entités hydrologiques) qui se déclinent en 29 sous-entités qui correspondent à un assemblage cohérent de sous-bassins homogènes.

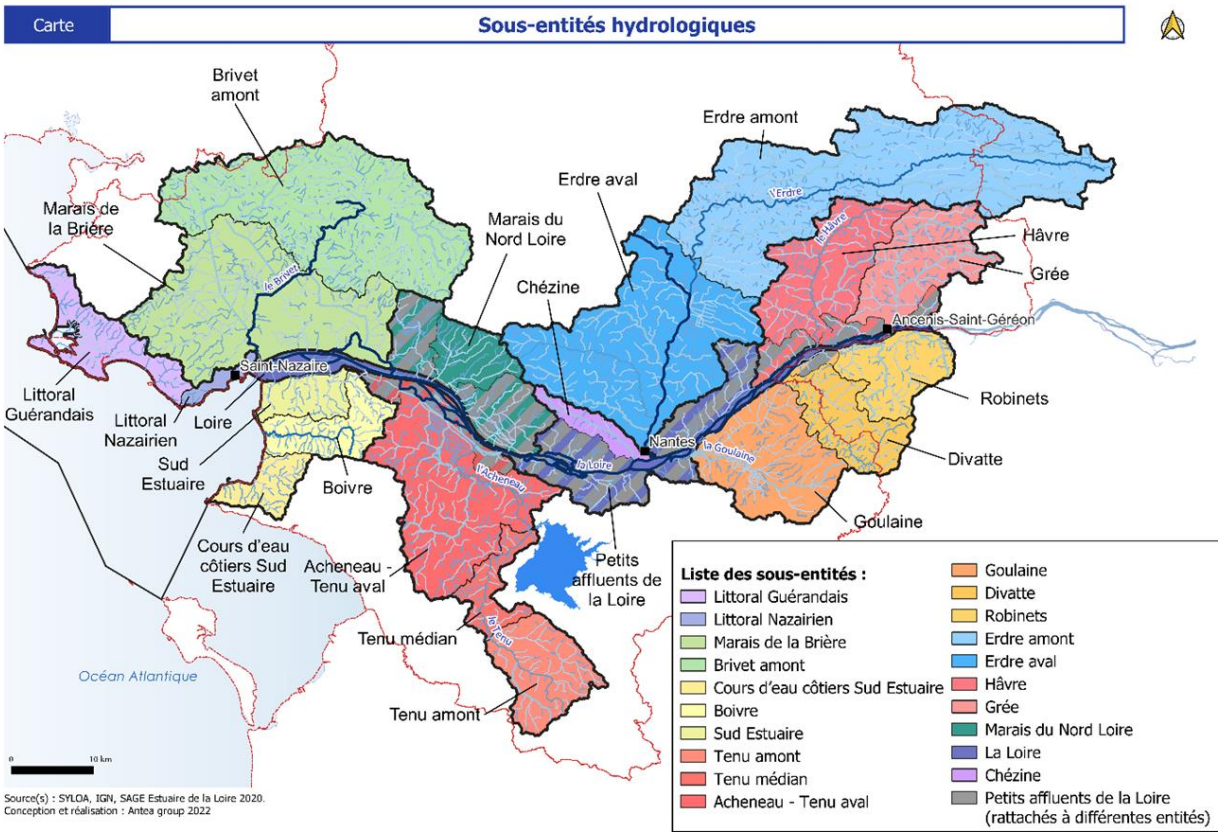


Figure 1 : Localisation des sous-entités hydrologiques

Parmi les 9 entités superficielles identifiées, 4 entités (correspondant à 10 sous-entités) sont considérées comme des entités cibles, c'est-à-dire qu'elles feront l'objet d'analyses approfondies sur les volets « Hydrologie » et « Milieux » de l'étude.

Ce découpage en entités traduit la diversité du fonctionnement hydro(géo)logique du territoire : influence des nappes sur le régime hydrologique des cours d'eau, influence des marais et des aménagements associés, influence de l'estuaire et des marées sur l'hydrologie, etc. Afin de caractériser finement l'état des ressources en eau sur les entités définies, plusieurs critères d'analyses sont déterminés.

Le territoire est également découpé selon les **9 entités hydrogéologiques** suivantes **:**

- **Aquifère de socle**
- **Alluvions de la Loire**
  - Sous-entité « Alluvions de la Loire en amont de Nantes »
  - Sous-entité « Alluvions de la Loire en aval de Nantes »
- **Bassin de Campbon** (code MESO FRGG038)
- **Bassin de Saint-Gildas-des-Bois** (code MESO FRGG118)
- **Bassin de Nort-sur-Erdre** (code MESO FRGG139)
- **Bassin de Mazerolles** (code MESO FRGG140)
- **Bassin de Maupas / Grand Lieu** (code MESO FRGG037)
- **Bassin de Machecoul** (code MESO FRGG117)

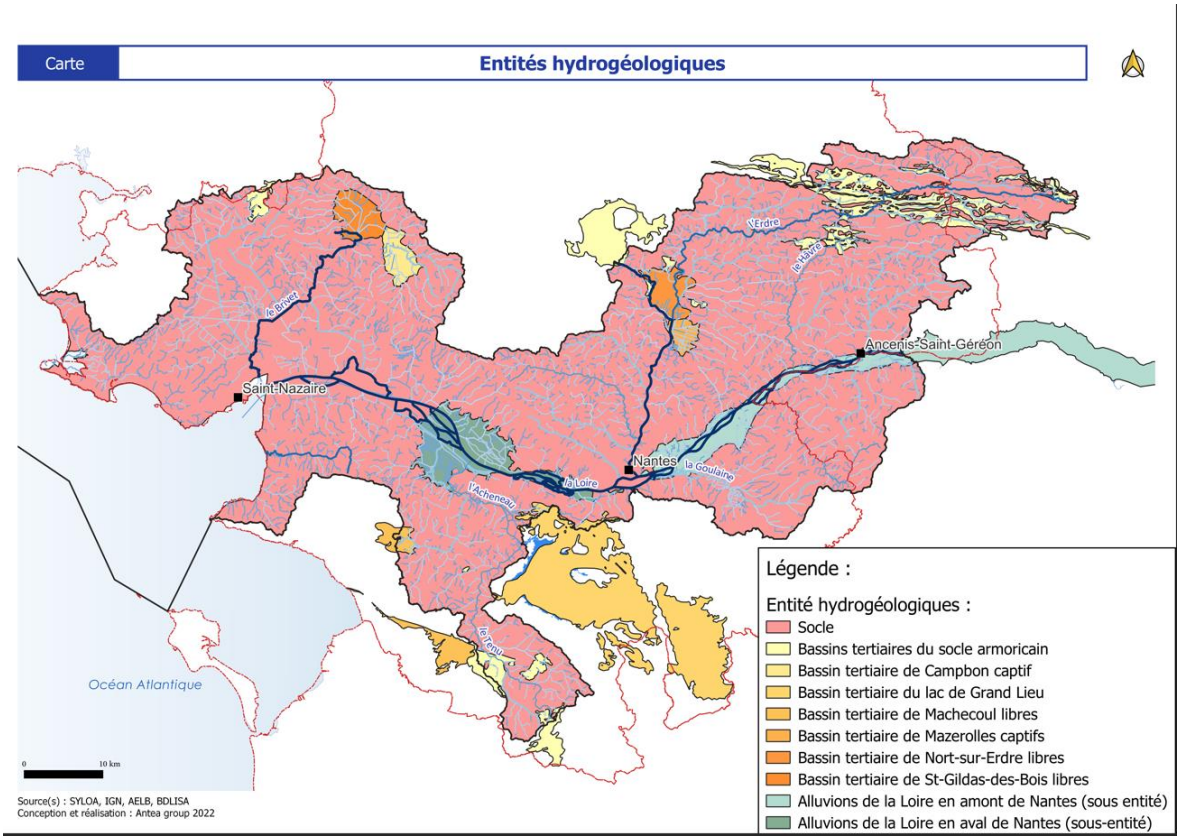


Figure 2 : Entités hydrogéologiques du territoire

2.2.1 Les critères spatiaux

Pour l'hydrologie

Les chroniques journalières de débits qui sont analysées doivent être représentatives des entités et sous-entités afin de caractériser le fonctionnement hydrologique et de les confronter à l'ensemble des usages exercés sur leur surface.

La localisation recherchée pour l'analyse correspondra donc à l'exutoire des entités ou sous-entités définies dans le cadre de l'étude.

Pour l'hydrogéologie

Dans un premier temps, l'analyse des chroniques piézométriques sera réalisée sur une sélection de piézomètres proposée pour chaque entité (cf. partie hydrogéologie).

Dans un second temps et en fonction des résultats préliminaires, les chroniques journalières seront reconstituées par fusion de piézomètres jugés représentatifs de l'aquifère associé à chaque entité.

2.2.2 Les critères temporels

La période ciblée pour l'analyse des régimes de débits et des niveaux piézométriques doit répondre à deux objectifs :

- La période retenue doit permettre d'analyser finement les régimes hydrologiques ainsi que les périodes d'étiage à partir de chroniques robustes (peu de manques, bonne validité), continues et relativement longues (> 20 ans voire 30 ans dans l'idéal), notamment pour l'analyse des tendances d'évolution.

- La période d'analyse retenue doit également permettre de caractériser l'évolution de la ressource avec ou sans impact des activités anthropiques (calcul des débits naturels et influencés). Les données doivent donc être analysées sur la période de disponibilité des données d'usages qui correspond globalement aux 10 dernières années (à partir de 2010).

> *Sous réserve de la disponibilité des données sur le territoire, la période ciblée est donc la période 2000 – 2020 à minima.*

3 Analyse de l'hydrologie mesurée et observée

La connaissance de l'hydrologie du territoire repose sur plusieurs sources de données différant selon leur méthode d'acquisition :

- Les **chroniques mesurées ou calculées** à partir des courbes de tarage au droit des stations hydrométriques gérées par la DREAL Pays de la Loire ;
- Les **observations d'écoulement** effectuées sur les sites du réseau **ONDE** par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) ;
- Les **chroniques journalières de débits modélisées** dans le cadre du projet LOIEAU par l'Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE).

Ce chapitre se concentre sur une analyse des régimes hydrologiques, et notamment de la période d'étiage, via :

- L'analyse des régimes hydrologiques des stations hydrométriques sélectionnées sur le territoire ;
- L'analyse des observations réalisées dans le cadre du réseau ONDE ;
- L'analyse des franchissements des débits seuils de gestion au droit du point nodal de Nort-sur-Erdre.

Cette partie propose une analyse fine de la période d'étiage à partir des chroniques de débits mesurées et donne les grandes tendances d'évolution sur le territoire.

3.1 LE RESEAU HYDROMETRIQUE

3.1.1 Localisation et sélection des stations hydrométriques

Sur le territoire d'étude, **20 stations hydrométriques** sont recensées sur le SANDRE[1]. Parmi ces stations, 10 ne sont plus en activité et 5 stations sont localisées sur le cours de la Loire, entre Nantes et Ancenis, avec des régimes hydrologiques influencés par la marée de l'estuaire[2].

[1] https://www.sandre.eaufrance.fr
[2] https://hydro.eaufrance.fr/sitehydro/M6120010/fiche

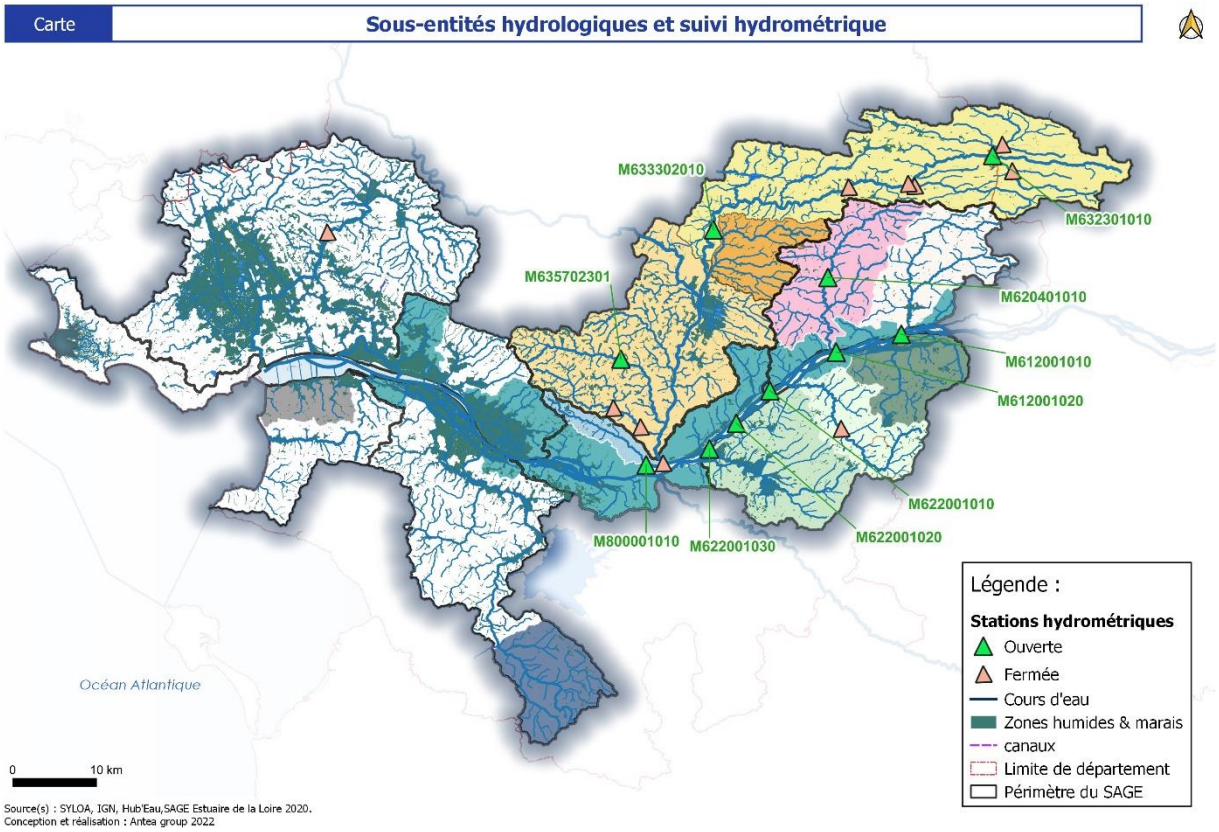


Figure 3 : Localisation des stations hydrométriques en activité (vert) et fermées (gris)

Finalement, sur le territoire, seules **4 stations hydrométriques** en activité affichent des chroniques exploitables sur la période ciblée [2000 – 2020]. Il s'agit des stations suivantes :

- **Deux stations localisées sur le cours de l'Erdre** correspondant à la sous-entité Erdre amont : **L'Erdre à Candé** [M632301010] ; **L'Erdre à Nort-sur-Erdre** [M633302010].
- Le **Gesvres à Treillières** [M635702301] localisée sur la sous-entité Erdre aval. Cette station n'affiche des chroniques que sur la période 2015 – 2020,
- Le **Hâvre à Mésanger** [M620401010] localisée sur la sous-entité Hâvre est associée à des chroniques de débits journaliers seulement sur la période 2016 – 2020.

Les caractéristiques des stations hydrométriques localisées sur le périmètre d'étude sont détaillées en **ANNEXE 1** et les calendriers des chroniques disponibles sur la période ciblée en **ANNEXE 2.**

> *Sur la base de ces éléments et compte tenu des critères fixés pour répondre aux objectifs de l'étude, il apparaît que le périmètre d'étude est très peu instrumenté, avec des stations hydrométriques présentent sur seulement trois sous-entités hydrométriques (Erdre amont, Erdre aval et Hâvre). Cette observation peut s'expliquer par plusieurs éléments (territoire en zone estuarienne avec influence de la marée, forte densité de zones de marais avec un fonctionnement régit par des systèmes complexes d'écluses, etc.).*

Face à ce constat, l'analyse des régimes hydrologiques nécessite la mise en place de méthodes visant à reconstituer des chroniques de débits journaliers à l'exutoire des entités et sous-entités non instrumentées. Ces méthodes reposeront également sur l'analyse de chroniques de débits modélisées (chapitre : les données mobilisées).I

Stations hydrométriques hors du périmètre

Compte tenu de la faible instrumentation du territoire et après validation auprès de la DREAL deux stations localisées hors du périmètre d'étude sont prises en compte pour reconstituer les régimes hydrologiques de la sous-entité du **Tenu amont** (chapitre 3.2.1.). Il s'agit des stations hydrométriques suivantes :

- Le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** [N011301010] qui affiche des chroniques avec un très bon taux de complétude sur la période 2000 – 2020 ;
- La **Logne à Saint-Colomban** [M814401010] qui n'affiche aucune donnée manquante sur la période d'étude.
- **La Sanguèze à Tillières** [M731401010] qui n'affiche aucune donnée manquante sur la période d'étude.

Les principales caractéristiques de ces deux stations sont également détaillées en **ANNEXES 1** et **2.**

Aussi, le régime hydrologique de l'axe **Loire** sera analysé à partir de la station de **Montjean-sur-Loire** [M530001010] qui est localisée en dehors du périmètre d'étude mais à partir de laquelle l'influence de la marée n'est plus significative.

Cas des stations avec des chroniques courtes

Parmi les 4 stations hydrométriques présentent sur le territoire, deux stations localisées sur les sous-entités de l'**Erdre aval** et du **Hâvre** affichent des chroniques de débits journaliers incomplètes sur la période d'étude. Ces stations seront mobilisées dans la reconstitution du régime hydrologique à l'exutoire de ces sous-entités :

- Le **Gesvres à Treillières** [M635702301] dont la chronique ne couvre que la période 2015 – 2020 ;
- Le **Hâvre à Mésanger** [M620401010] pour laquelle des chroniques de débits journaliers ne sont disponibles que sur la période 2016 – 2020.

Compte tenu des analyses à mener dans le cadre du diagnostic HMUC, les régimes hydrologiques associés à l'exutoire de chaque sous-entité doit couvrir, *a minima*, la période 2010 – 2020 (voir chapitre 1.2.1).

> *Les débits journaliers inexistants sur ces deux stations seront reconstitués à partir d'une **modélisation pluie – débit** (modèle GR4J). Les paramètres climatiques (pluie, évapotranspiration) en entrée du modèle correspondent au poste météo de Nort-sur-Erdre [44110002]. Cette méthode est détaillée dans le cahier des méthodes.*

Les principales caractéristiques de performance de ces modèles sont présentées ci-dessous et illustrées en **ANNEXE 3.**

Tableau 1 : Critères de paramétrage et performance des modèles pluie-débit sur le Gesvres [M635702301] et le Hâvre [M620401010]

Station	Période de calage	Période modélisée	Fonction objectif	Critère de performance	X1	X2	X3	X4
Gesvres à Treillières [M635702301]	2015-03-06 2020-31-12	2010-01-01 2020-31-12	NSE	0,869	267,73	-0,498	22,65	1,51
Hâvre à Mésanger [M620401010]	2016-12-07 2020-31-12	2010-01-01 2020-31-12	NSE	0,858	212,51	-0,183	16,97	1,81

Pour ces deux stations, le calage du modèle présente des critères de performance relativement bons (NSE[3] = 0,869 et NSE = 0,858).

Les indicateurs descriptifs des régimes hydrologiques seront calculés sur les chroniques modélisées.

3.1.2 Analyse des régimes hydrologiques

Les régimes hydrologiques des stations retenues sur le territoire sont analysés par le calcul d'indicateurs hydrologiques. Les indicateurs sont présentés avec leurs intervalles de confiance respectifs (95 %, valeurs entre crochets) sur la période analysée.

La Loire à Montjean-sur-Loire [M530001010]

Implantée depuis 1842, la station de **Montjean-sur-Loire** est une station historique du suivi du débit en Loire. Elle affiche un bon taux de disponibilité des données journalières de débit sur la période d'étude. La quasi-totalité des données mesurées sont jugées de bonne qualité (99,7%) avec seulement 0,3% (20 QJM[4]) présentant un doute quant à leur fiabilité. Néanmoins, cette station peut être légèrement influencée par les lâchers des barrages de Villerest et Naussac en période d'étiage (soutien d'étiage).

Les débits moyens mensuels varient entre 232,75 m^3/s (mois de septembre) et 1451,99 m^3/s (février) pour un module de **772,5 m^3/s** sur la période ciblée.

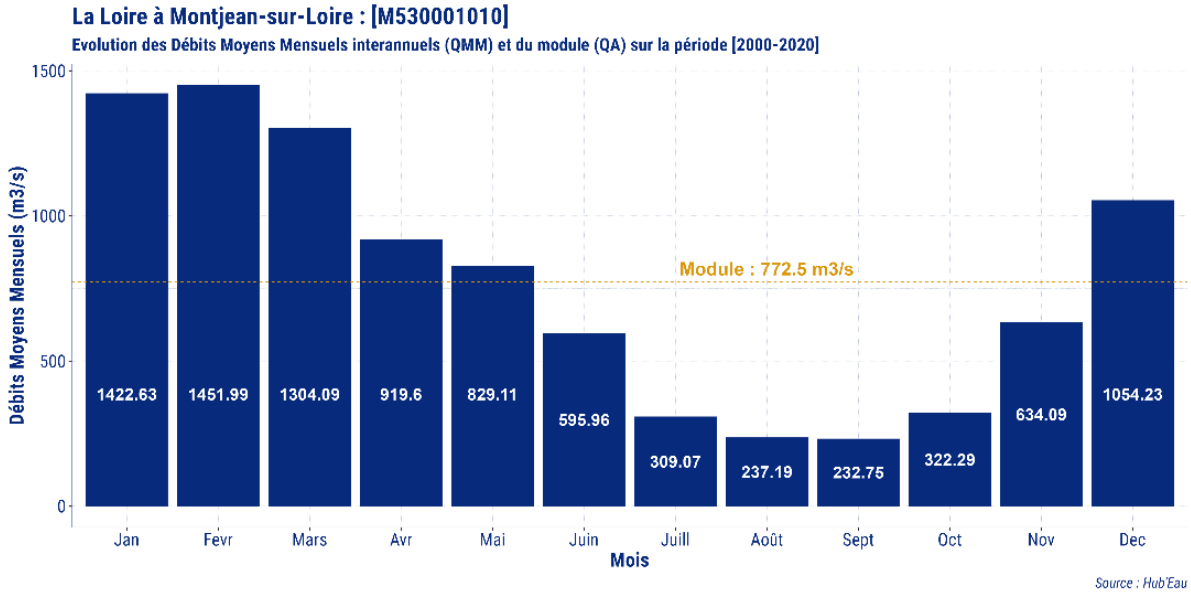


*Figure 4 : Variation du débit moyen mensuel sur la **Loire à Montjean-sur-Loire** sur la période 2000 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal observé est de 5031 m^3/s (1/01/2000) et le débit de crue de référence (QJX10[5]) est de 4322 m^3/s [3733– 5735][6].

[3] NSE : Nash Sutcliffe Efficiency
[4] QJM : Débit Journalier Moyen
[5] QJX est une valeur du débit journalier maximal d'un cours d'eau sur une période donnée. Le QJX est le débit journalier maximal sur une période de 10 ans.
[6] Intervalle de confiance à 95 %

En étiage, le plus faible débit mesuré est de 97,1 m3/s (4/09/2019) et les débits de référence d'étiage, représentés par les QMNA5, VCN10 et VCN30 secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 141,8 m3/s [113,3 – 167,2], 123,5 m3/s [97– 150] et 129 m3/s [104 – 154].

Le ratio $QMNA_5$/module (QA) s'établit à 18 %, valeur nettement supérieure au $^1/_{10}^{ème}$ du module (10%), qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

*Tableau 2 : Indicateurs d'étiage calculés sur la **Loire à Montjean-sur-Loire** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (m3/s)	VCN3 (m3/s)	VCN7 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	VCN30 (m3/s)
Loire à Montjean-sur-Loire [M530001010]	Normale (biennale)	188,3 [± 40,2]	156,7 [± 29]	158,2 [± 29,7]	159 [± 30,3]	168 [± 29,7]
	Sèche (quinquennale)	141,8 [± 34]	121,9 [± 25,4]	122,9 [± 26]	123,5 [± 26,5]	129 [± 25]
	Humide (quinquennale)	256,2 [± 66,3]	205,1 [± 45,7]	207,5 [± 47]	209 [± 48]	220,9 [± 45,3]

Le graphique présenté ci-dessous illustre l'évolution des QMNA sur la période d'étude et permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2005, 2006, 2011, 2017, 2018, 2019 et 2020) des années plus humides (2001, 2007, 2008, 2013 et 2014).

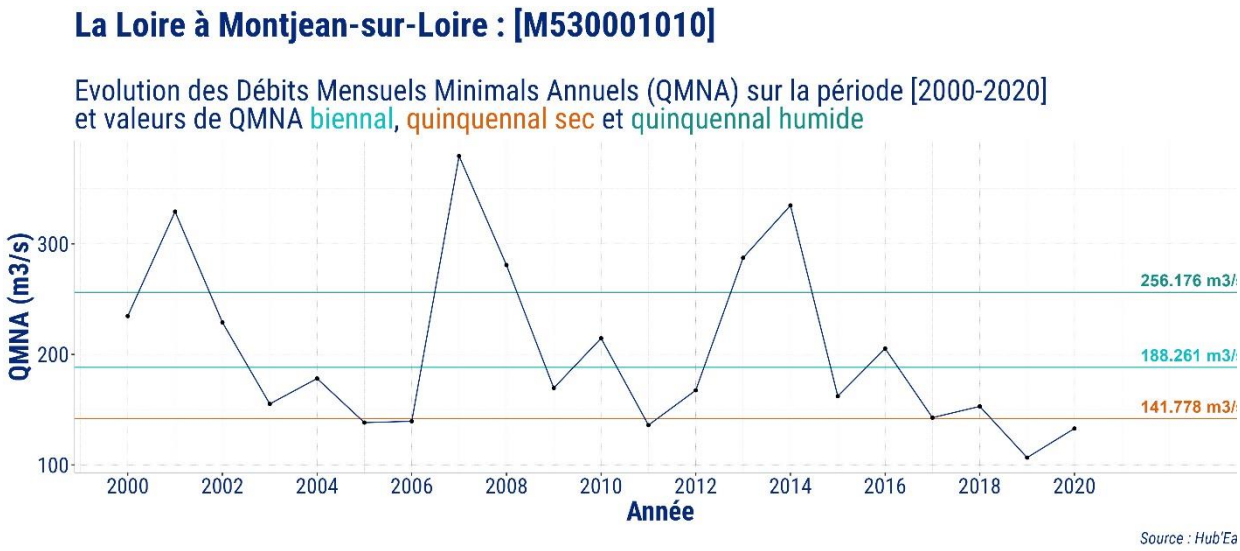


*Figure 5 : Evolution des QMNA sur la **Loire à Montjean-sur-Loire** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 - 2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

L'Erdre à Candé [M632301010]

La station de **l'Erdre à Candé – La Grée** a été mise en service en 1968 et permet de connaitre l'évolution du débit journalier de l'Erdre amont depuis 1969. Cette station historique du suivi du débit de l'Erdre affiche un bon taux de disponibilité des données journalières de débit sur la période d'étude. La quasi-totalité des données mesurées sont jugées de bonne qualité (92,8%) avec seulement 1,8 % (139 Qjm) de données douteuses.

Les débits moyens mensuels varient entre 0,1 m^3/s (septembre) et 2,56 m^3/s (janvier) pour un module de **1 m^3/s** sur la période ciblée.

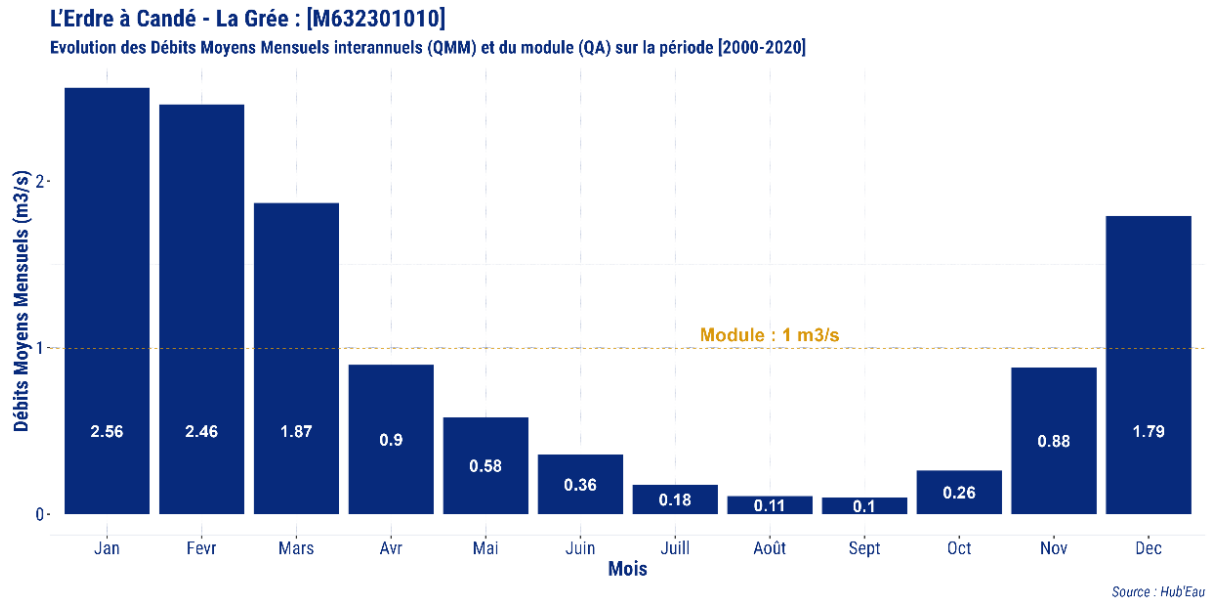


*Figure 6 : Variation du débit moyen mensuel sur **l'Erdre à Candé – La Grée** sur la période 2000 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal observé est de 23,12 m^3/s (5/01/2000) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 19,47 m^3/s [16,01 – 27,7].

En étiage, le plus faible débit mesuré est de 8 L/s (7/09/2005) et les débits de référence d'étiage, représentés par les $QMNA_5$, VCN10 et VCN30 secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 48,2 L/s [41,8 – 53,5], 34,5 L/s [29,1 – 39] et 42,1 L/s [36,4 – 46,9].

*Tableau 3 : Indicateurs d'étiage calculés sur **l'Erdre à Candé – La Grée** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
L'Erdre à Candé – La Grée [M632301010]	Normale (biennale)	79,8 [± 8,4]	56,4 [± 7,2]	59,8 [± 7,3]	61,2 [± 7,6]	71,8 [± 7,8]
	Sèche (quinquennale)	48,2 [± 5,8]	30,9 [± 4,5]	33,4 [± 4,6]	34,5 [± 4,9]	42,1 [±5,2]
	Humide (quinquennale)	117,9 [± 14,8]	88,3 [± 13,4]	92,6 [± 13,4]	94,5 [±14,1]	107,8 [± 13,9]

L'étude des QMNA sur la période ciblée permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2004, 2005, 2006, 2009, 2017 et 2019) des années plus humides (2000, 2001, 2007, 2008, 2013 et 2014).

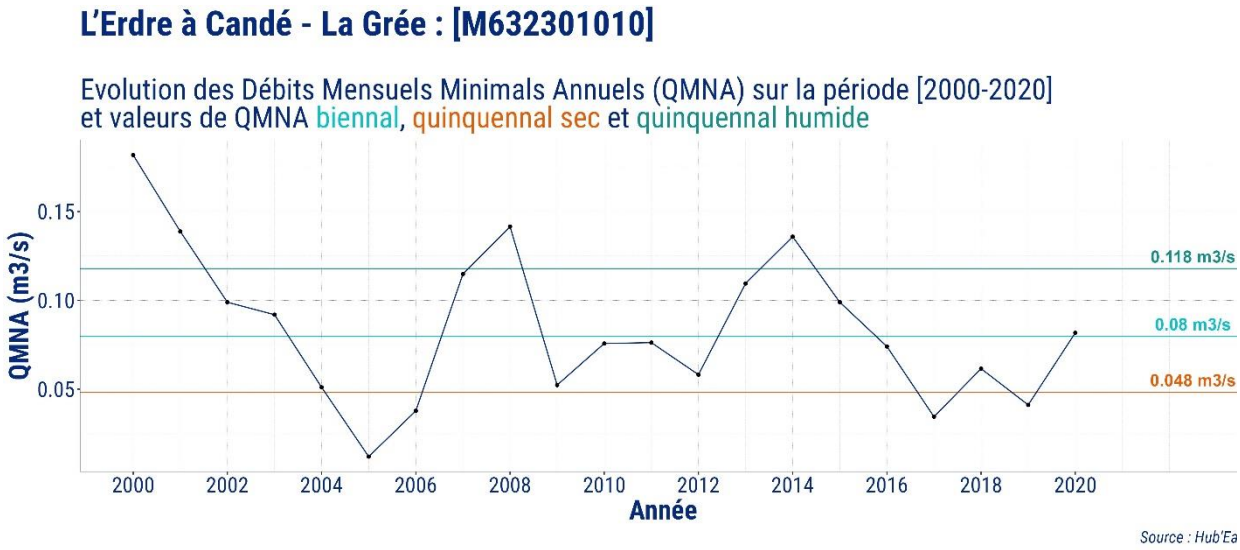


*Figure 7 : Evolution des QMNA sur **l'Erdre à Candé -La Grée** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 - 2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7,**

L'Erdre à Nort-sur-Erdre [M633302010]

La station de **l'Erdre à Nort-sur-Erdre** [Moulin de Vault] a été mise en service en octobre 1967 et permet de connaitre l'évolution du débit journalier de l'Erdre amont depuis 1968.

Cette station représente également l'unique **point nodal du territoire** au droit duquel des **débits objectifs** (DOE, DSA et DCR)[7] sont définis pour déterminer les quantités d'eau prélevables en fonction des ressources disponibles.

Cette station historique du suivi du débit de l'Erdre affiche un bon taux de disponibilité des données journalières de débit sur la période d'étude. La quasi-totalité des données mesurées sont jugées de bonne qualité (99,3 %) avec seulement 0,7 % (57 QJM) de données douteuses.

Les débits moyens mensuels varient entre 0,23 m^3/s (mois d'août) et 7,44 m^3/s (janvier) pour un module de **2,8 m^3/s** sur la période ciblée.

[7] DOE : Débit Objectif d'Etiage, DSA : Débit Seuil d'Alerte et DCR : Débit de Crise

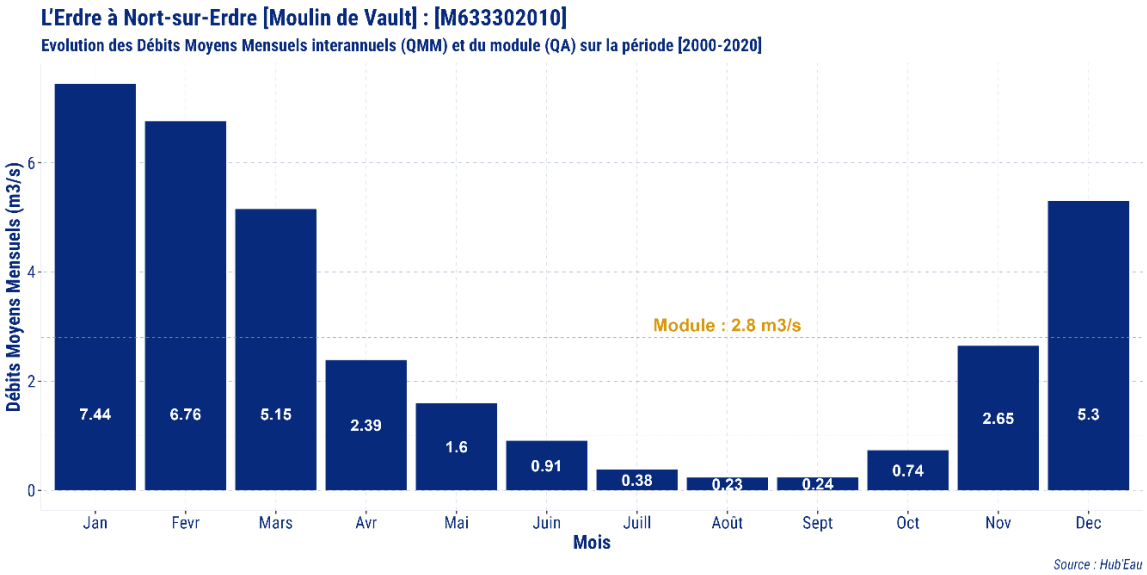


*Figure 8 : Variation du débit moyen mensuel sur **l'Erdre à Nort-sur-Erdre** sur la période 2000 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal observé est de 79,5 m^3/s (14/02/2014) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 59,7 m^3/s [46,8 – 90,8].

En étiage, le plus faible débit enregistré est nul et correspond à une situation d'assec (1/11/2017[8]) et les débits de référence d'étiage, représentés par les $QMNA_5$, VCN10 et VCN30 secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 85 L/s [59,8 – 109,9], 41,4 L/s [24 – 62] et 61 L/s [38,7 – 85,1].

*Tableau 4 : Indicateurs d'étiage calculés **sur l'Erdre à Nort-sur-Erdre** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault] [M633302010]	Normale (biennale)	159 [± 42]	78,4 [± 33,8]	88 [± 38]	95,1 [± 39,9]	126,2 [± 43,5]
	Sèche (quinquennale)	85 [± 25]	32,6 [± 15,3]	37,1 [± 17,5]	41,4 [± 19]	61 [± 23,2]
	Humide (quinquennale)	277,3 [± 89,5]	175,1 [± 95,7]	195,9 [± 107]	206,4 [± 109]	245,5 [± 105,4]

L'évolution des QMNA sur la période ciblée permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2005, 2006, 2017 et 2019) des années plus humides (2000, 2001, 2007, 2008 et 2014).

[8] Cette donnée est validée mais douteuse selon l'hydroportail (https://hydro.eaufrance.fr/stationhydro/M633302010/series).

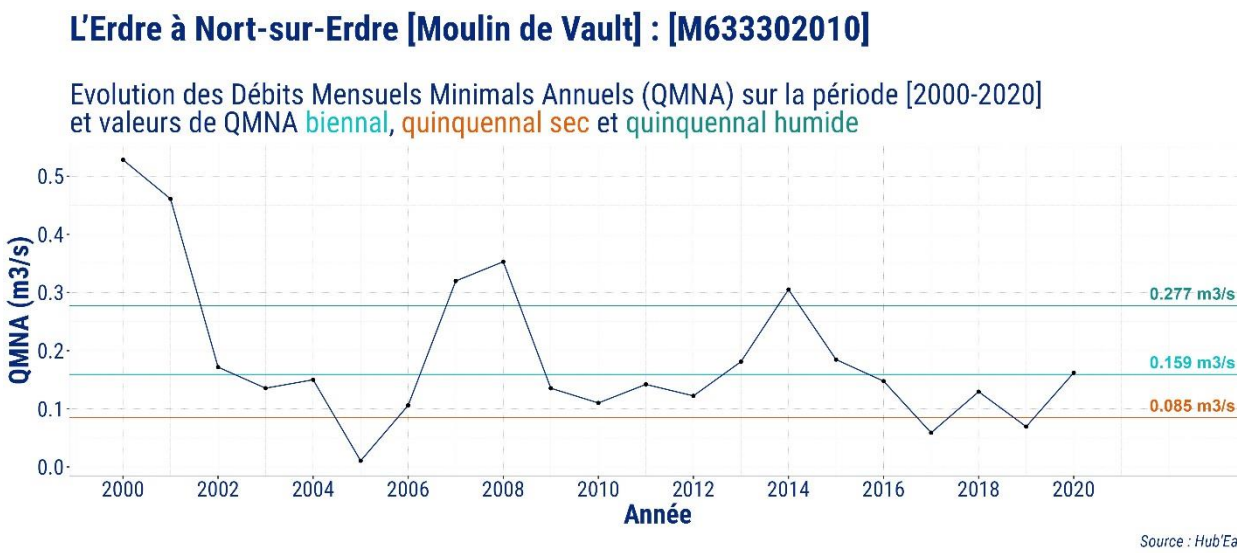


*Figure 9 : Evolution des QMNA sur **l'Erdre à Nort-sur-Erdre** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 - 2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

La station hydrométrique de Nort-sur-Erdre joue également le rôle de point nodal et de station référence pour la gestion de crise. Des débits objectifs, calculés sur la période 1976 – 2012, sont fixés et permettent une gestion des ressources en période d'étiage sévère. Les débits objectifs sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 5 : Débits seuils de gestion au point nodal de **Nort-sur-Erdre** (SDAGE Loire-Bretagne 2022 – 2027)*

Cours d'eau	Code point	Localisation du point	Equilibre ressource / besoin				Gérer la crise		Zone d'influence
			DOE m³/s	QMNA5 réf m³/s	Période de calcul	Valeur d'application 7B2 mm	DSA	DCR	
Commission territoriale Loire aval et côtiers vendéens									
Erdre	Er	station hydrométrique de Nort-sur-Erdre	0,08	0,08	1976-2012	0,10	0,07	0,05	Bassin Erdre en totalité

Sur la période 2000 – 2020, les débits seuils de gestion fixés au point nodal de Nort-sur-Erdre ont été franchis, en cumulé, respectivement : 229 jours pour le Débit Seuil d'Alerte (DSA) et 134 jours pour le Débit de Crise (DCR).

Plus spécifiquement, l'analyse des franchissements des débits de gestion[9] permet d'identifier 3 types d'années :

Les **années sans franchissement** de seuils pour lesquelles aucune situation de tension sur la ressource n'est *a priori* apparue. Il s'agit des périodes 2000 - 2003, 2007 - 2009 et des années 2013, 2016 et 2018.

Les années avec des **franchissements de seuils** sur des **périodes relativement courtes**, de l'ordre de la **semaine** (< 10 jours). Il s'agit des années 2010, 2011, 2014 et 2020, De manière générale sur ces années, le DSA est franchi mais pas le DCR sauf en 2004, où de très faibles débits ont été mesurés sur 2 jours consécutifs.

Les **années avec des franchissements de seuils** sur des **périodes longues** voire très longues (plusieurs semaines / mois) durant lesquelles les 2 seuils de crise sont franchis. Les années 2005, 2006, 2015, 2017 et 2019 sont les années caractérisées par une forte tension sur la ressource du bassin de l'Erdre. Parmi ces années, le DOE est également franchi (QMNA < DOE) en 2005, 2017 et 2019.

Analyse du respect du DOE [0,08 m3/s]

Année	QMNA	Mois	DOE
2000	0,528	8	0,08
2001	0,461	9	0,08
2002	0,172	8	0,08
2003	0,135	8	0,08
2004	0,150	7	0,08
2005	0,011	8	0,08
2006	0,106	8	0,08
2007	0,320	9	0,08
2008	0,353	9	0,08
2009	0,135	9	0,08
2010	0,110	8	0,08
2011	0,142	7	0,08
2012	0,122	8	0,08
2013	0,181	9	0,08
2014	0,305	9	0,08
2015	0,185	8	0,08
2016	0,148	8	0,08
2017	0,059	8	0,08
2018	0,129	9	0,08
2019	0,069	9	0,08
2020	0,162	8	0,08

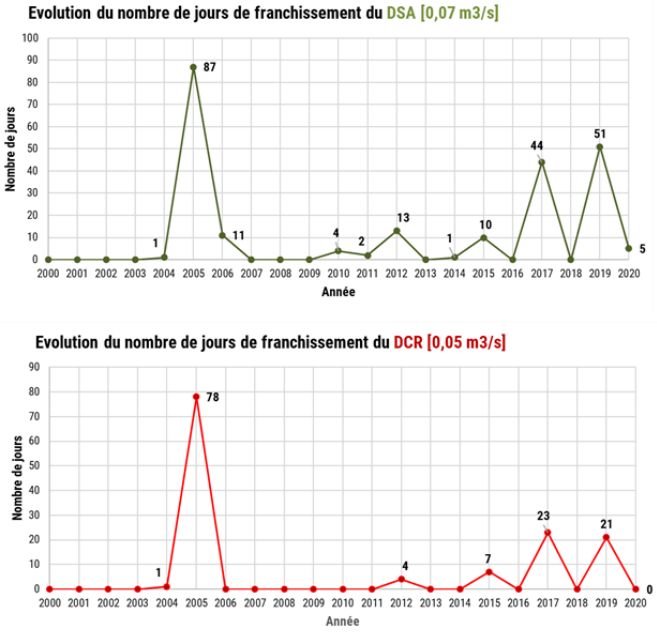


Figure 10 : Franchissements des débits de gestion de crise sur la période 2000 - 2020

Ainsi, au cours des 10 dernières années étudiées, les exigences de gestion équilibrée sont satisfaites 8 années sur 10 (franchissement du DOE en 2005, 2017 et 2019).

Plus précisément, l'année 2005 apparaît comme une année exceptionnelle avec des durées de franchissements particulièrement longues :

- 87 jours pour le DSA (3 épisodes entre le 12 juillet et le 11 octobre) ;
- 78 jours pour le DCR (4 épisodes entre le 15 juillet et le 11 octobre).

[9] L'étude des franchissements a été réalisée sur la base de seuils de l'arrêté sécheresse de 2019.

Le Gesvres à Treillières [M635702301]

La station du **Gesvres à Treillières** draine un bassin versant de 51 km² et a été mise en service récemment (2015). Les chroniques disponibles sur cette période récente (2015 – 2020) sont majoritairement de bonne qualité (97,2 % des débits journaliers).

Compte tenu de la faible emprise disponible, les débits journaliers analysés ci-dessous sont issus d'une **modélisation pluie-débit** qui a permis de **reconstruire la chronique manquante** sur la période 2010 – 2015 (voir chapitre 2.2.1.). Les résultats présentés ci-dessous sont calculés sur une période relativement courte (10 années) et doivent donc être interprétés avec précaution.

Le régime hydrologique reconstitué est caractérisé par une variation intra-annuelle importante avec des débits moyens mensuels compris entre 1,26 m^3/s (février) et 0,04 m^3/s durant l'étiage, sur les mois d'août et de septembre. Le débit moyen interannuel calculé sur la période 2010 – 2020 est de 0,52 m^3/s.

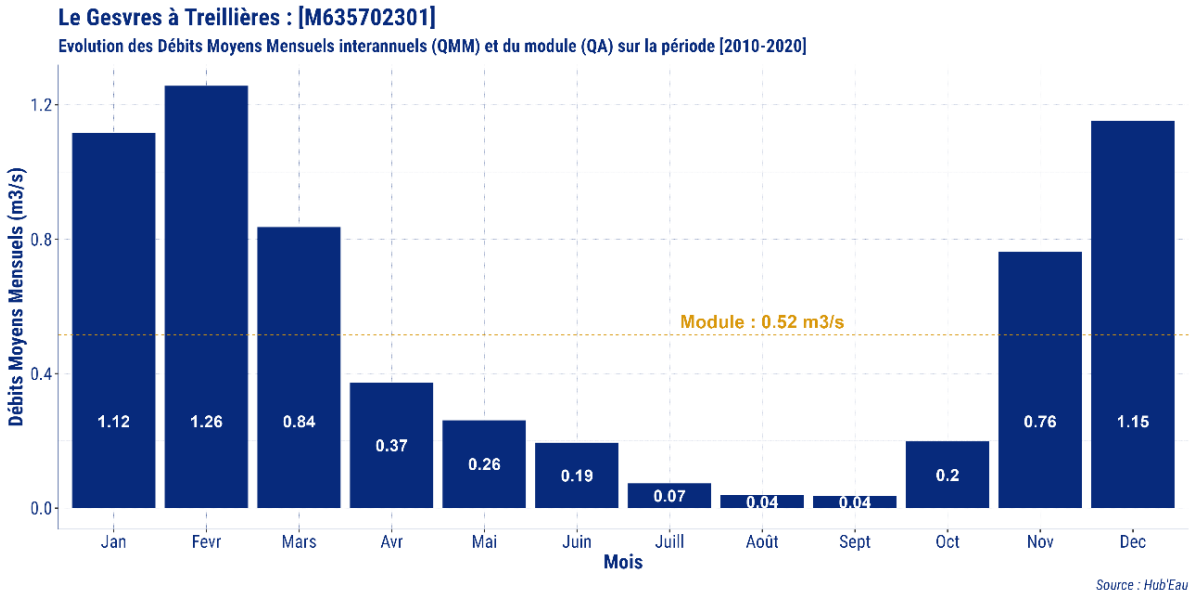


*Figure 11 : Variation du débit moyen mensuel sur **le Gesvres à Treillières** sur la période 2010 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal modélisé est de 15,06 m^3/s (24/12/2013) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 8,77 m^3/s [5,47 – 34,1].

En étiage, le plus faible débit modélisé est de 8,9 L/s (6/09/2010) et les débits de référence d'étiage, représentés par les $QMNA_5$, VCN_{10} et VCN_{30} secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 13,3 L/s [3,8 – 29,8], 11,6 L/s [5,3 – 19,4] et 12,8 L/s [4,8 – 24,2].

*Tableau 6 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Gesvres à Treillières** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
Le Gesvres à Treillières [M635702301]	Normale (biennale)	18,1 [± 18]	14,6 [± 8,1]	15 [± 8,6]	15,3 [± 9]	17,3 [± 13]
	Sèche (quinquennale)	13,3 [± 13]	11,2 [± 6,4]	11,4 [± 6,7]	11,6 [± 7]	12,8 [± 9,7
	Humide (quinquennale)	31,6 [± 48]	21,1 [± 15,7]	21,8 [± 16,9]	22,5 [± 18]	27,3 [± 29]

L'analyse des QMNA sur la période d'étude permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2010, 2018 et 2019) de celles plus humides (2014 et 2015).

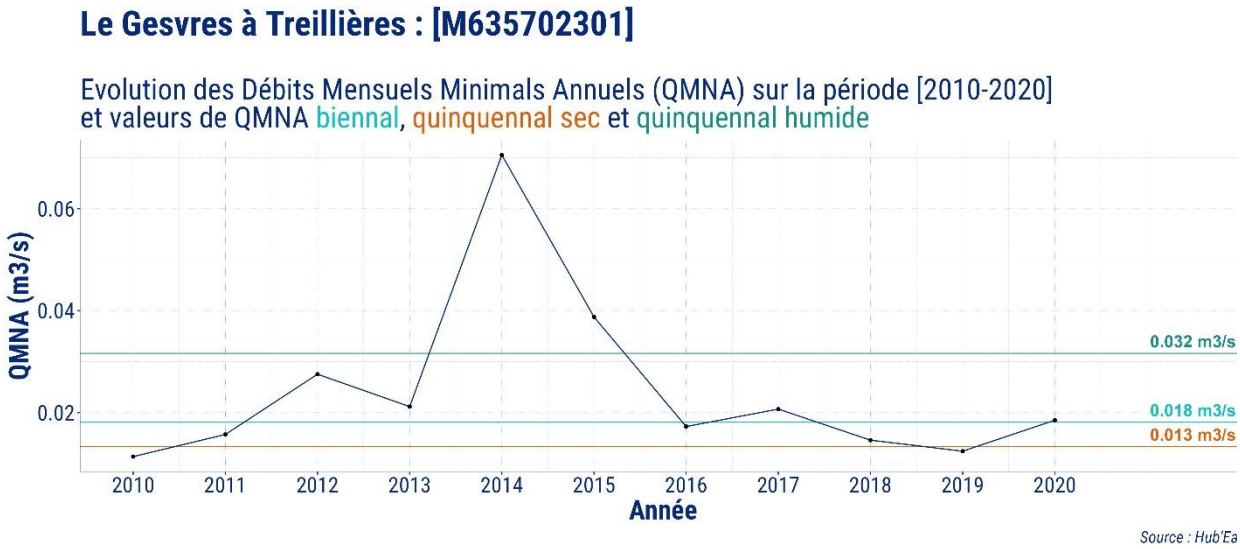


*Figure 12 : Evolution des QMNA sur **le Gesvres à Treillières** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2010 - 2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

Le Hâvre à Mésanger [M620401010]

La station du **Hâvre à Mésanger [Pont Esnault]** draine un bassin versant de 80 km². Cette station a été implantée en 1972 mais a fait l'objet d'une interruption de service entre 1998 et 2016, Les chroniques disponibles sur cette période récente (2016 – 2020) sont toutes de bonne qualité (100 % des débits journaliers).

Compte tenu de la faible emprise de données disponibles, les débits journaliers analysés ci-dessous sont issus d'une **modélisation pluie-débit** qui a permis de **reconstruire la chronique manquante** sur la période 2010 – 2016 (voir chapitre 2.2.1.). Les résultats présentés ci-dessous sont calculés sur une période relativement courte (10 années) et doivent donc être interprétés avec précaution.

Le régime hydrologique reconstitué est caractérisé par une variation intra-annuelle importante avec des débits moyens mensuels compris entre 1,46 m^3/s (décembre) et 0,04 m^3/s durant l'étiage, sur les mois d'août et de septembre. Le débit moyen interannuel modélisé sur la période 2010 – 2020 est de 0,61 m^3/s.

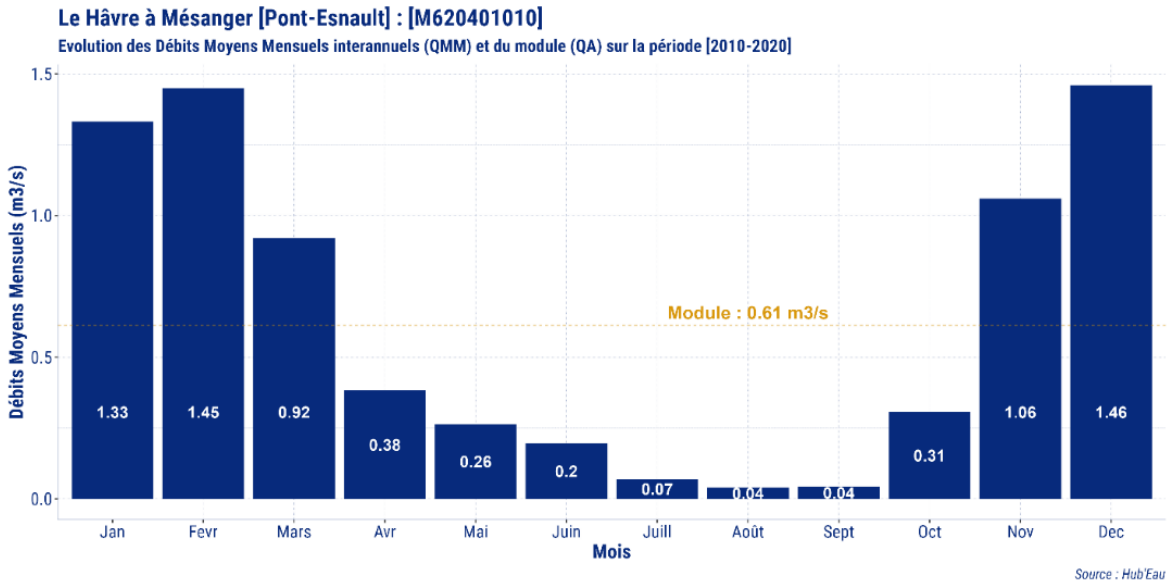


*Figure 13 : Variation du débit moyen mensuel sur le **Hâvre à Mésanger** sur la période 2010 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal modélisé est de 23 m^3/s (14/11/2010) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 17,75 m^3/s [12 ;0 – 52 ,2].

En étiage, le plus faible débit modélisé est de 8,4 L/s (6/09/2010) et les débits de référence d'étiage, représentés par les $QMNA_5$, VCN10 et VCN30 secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 13,2 L/s [3,9 – 29,1], 11,4 L/s [5,2 – 19,1] et 12,6 L/s [4,7 – 24].

*Tableau 7 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Hâvre à Mésanger** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
Le Hâvre à Mésanger [M620401010]	Normale (biennale)	18,6 [± 18]	14,4 [± 7,8]	14,8 [± 8,3]	15,1 [± 8,9]	17,2 [± 13,1]
	Sèche (quinquennale)	13,2 [± 12,6]	11 [± 6,1]	11,2 [± 6,5]	11,4 [± 6,9]	12,6 [± 9,7]
	Humide (quinquennale)	33,2 [± 48,5]	20,8 [± 15]	21,6 [± 16,4]	22,2 [± 17,8]	27,6 [± 30]

Le graphique présenté ci-dessous illustre l'évolution des QMNA sur la période d'étude et permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2010, 2011, 2018 et 2019) des années plus humides (2014 et 2015).

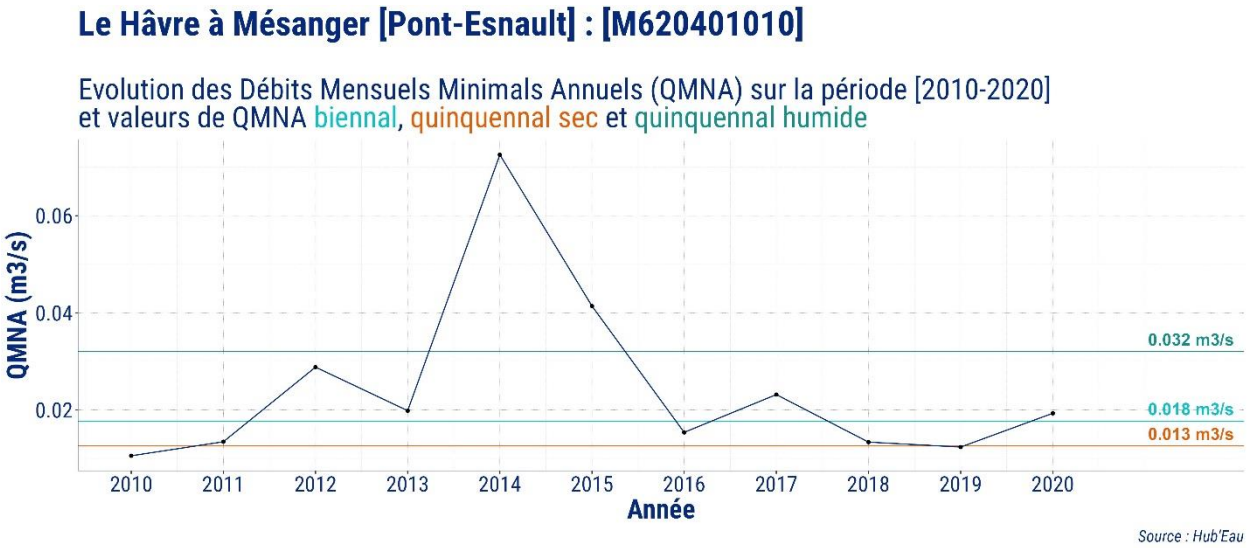


*Figure 14 : Evolution des QMNA sur le **Hâvre à Mésanger** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2010 -2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

Le Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte [N011303010]

La station du **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** draine un bassin versant de 97 km². Cette station est active depuis 1994 et affiche un bon taux de données de bonne qualité sur la période ciblée (95 % des débits journaliers soit 5 % de données jugées douteuses).

Les débits moyens mensuels varient entre 0,02 m^3/s (août et septembre) et 2,58 m^3/s (janvier) pour un module de 0,94 m^3/s sur la période ciblée. Le régime hydrologique du Falleron au droit de cette station est marqué par une forte variabilité intra-annuelle avec des débits d'étiage très faibles.

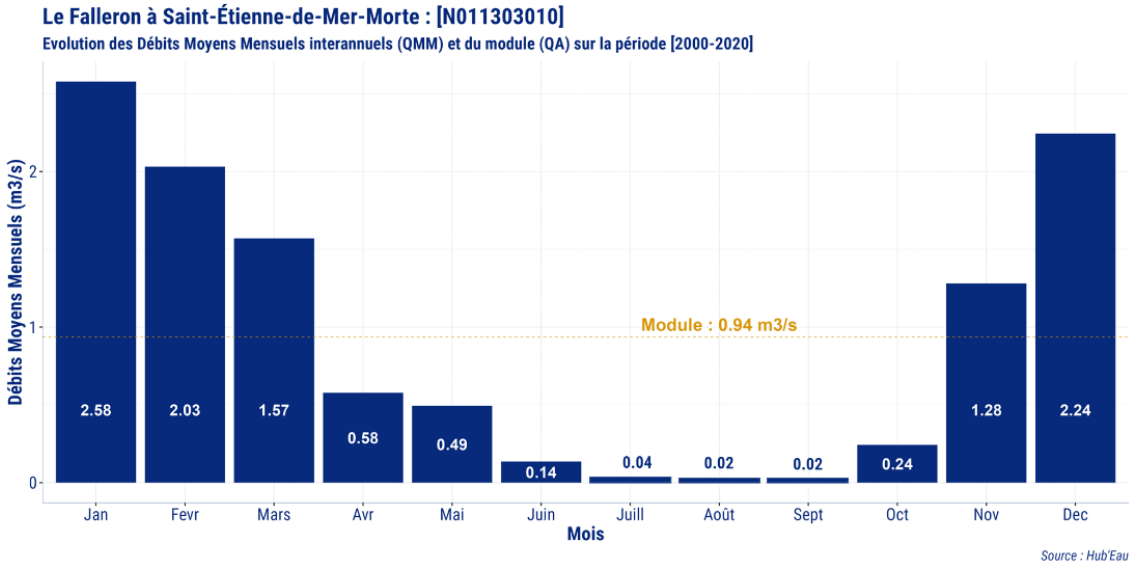


*Figure 15 : Variation du débit moyen mensuel sur le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** sur la période 2000 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal observé est de 40,3 m^3/s (30/05/2016) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 29,35 m^3/s [24,15 – 41,81].

En étiage, le plus faible débit enregistré est nul et correspond à une situation d'assec. Ces situations extrêmes sont relativement fréquentes sur le Falleron, notamment sur les 5 dernières années (2016 à

2020). Le débit de référence d'étiage, représenté par le $QMNA_5$ sec quinquennal, correspond à un débit de 0,88 L/s [0,18 – 1,58]. L'analyse fréquentielle des autres indicateurs de référence donne des débits nuls, comme présenté dans le tableau ci-dessous.

Le Falleron est un cours d'eau caractérisé par des épisodes d'étiages très sévères voire extrêmes comme l'indique le rapport entre $QMNA_5$ et module qui ne représente que 0,09 %. Cette valeur est très inférieure au dixième du module (10 %) et indique une situation très critique en période d'étiage.

*Tableau 8 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
Le Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte [N011303010]	Normale (biennale)	3,75 [± 2,8]	0,64 [± 0,2]	1,18 [± 0,4]	1,44 [± 0,5]	3,02 [± 1,3]
	Sèche (quinquennale)	0,88 [± 0,7]	0	0	0	0
	Humide (quinquennale)	13,7 [± 13,9]	2,35 [± 1,1]	4,23 [± 1,9]	4,99 [± 2,18]	9,7 [± 5,3]

Le graphique présenté ci-dessous illustre l'évolution des QMNA sur la période d'étude et permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2003, 2004, 2005, 2010, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019) des années plus humides (2000, 2001, 2002, 2008 et 2015).

L'évolution du QMNA montre également que les cinq dernières années ont été extrêmement sèches avec des conséquences probablement très pénalisantes pour les milieux aquatiques.

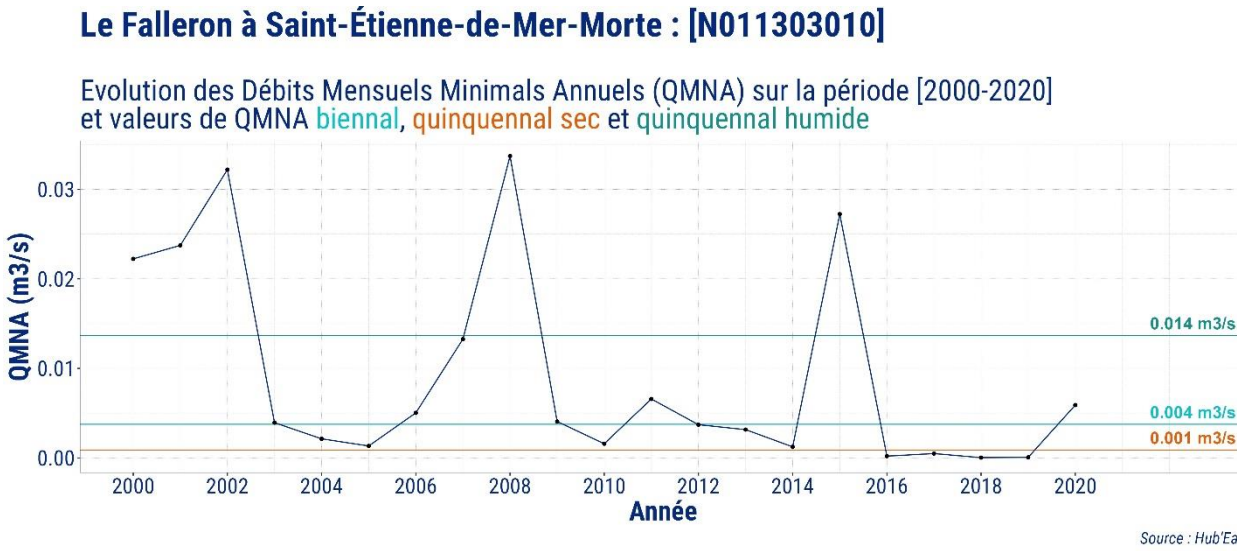


*Figure 16 : Evolution des QMNA sur le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 - 2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

La Logne à Saint-Colomban [M814401010]

La station de **la Logne à Saint-Colomban [La Roussière]** est en service depuis 1981 et intègre un bassin versant de 131 km². Sur la période étudiée, les chroniques sont majoritairement de bonne qualité (96,1

% des mesures) avec seulement 3,9 % (296 valeurs de débits journaliers) de données douteuses. Les débits moyens mensuels varient entre 0,02 m^3/s (septembre) et 3,25 m^3/s (janvier) pour un module de 1,18 m^3/s sur la période ciblée.

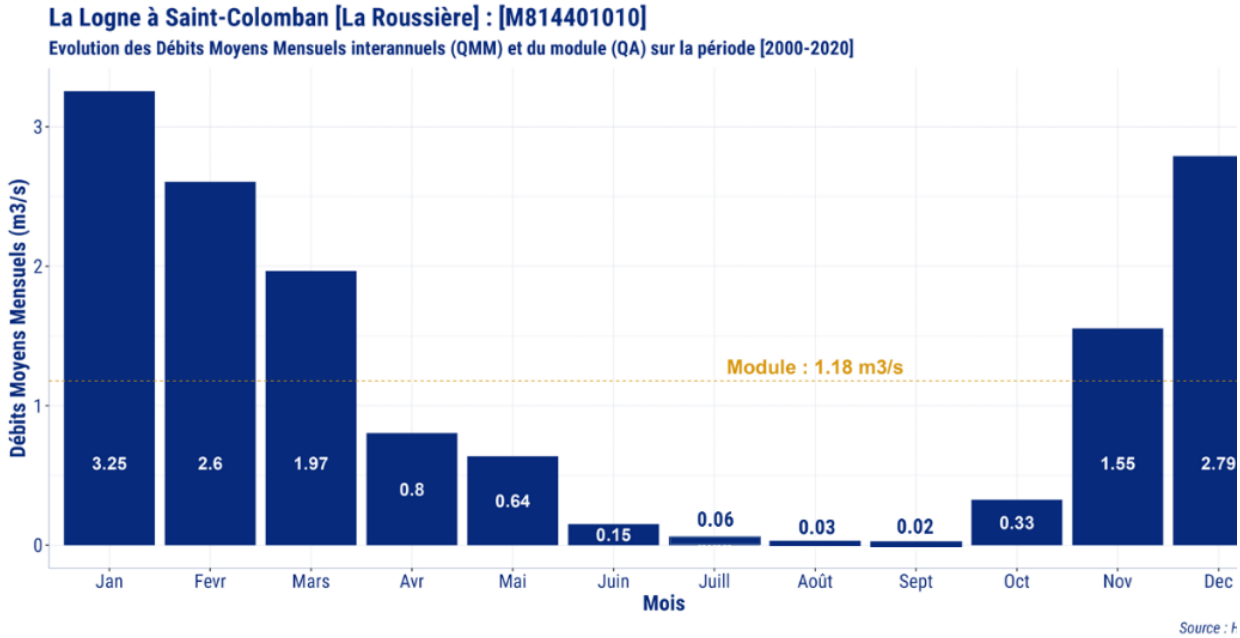


*Figure 17 : Variation du débit moyen mensuel sur la **Logne à Saint-Colomban** sur la période 2000 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal observé est de 36,5 m^3/s (5/01/2001) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 32,4 m^3/s [27,2 – 45,1].

En étiage, comme pour le Falleron, le plus faible débit enregistré est nul et correspond à un épisode d'assec. Cette situation extrême est observée à plusieurs reprises sur la période ciblée (plusieurs épisodes identifiés notamment en 2003, 2005, 2007 et 2017).

Les débits de référence d'étiage, représentés par les $QMNA_5$ et VCN_{30} secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 0,97 L/s [0,61 – 1,36] et 0,016 L/s [0,01 – 0,006].

Cette station est caractérisée par des étiages généralement très sévères comme l'indique le rapport entre $QMNA_5$ et module dont la valeur relative est de 0,08 %, très inférieure au dixième du module (10 %).

*Tableau 9 : Indicateurs d'étiage calculés sur la **Logne à Saint-Colomban** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
La Logne à Saint – Colomban [M814401010]	Normale (biennale)	6,87 [± 2,4]	0,93 [± 0,37]	1,25 [± 0,6]	1,4 [± 0,7]	3,7 [± 1,3]
	Sèche (quinquennale)	0,97 [± 0,37]	0	0	0	0,016 [± 0,006]
	Humide (quinquennale)	17,8 [± 7,8]	2,82 [± 1,38]	4,15 [± 2,5]	4,8 [± 3,2]	10,7 [± 4,9]

L'analyse des QMNA sur la période d'étude permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2004, 2005, 2009, 2010, 2016, 2017, 2018, 2019) de celles plus humides (2000, 2001, 2002, 2007, 2008 et 2015). Là encore, comme pour le Falleron, les cinq dernières années sont identifiées comme extrêmement sèches.

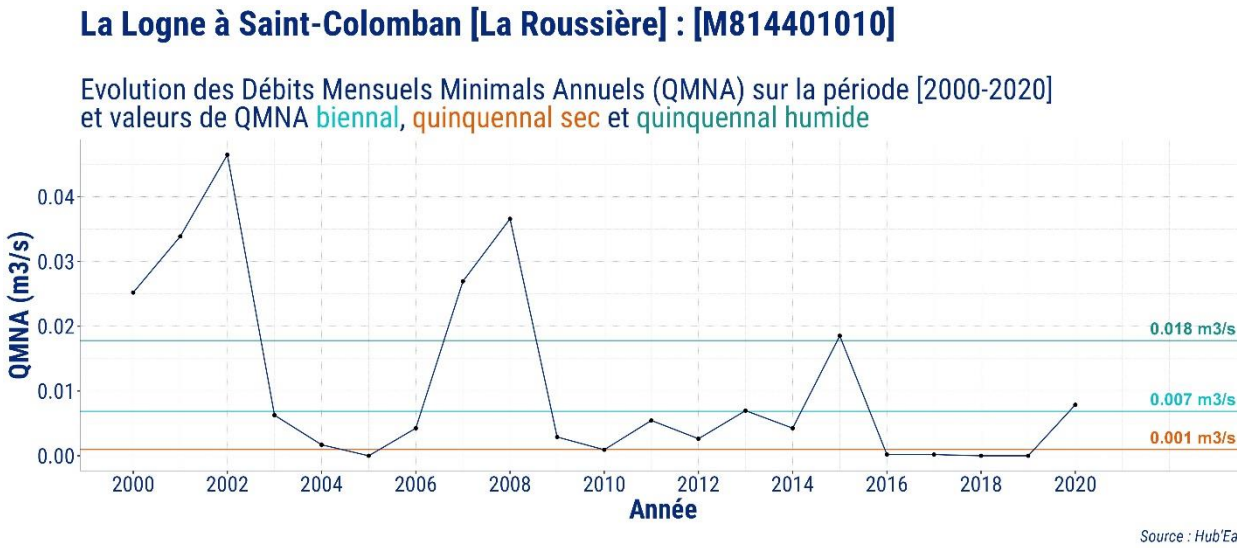


*Figure 18 : Evolution des QMNA sur **la Logne à Saint-Colomban** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 -2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

La Sanguèze à Tillières [M731401010]

La station de **la Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]** est en service depuis 1982 et intègre un bassin versant de 93 km². Sur la période étudiée, les chroniques sont très majoritairement de bonne qualité (99,7 % des mesures) avec seulement 0,3 % (48 valeurs de débits journaliers) de données douteuses. Les débits moyens mensuels varient entre 0,02 m^3/s (mois de septembre) et 2,24 m^3/s (janvier) pour un module de 0,79 m^3/s sur la période ciblée.

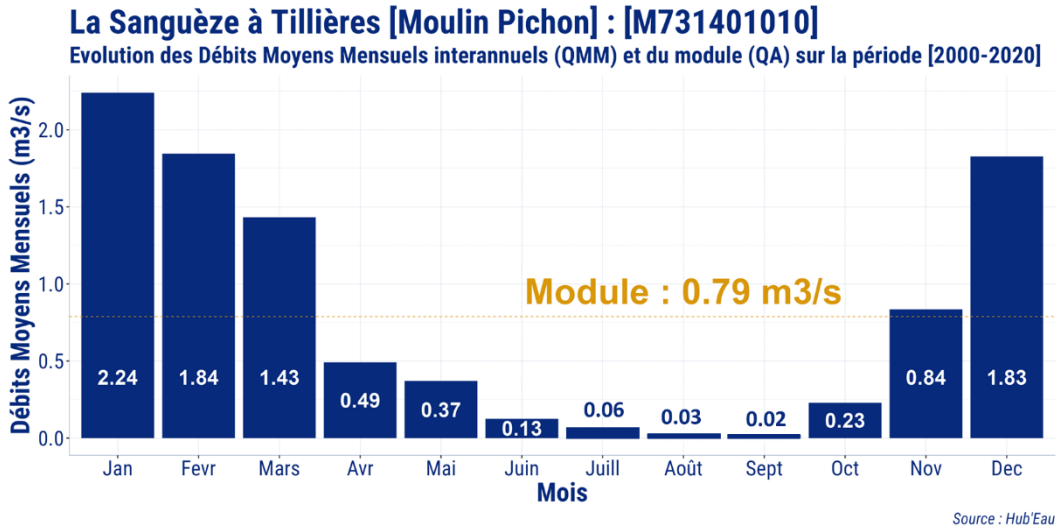


*Figure 19 : Variation du débit moyen mensuel sur la **Sanguèze à Tillières** sur la période 2000 - 2020*

Concernant les extrêmes hydrologiques, le débit journalier maximal observé est de 34,5 m^3/s (26/12/2000) et le débit de crue de référence (QJX10) est de 26,1 m^3/s [21,3 – 37,5].

En étiage, comme pour le Falleron, le plus faible débit enregistré est nul et correspond à un épisode d'assec. Cette situation extrême est observée à plusieurs reprises sur la période ciblée (plusieurs épisodes identifiés notamment en 2003, 2005, 2007 et 2017).

Les débits de référence d'étiage, représentés par les $QMNA_5$ et VCN_{30} secs quinquennaux, correspondent respectivement à des débits de 0,61L/s [0,35 – 0,97] et 0,28 L/s [0, 1 – 0,46].

Cette station est caractérisée par des étiages généralement très sévères comme l'indique le rapport entre $QMNA_5$ et module dont la valeur relative est de 0,077 %, très inférieure au dixième du module (10 %).

*Tableau 10 : Indicateurs d'étiage calculés sur la **Sanguèze à Tillières** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (L/s)	VCN3 (L/s)	VCN7 (L/s)	VCN10 (L/s)	VCN30 (L/s)
La Sanguèze à Tillières [M731401010]	Normale (biennale)	5,14 [± 2,1]	1,07 [± 0,47]	1,33 [± 0,61]	1,47 [± 0,7]	2,7 [± 1,6]
	Sèche (quinquennale)	0,61 [± 0,26]	0	0,053 [± 0,03]	0,082 [± 0,042]	0,28 [± 0,18]
	Humide (quinquennale)	14,9 [± 7,3]	3,47 [± 1,95]	4,15 [± 2,4]	4,62 [± 2,8]	9,43 [± 7,41]

L'analyse des QMNA sur la période d'étude permet de distinguer les années particulièrement sèches sur la période d'étiage (2004, 2005, 2009, 2010, 2012, 2013 ,2016, 2017, 2018, 2019) de celles plus humides (2001, 2002, 2007, 2008). Là encore, comme pour le Falleron, les années 2016 à 2019 sont identifiées comme extrêmement sèches.

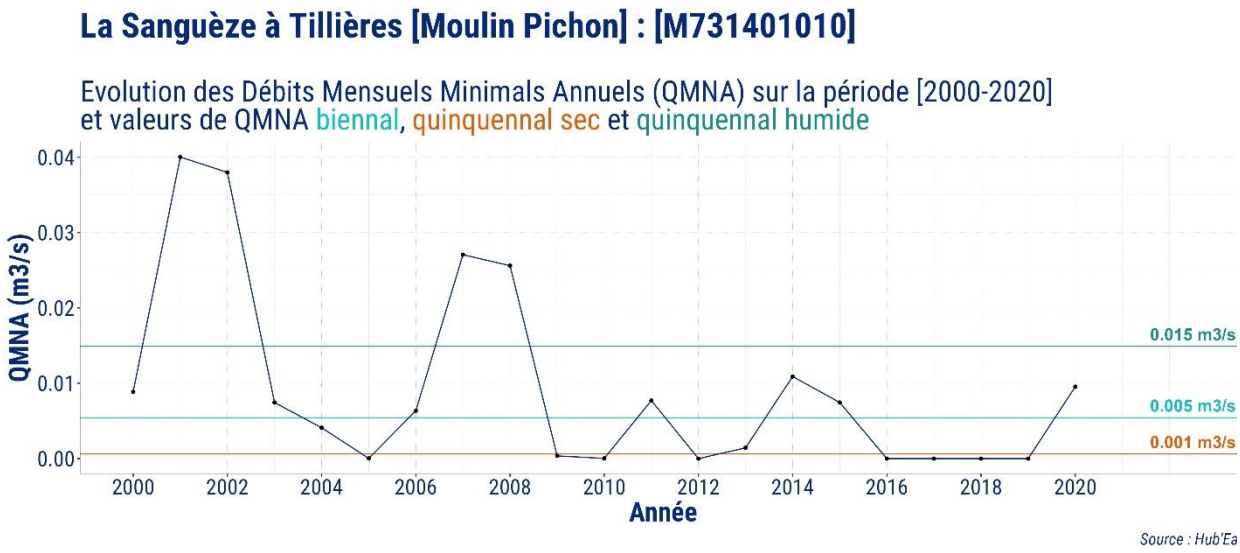


*Figure 20 : Evolution des QMNA sur **Sanguèze à Tillières** vis-à-vis des QMNA de référence calculés sur la période 2000 -2020*

Une analyse similaire est proposée sur l'ensemble des VCN en **ANNEXES 4, 5, 6 et 7.**

3.1.3 Analyse spécifique de la période d'étiage

La notion d'étiage reste aujourd'hui encore très imprécise et ses définitions varient selon le contexte dans lequel elle est mentionnée. Dans le cadre de cette étude, la notion d'étiage s'appuie sur celle définie par

l'INRAE (ex Cemagref et Irstea) dans le cadre de son partenariat avec l'OFB (ex AFB) sur l'étude des impacts des changements globaux et climatiques[10].

Cette méthode est détaillée dans le ***cahier des méthodes.***

Ainsi, l'identification de l'étiage est définie comme la période durant laquelle le débit reste inférieur à un seuil de bas débit donné, en l'occurrence le quantile 15 (Q15) de la courbe de débits classés interannuelle.

Tableau 11 : Quantiles 15 (Q15) des stations hydrométriques

Libellé station	Code station	Période analysée	Q15 (m^3/s)
La Loire à Montjean-sur-Loire	M530001010	2000 - 2020	195,9
L'Erdre à Candé	M632301010	2000 - 2020	0,09
L'Erdre à Nort-sur-Erdre	M633302010	2000 - 2020	0,18
La Logne à Saint-Colomban	M814401010	2000 - 2020	0,006
Le Hâvre à Mésanger	M620401010	2010 - 2020	0,026
Le Gesvres à Treillières	M635702301	2010 - 2020	0,026
La Falleron à Falleron	N011301010	2000 - 2020	0,05
La Sanguèze à Tillières	M731401010	2000 - 2020	0,05

À titre d'exemple, le graphique ci-dessous illustre l'étiage de 2005 sur la station hydrométrique de Nort-sur-Erdre.

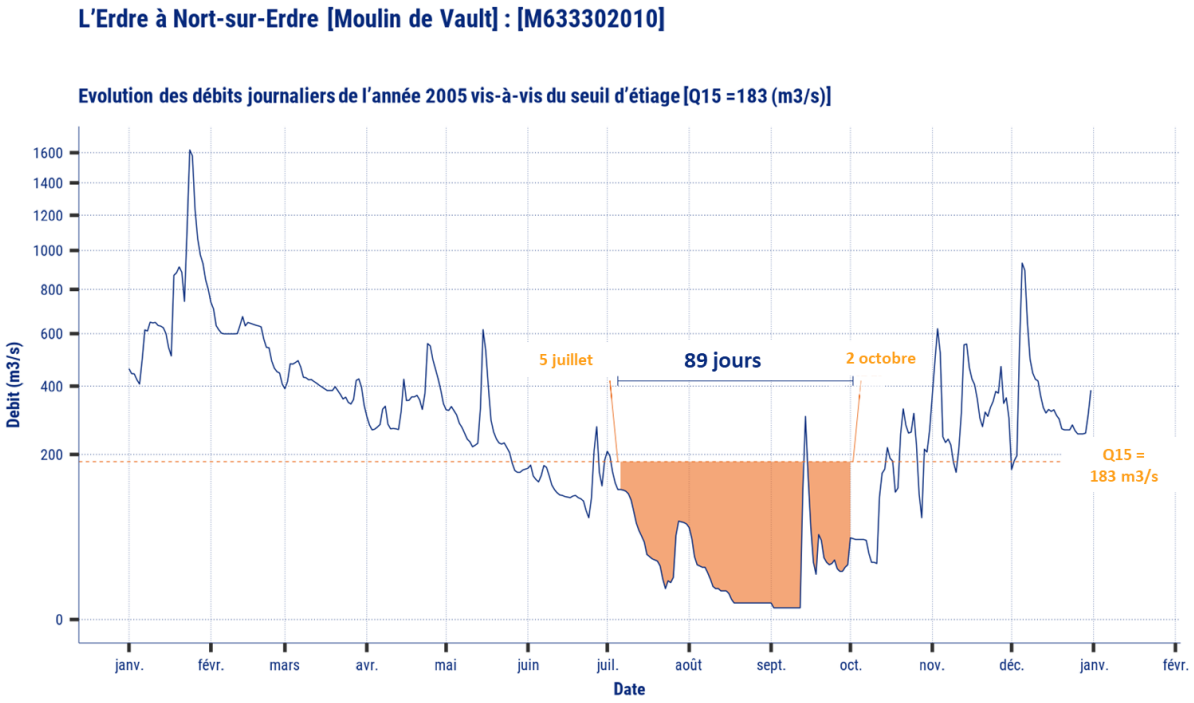


Figure 21 : Illustration de l'étiage pour l'année 2005 sur l'Erdre à Nort-sur-Erdre

Caractéristiques générales des étiages

L'analyse des caractéristiques générales des étiages présentées dans le tableau ci-dessus montre des différences notables entre les stations du territoire :

[10] Évolution des régimes hydrologiques et plus particulièrement les travaux menés sur la mise en place d'un réseau de référence pour la surveillance des étiages (Ignazio GIUNTOLI, Benjamin RENARD ; 2009).

Tableau 12 : Caractéristiques globales des étiages (la durée correspond à la durée de franchissement du Q15)

Libellé station	Code station	Nombre d'épisodes total	Nombre minimal d'épisode	Nombre d'épisodes médian	Nombre d'épisodes maximal	Durée annuelle minimale	Année durée minimale	Durée annuelle médiane	Durée annuelle maximale	Année durée maximale
La Loire à Montjean-sur-Loire	M530001010	37	0	2	5	0	2000	45	175	2011
Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	M620401010	26	0	2	6	0	2014	60	80	2011
L'Erdre à Candé - La Grée	M632301010	110	0	5	13	0	2000	50	162	2005
L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	M633302010	112	0	5	13	0	2000	59	143	2005
Le Gesvres à Treillières	M635702301	28	0	3	6	0	2014	62	90	2010
La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	M731401010	65	0	3	9	0	2001	40	136	2017
La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	M814401010	98	0	4	11	0	2001	50	130	2017
Le Falleron à Falleron	N011301010	203	1	10	21	1	2001	58	134	2017

Ainsi, les étiages sont deux fois plus fréquents sur les stations de l'Erdre (> 5 épisodes annuels) que sur les stations de la Loire à Montjean-sur-Loire (2 épisodes annuels), du Hâvre (2 épisodes annuels) et du Gesvres (3 épisodes annuels).

La durée moyenne annuelle de franchissement du seuil varie entre 45 jours (Loire) et 62 jours sur le Gesvres avec des débits d'étiage plus variables sur les stations de l'Erdre. Les épisodes y sont généralement plus fréquents et globalement plus courts (50 jours en moyenne) que sur les autres stations où l'étiage semble en moyenne plus continu et plus long.

Les années particulières identifiées sur les périodes étudiées[11] sont les années 2000 et 2014, années **humides,** sur lesquelles aucun épisode d'étiage n'est détecté selon la méthode (voir le tableau ci-dessous).

Les années les plus **sèches** pour lesquelles les étiages les plus longs sont identifiés sont les années 2005, 2011 et 2017.

Tableau 13 : Années sans étiage sur les stations du territoire

Libellé station	Code station	Période analysée	Année sans étiage
La Loire à Montjean-sur-Loire	M530001010	2000 - 2020	2000,2001,2007,2008,2013,2014
L'Erdre à Candé	M632301010	2000 - 2020	2000,2001,2008,2014
L'Erdre à Nort-sur-Erdre	M633302010	2000 - 2020	2000,2001,2007,2008
La Logne à Saint-Colomban	M814401010	2000 - 2020	2001
Le Hâvre à Mésanger	M620401010	2010 - 2020	2014
Le Gesvres à Treillières	M635702301	2010 - 2020	2014
La Falleron à Falleron	N011301010	2000 - 2020	Etiages tous les ans
La Sanguèze à Tillières	M731401010	2000 - 2020	2001, 2007, 2008

Volumes déficitaires

L'étiage annuel peut également être caractérisé en termes de **volume déficitaire** qui correspond à la somme des différences entre le seuil d'étiage fixé (Q15) et le volume journalier observé sur la période d'étiage (franchissement de seuil). Le rapport entre le volume déficitaire et le volume total écoulé sur l'année est calculé pour quantifier l'impact de l'étiage.

L'analyse des caractéristiques des volumes déficitaires sur les stations analysées permet de distinguer deux groupes de stations selon les ordres de grandeur :

- La **Loire à Montjean-sur-Loire** sur laquelle le volume déficitaire annuel médian sur la période analysée est de 295 Mm^3 avec un déficit maximal (1 497 Mm^3) observé en 2019 (soit 5 % du volume annuel écoulé) ;

[11] Période 2010 – 2020 analysée pour les stations du Hâvre et du Gesvres.

- Les **autres stations hydrométriques** sur lesquelles le déficit annuel lié à l'étiage est plus faible (entre 20 000 m^3 sur la Logne et 350 000 m^3 sur l'Erdre à Nort-sur Erdre) avec des déficits maximaux observés sur les années 2005 et 2010. Sur ces années sèches, on remarque que les étiages sont particulièrement impactant d'un point de vue quantitatif sur l'Erdre avec un rapport entre volume de déficit et volume annuel compris entre 15 et 20 % en 2005.

Tableau 14 : Caractéristiques des volumes (Mm3) et lames d'eau déficitaires (mm) calculées sur la période analysée

Libellé station	Période analysée	Volume déficitaire médian (Mm3)	Rapport médian (%)	Volume déficitaire moyen (Mm3)	Rapport moyen (%)	Volume déficitaire maximal (Mm3)	Année déficit maximal	Rapport maximal (%)
La Loire à Montjean-sur-Loire	2000-2020	295,32	0,63	384,76	1,09	1497,2	2019	5,11
Le Gesvres à Treillières	2010-2020	0,04	0,26	0,04	0,3	0,08	2010	0,81
L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	2000-2020	0,29	0,37	0,34	1,31	1,47	2005	16,06
Le Falleron à Falleron	2000-2020	0,01	0,13	0,01	0,21	0,04	2017	1,27
L'Erdre à Candé - La Grée	2000-2020	0,07	0,22	0,15	1,57	0,69	2005	18,13
Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	2010-2020	0,03	0,26	0,04	0,25	0,07	2010	0,78
La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	2000-2020	0,02	0,06	0,02	0,09	0,05	2005	0,49
La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	2000-2020	0,01	0,05	0,02	0,15	0,05	2017	1,2

Libellé station	Période analysée	Lame d'eau déficitaire médiane (mm)	Rapport médian (%)	Lame d'eau déficitaire moyenne (mm)	Rapport moyen (%)	Lame d'eau déficitaire maximale (mm)	Année déficit maximal	Rapport maximal (%)
La Loire à Montjean-sur-Loire	2000-2020	2,68	0,63	3,5	1,09	13,61	2019	5,11
Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	2010-2020	0,34	0,26	0,46	0,25	0,93	2010	0,81
L'Erdre à Candé - La Grée	2000-2020	0,42	0,37	0,89	1,57	4,03	2005	16,06
L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	2000-2020	0,62	0,13	0,72	1,31	3,17	2017	1,27
Le Gesvres à Treillières	2010-2020	0,75	0,22	0,69	0,3	1,54	2005	18,13
La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	2000-2020	0,11	0,26	0,19	0,15	0,56	2010	0,78
La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	2000-2020	0,15	0,06	0,16	0,09	0,41	2005	0,49
Le Falleron à Falleron	2000-2020	0,49	0,05	0,46	0,21	1,29	2017	1,2

Le graphique ci-dessous montre l'évolution des volumes déficitaires sur la station de l'Erdre à Nort-sur-Erdre. Les graphiques d'évolution des volumes déficitaires des autres stations hydrométriques sont disponibles en **ANNEXE 8.**

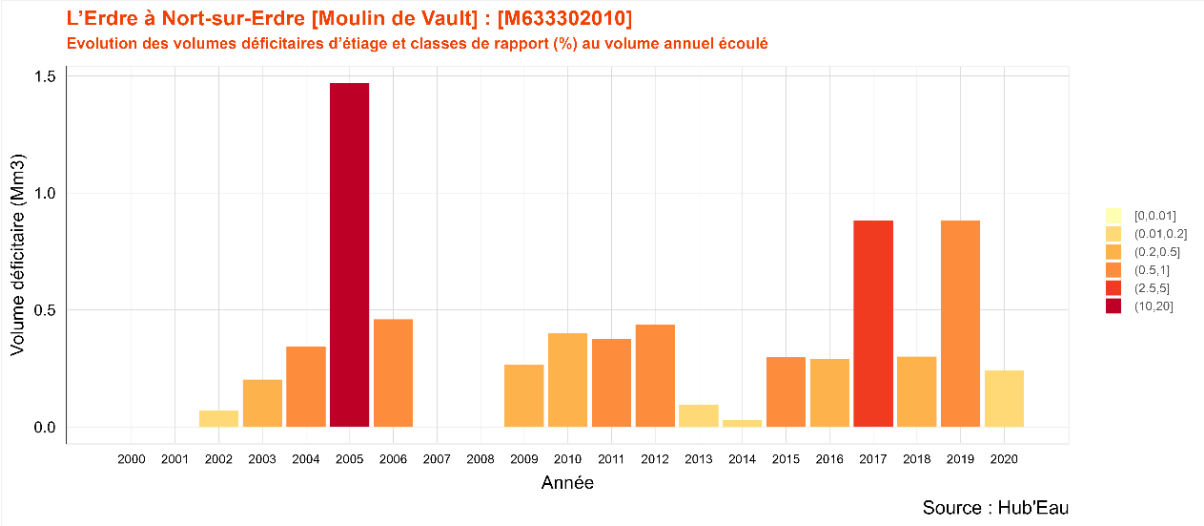


Figure 22 : Evolution des volumes déficitaires annuels d'étiage sur l'Erdre à Nort-sur-Erdre sur la période 2000 - 2020

Temporalité des étiages

La temporalité des étiages peut être définie à partir de 4 variables descriptives : la date d'entrée d'étiage, la date du pic d'étiage, la date de fin d'étiage et la durée de l'étiage.

Sur le territoire, l'analyse de ces variables permet d'extraire les informations présentées ci-dessous.

La **date d'entrée en étiage** (**ANNEXE 9**) est observée :

- Au plus tôt entre **le 1er juin** (Sanguèze) et le **1er juillet** (Falleron). Les dates d'entrée les plus précoces sont observées sur les années 2011 et 2017 ;
- En moyenne entre le **21 juillet** (Falleron) et le **15 août** (Gesvres à Treillières) ;
- Au plus tard entre le **22 août** (Erdre à Nort-sur-Erdre) et le **29 septembre** (Logne).

Tableau 15 : Caractéristiques des dates d'entrée en étiage sur les stations analysées

			ENTREE EN ETIAGE				
Code station	Libellé station	Période	Date + précoce	Année + précoce	Date médiane	Date + tardive	Année + tardive
M530001010	La Loire à Montjean-sur-Loire	2002-2020	6-juin	2011	30-juil.	1-sept.	2016
M620401010	Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	2010-2020	20-juin	2011	11-août	17-sept.	2018
M632301010	L'Erdre à Candé - La Grée	2000-2020	25-juin	2017	31-juil.	15-sept.	2007
M633302010	L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	2000-2020	24-juin	2017	3-août	22-août	2013
M635702301	Le Gesvres à Treillières	2010-2020	29-juin	2011	15-août	21-sept.	2018
M731401010	La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	2000-2020	1-juin	2011	29-juil.	23-sept.	2014
M814401010	La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	2000-2020	26-juin	2011	27-juil.	29-sept.	2007
N011301010	Le Falleron à Falleron	2000-2020	1-juil.	2011	21-juil.	25-sept.	2007

La **date de pic de l'étiage** est observée :

- Au plus tôt entre le **26 juin** (Logne à Saint-Colomban) et le **4 août** (Hâvre à Mésanger). Les pics d'étiage les plus précoces sont observés en 2006 et 2011 ;
- En moyenne entre le **17 août** (Logne à Saint-Colomban) et le **21 septembre** (Gesvres à Treillières) ;
- Au plus tard entre le **26 septembre** (Falleron) et le **5 novembre** (Gesvres à Treillières et Hâvre à Mésanger). Les pics d'étiage les plus tardifs sont constatés sur les années 2007 (Logne, Erdre à Candé), 2017 (Erdre à Nort-sur-Erdre) et 2018 (Loire, Hâvre et Gesvres).

Tableau 16 : Caractéristiques des dates de pic de l'étiage sur les stations analysées

			PIC DE L'ETIAGE				
Code station	Libellé station	Période	Date + précoce	Année + précoce	Date médiane	Date + tardive	Année + tardive
M530001010	La Loire à Montjean-sur-Loire	2002-2020	10-juil.	2011	26-août	6-oct.	2018
M620401010	Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	2010-2020	4-août	2011	20-sept.	5-nov.	2018
M632301010	L'Erdre à Candé - La Grée	2000-2020	27-juil.	2006	6-sept.	21-oct.	2007
M633302010	L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	2000-2020	30-juil.	2006	2-sept.	1-nov.	2017
M635702301	Le Gesvres à Treillières	2010-2020	3-août	2011	21-sept.	5-nov.	2018
M731401010	La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	2000-2020	30-juin	2017	20-août	28-sept.	2014
M814401010	La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	2000-2020	26-juin	2011	17-août	29-sept.	2007
N011301010	Le Falleron à Falleron	2000-2020	3-juil.	2011	24-août	26-sept.	2004

La **date de fin de l'étiage (ANNEXE 10)** est observée :

- Au plus tôt entre le **31 juillet** (Sanguèze) et le **27 août** (Erdre à Nort-sur-Erdre). Les dates de fin d'étiage les plus précoces sont observées sur les années 2002 (Sanguèze, Erdre à Nort-sur-Erdre), 2003 (Erdre à Candé), 2004 (Loire), 2008 (Falleron) et 2011 (Hâvre, Gesvres et Logne) ;
- En moyenne entre le **22 septembre** (Loire) et le **2 octobre** (Sanguèze) ;
- Au plus tard entre le **14 octobre** (Falleron) et le **11 novembre** (Logne à Saint-Colomban). Les dates de fin d'étiage le plus tardives sont constatées en 2007 (Logne), 2009 (Erdre à Nort-sur-Erdre), 2017 (Erdre à Candé et Loire) et 2018 (Hâvre et Gesvres).

Tableau 17 : Caractéristiques des dates de fin d'étiage sur les stations analysées

			FIN DE L'ETIAGE				
Code station	Libellé station	Période	Date + précoce	Année + précoce	Date médiane	Date + tardive	Année + tardive
M530001010	La Loire à Montjean-sur-Loire	2002-2020	6-août	2004	22-sept.	31-oct.	2017
M620401010	Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	2010-2020	11-août	2011	26-sept.	3-nov.	2018
M632301010	L'Erdre à Candé - La Grée	2000-2020	13-août	2003	26-sept.	31-oct.	2017
M633302010	L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	2000-2020	27-août	2002	23-sept.	16-oct.	2009
M635702301	Le Gesvres à Treillières	2010-2020	13-août	2011	29-sept.	4-nov.	2018
M731401010	La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	2000-2020	31-juil.	2002	2-oct.	29-oct.	2018
M814401010	La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	2000-2020	13-août	2011	23-sept.	11-nov.	2007
N011301010	Le Falleron à Falleron	2000-2020	21-août	2008	23-sept.	14-oct.	2009

La **durée de l'étiage** varie dans les gammes suivantes :

- Les **étiages les plus courts** correspondent à des durées comprises entre **2 jours** (Sanguèze en 2022) et **24 jours** (Erdre à Nort-sur-Erdre en 2002) ;
- La **durée médiane des étiages** est comprise entre **44 jours** (Gesvres à Treillières) et **62 jours** sur la Falleron à Falleron ;
- La **durée maximale des étiages** observés varie entre **74 jours** (Gesvres à Treillières en 2017) et **134 jours** sur la Loire en 2011.

Tableau 18 : Caractéristiques de la durée des épisodes d'étiage sur les stations analysées

			DUREE DE L'ETIAGE				
Code station	Libellé station	Période	Durée min	Année durée min	Durée médiane	Durée max	Année durée max
M530001010	La Loire à Montjean-sur-Loire	2002-2020	16	2010	54	134	2011
M620401010	Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	2010-2020	9	2015	47	77	2017
M632301010	L'Erdre à Candé - La Grée	2000-2020	3	2013	47	128	2017
M633302010	L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	2000-2020	24	2002	53	102	2011
M635702301	Le Gesvres à Treillières	2010-2020	6	2015	44,5	74	2017
M731401010	La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	2000-2020	2	2002	57	125	2011
M814401010	La Logne à Saint-Colomban [La Roussière]	2000-2020	0	2000	55	98	2017
N011301010	Le Falleron à Falleron	2000-2020	0	2001	62	85	2014

3.2 LE RESEAU ONDE

3.2.1 Localisation des sites d'observation

L'Observatoire National Des Etiages (ONDE) a été mis en place en 2012 par l'ONEMA (désormais Office français de la biodiversité) dans le but de constituer un réseau de connaissance stable sur les étiages estivaux et d'être un outil d'aide à la gestion des périodes de crise hydrologique.

Les sites ONDE sont représentatifs des contextes hydrographiques de chaque département et permettent le suivi des étiages estivaux en caractérisant leur occurrence et leur intensité.

Les observations visuelles réalisées dans le cadre de ce réseau correspondent à deux types de suivis :

- **Le suivi usuel** qui vise à constituer un réseau de connaissance. Les observations faites dans ce cadre doivent être stables dans le temps afin de constituer des jeux de données historiques. Ce type de suivi est réalisé systématiquement chaque année, au moins une fois par mois, entre mai et septembre.
- **Le suivi complémentaire** qui contribue à une meilleure connaissance des situations extrêmes et peut être activé à tout moment par le préfet ou par les services départementaux de l'OFB.

Ces observations permettent d'identifier 4 modalités de perturbations de l'écoulement :

- Ecoulement visible ;
- Ecoulement visible faible ;
- Ecoulement non visible ;
- Assec.

Sur le territoire d'étude, le réseau ONDE se déploie à travers **15 stations d'observation** qui sont globalement bien réparties sur le territoire. À l'exception de l'entité Acheneau - Tenu marquée par l'absence de sites de suivis, l'ensemble des entités sont associées à au moins une station caractérisée par des observations sur la **période 2012 – 2020.**

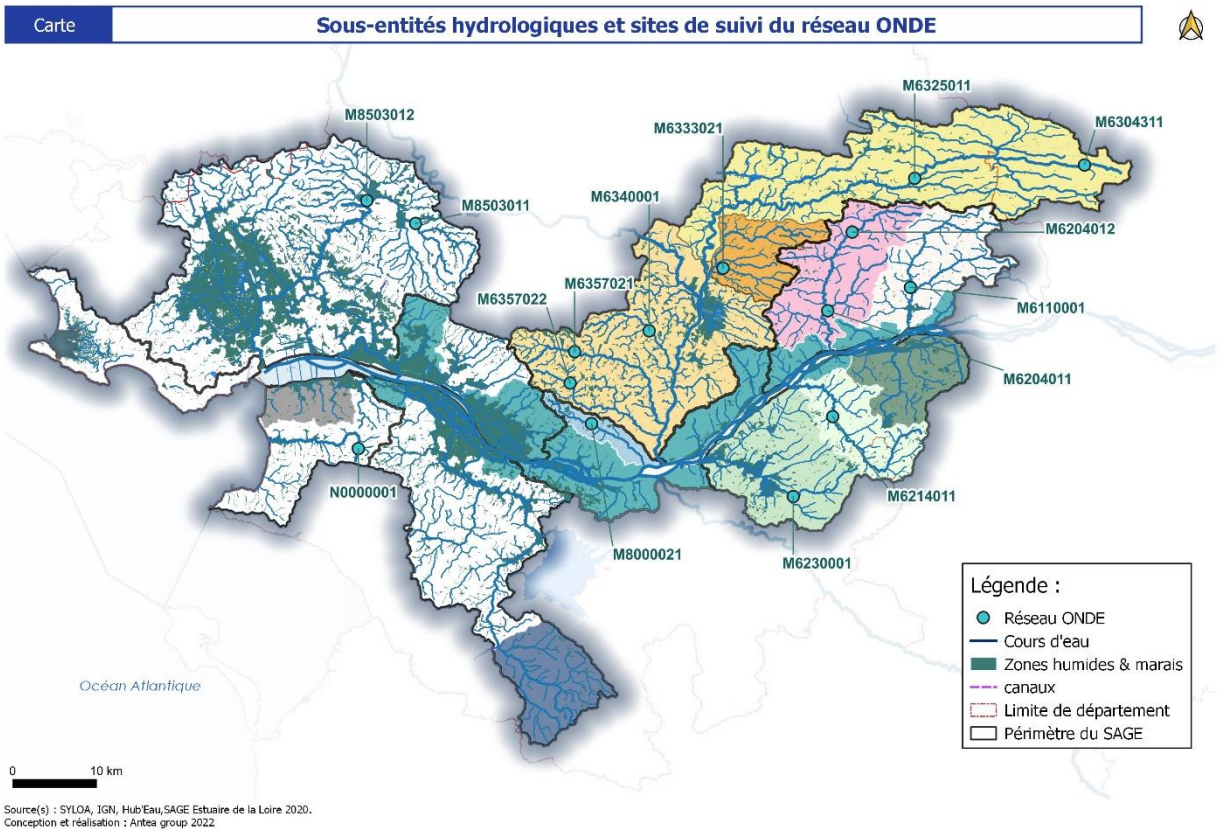


Figure 23 : Localisation des sites d'observation du réseau ONDE

Plusieurs syndicats ont mis en place des réseaux de suivi locaux équivalents sur leurs territoires.

Ainsi, le Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire (SAH), désormais Syndicat Grand Lieu Estuaire (SGLE), a déployé un réseau de suivi des assecs sur le secteur amont de son territoire depuis 2013. La localisation de ces sites de suivis de suivi est présentée ci-dessous :

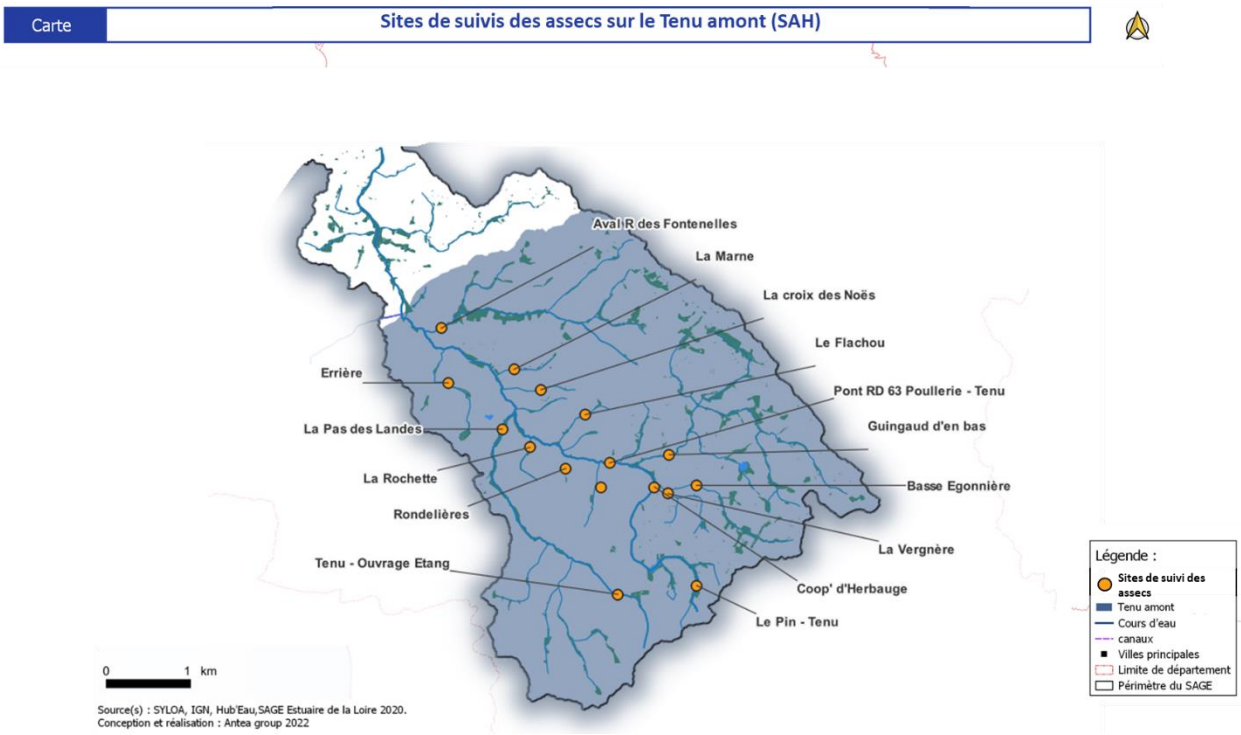


Figure 24 : Localisation des points de suivi des assecs du SAH (maintenant SGLE) sur la sous-entité Tenu amont

Le SYLOA, sur l'entité Goulaine - Divatte – Robinets, a mis en place un suivi photographique permettant d'apprécier qualitativement les niveaux d'eau en complément de suivis de hauteurs d'eau / débits implantés.

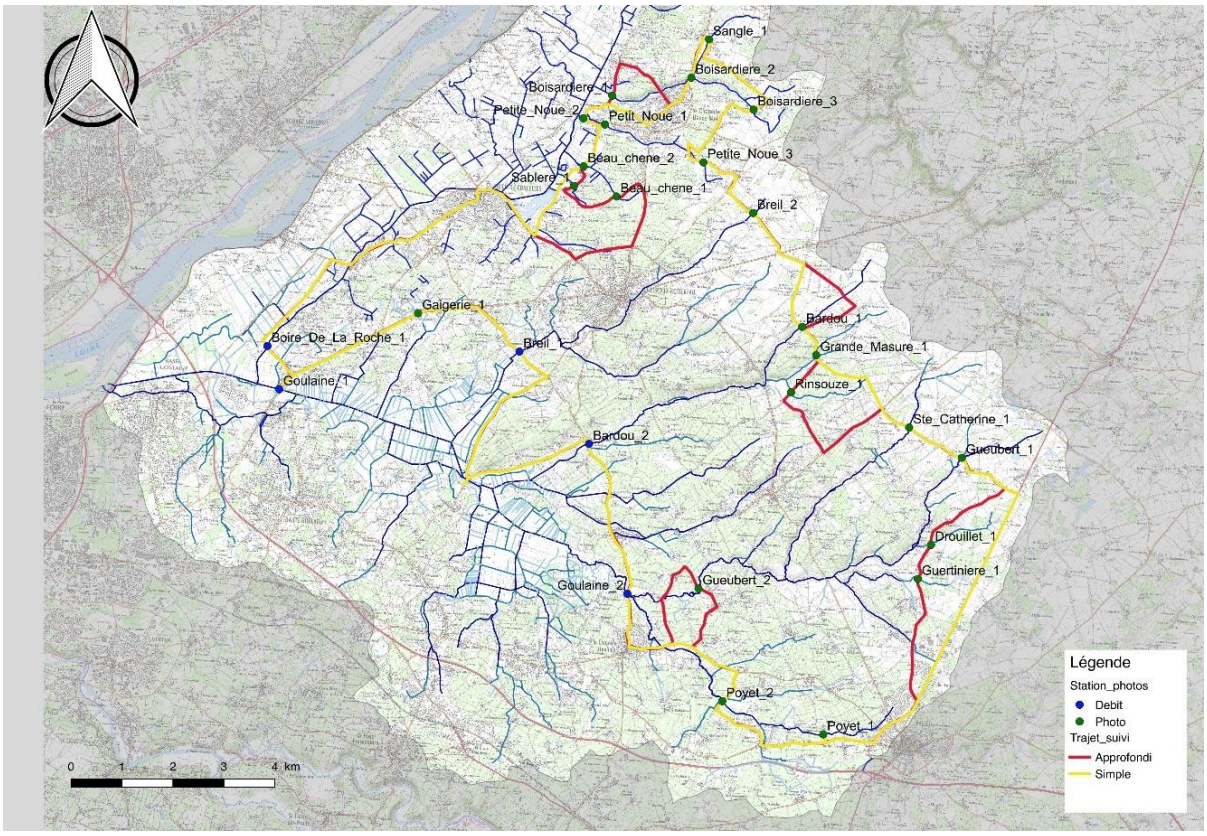


Figure 25 : Implantation du suivi photographique sur le bassin versant de la Goulaine

3.2.2 Analyse générale des observations

L'analyse globale des observations ONDE sur la période 2012 – 2020 permet de distinguer plusieurs groupes de stations comme illustré sur la figure ci-dessous :

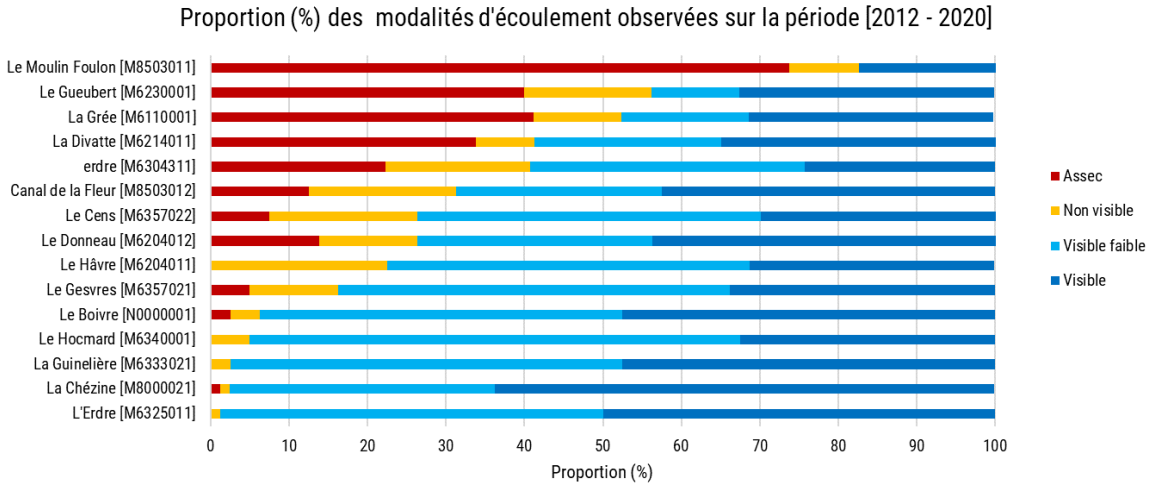


Figure 26 : Répartition des proportions des écoulements critiques (assecs, non visibles) et visibles (visibles, visibles faibles)

On distingue ainsi :

- Les sites de suivis sur lesquels la proportion d'observations traduisant une situation critique (assec et écoulement non visible) est majoritaire (plus de 50 % des observations réalisées sur la période). Il s'agit des sites du **Moulin Foulon (sous-entité Brivet amont)**, du **Gueubert (sous entité de la Goulaine)** et du **Grée (sous-entité du Grée)**. Dans une moindre mesure les sites localisés sur la **Divatte** et **l'amont de l'Erdre** affichent des proportions importantes (40 %). Le suivi local du SGLE met également en avant les cours d'eau du Tenu amont dans cette catégorie.

- Les sites sur lesquels les situations critiques sont représentées de manière significative mais ne sont pas majoritaires par rapport à l'ensemble des observations réalisées. Il s'agit des sites de suivi du **Canal de la Fleur (sous-entité Brivet amont)**, du **Cens (sous entité Erdre aval)**, du **Donneau (sous entité du Hâvre)**, du **Hâvre (sous-entité du Hâvre)** et du **Gesvres (sous-entité Erdre aval).**

- Les sites de suivis caractérisés par une faible proportion de situations critiques observées. Sur ces stations, l'écoulement est majoritairement visible : L'**Hocmard (sous-entité Erdre aval)**, La **Guinélière (sous-entité de l'Erdre amont)**, la **Chézine (sous-entité de la Chézine), la Boivre (sous entité de la Boivre)** et **l'Erdre (sous-entité de l'Erdre amont)**.

L'analyse des évolutions annuelles et mensuelles est disponible pour chaque site de suivi dans le chapitre suivant.

3.3 LES DONNEES MODELISEES

3.3.1 La base de données LOIEAU

*Dans le cadre de ses missions de recherche et d'appui aux politiques publiques, l'INRAE avec l'aide de financements de l'OFB a développé une méthode visant à caractériser des **indices statistiques d'étiage**, de bilan et de saisonnalité sur l'ensemble du réseau hydrographique métropolitain.*

Une base de données informatique (BD LoiEau) propose une estimation des indices statistiques sur des territoires dépourvus d'information à destination des DREAL, sollicitées par les services de Police de l'Eau pour la mise en application de la réglementation sur les débits réservés.

Malgré l'existence d'autres jeux de données hydrologiques issus de travaux de modélisation et disponibles sur le territoire (notamment les chroniques de débits modélisées au droit des sites de suivis hydro-biologiques par l'OFB et l'INRAE[12]), les chroniques LOIEAU ont été préférées pour plusieurs raisons :

- Période couverte par des débits journaliers modélisés longue, intégrant la période ciblée pour l'étude ;
- Très forte densité de points de modélisation sur le territoire avec des points localisés à proximité des exutoires des entités et sous-entités.

Parmi ces points, 32 ont été sélectionnés compte tenu de leur proximité des exutoires des sous-bassins versants du territoire.

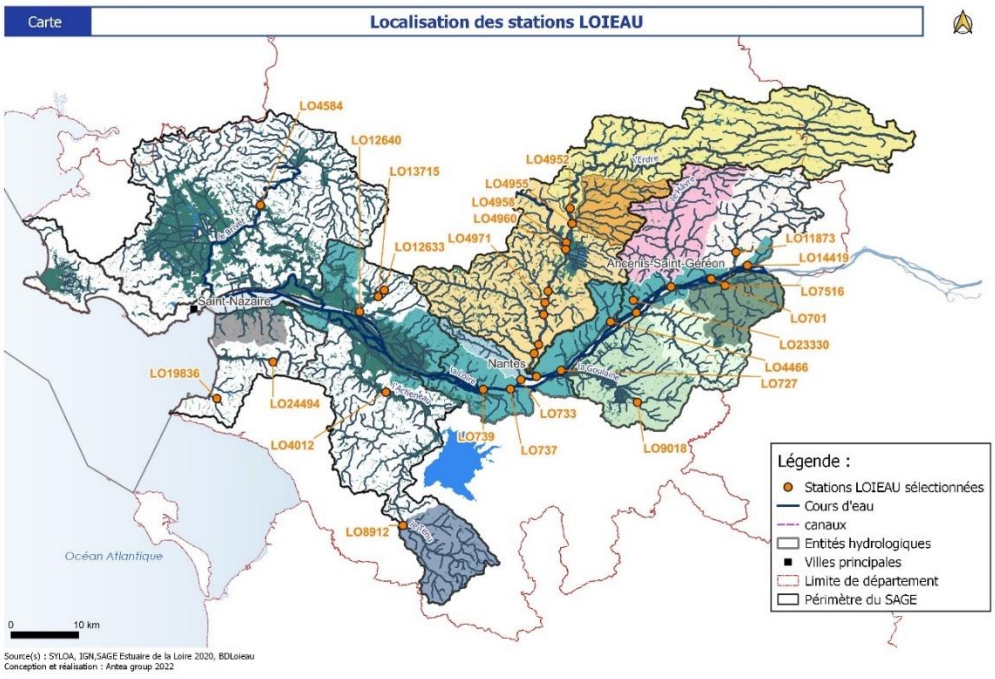


Figure 27 : Localisation des stations LOIEAU disponibles sur le territoire et de l'échantillon sélectionné

Sur le territoire d'étude, **874 points de modélisation** LOIEAU sont disponibles. Ces points sont généralement situés au niveau des confluences / diffluences du réseau hydrographique. Pour chacun de

[12] https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/2014_026.pdf

ces points, des **chroniques de débits journaliers modélisées** sont disponibles sur la période 1970 – 2019 qui couvre presque l'intégralité de la ciblée et représentent des **débits pseudo-naturels** qui n'intègrent pas les modifications de régimes hydrologiques engendrées par les différents usages locaux de la ressource (ex : barrage, prélèvement industriel important, captage pour l'adduction en eau potable, etc.).

De plus, un indice de confiance permet de caractériser la validité des données modélisées et des intervalles de confiance (borne inférieure et supérieure), et encadre la valeur théorique modélisée.

Une synthèse des principales caractéristiques des données LOIEAU est disponible en **ANNEXE 11.**

Les chroniques de débits journaliers LOIEAU qui seront analysées correspondent à une sélection de 32 stations LOIEAU (cf. carte ci-dessus) localisées au niveau des exutoires des entités, sous-entités ou sous-bassins identifiés pour l'analyse. Ces chroniques, ainsi que les indicateurs hydrologiques extraits, seront analysés dans deux cas de figures :

- Analyse comparative des chroniques reconstituées par le biais d'autres méthodes (transfert de bassin, pluie – débit) ;
- Calcul d'indicateurs dans le cas où l'entité n'est associée à aucune autre source de données hydrologiques.

À noter que dans cet exercice de comparaison, seule la dynamique des chroniques de débits journaliers sera évaluée. En effet, les chroniques comparées avec LOIEAU (pseudo-naturelles) seront des chroniques influencées par les usages. De plus, il est important de noter que le modèle GR2Loieau utilisé pour modéliser les chroniques est un modèle focalisé sur la période d'étiage. Ce modèle est de fait moins performant sur la période de hautes eaux.

3.3.2 Les chroniques modélisées sur les stations RRP - BDMAP

*La reconstitution de chroniques hydrologiques journalières ponctuelles, au droit de **sites d'échantillonnage écologique et/ou de suivi de la qualité de l'eau** (Réseau RRP – BDMAP)[13] est issue d'un travail de recherche de l'INRAE pour faciliter l'interprétation des suivis hydro-biologiques. En effet, ces débits reconstitués visent à fournir aux gestionnaires des ordres de grandeur concernant les débits journaliers et leur variabilité au cours des jours (et des années) qui ont précédé la mesure de qualité de l'eau ou du milieu.*

Sur le territoire, **17 sites** de suivis hydro-biologiques ont fait l'objet de modélisation pluie-débit pour reconstituer les chroniques de débits journaliers sur la période 1950 – 2016. Les chroniques disponibles sont fournies avec des bornes d'incertitudes (5% et 95%). De la même manière que pour les chroniques LOIEAU, les débits journaliers modélisés correspondent à des débits pseudo-naturels.

Une synthèse des principales caractéristiques des données modélisées RRP-BDMAP est disponible en **ANNEXE 12.**

[13] Le RRP est le Réseau de Référence Pérenne mis en œuvre pour conforter la connaissance des conditions de référence qui servent à définir le bon état écologique de la DCE par type de masse d'eau.

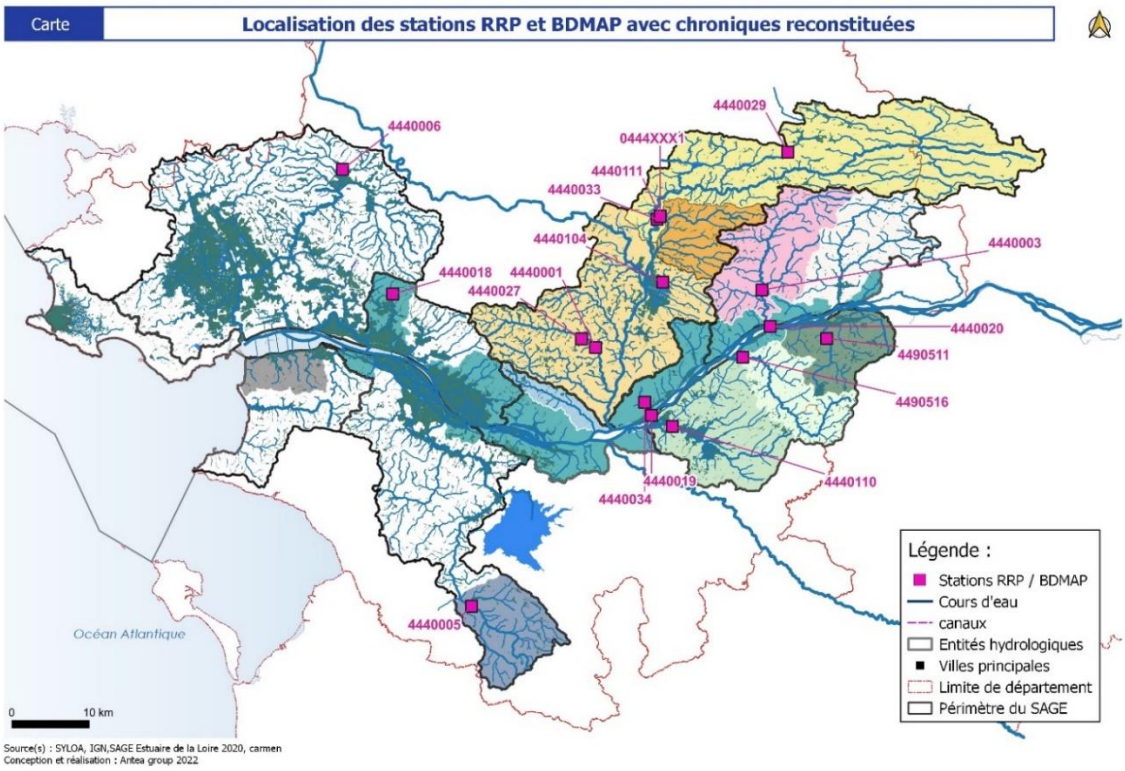


Figure 28 : Localisation des sites RRP-BDMAP ayant fait l'objet d'une modélisation pluie-débit

Les chroniques de débits journaliers sur les stations disponibles seront analysées dans certains cas de figures, et notamment afin de valider les différentes méthodes de reconstitution des régimes hydrologiques aux exutoires des sous-entités.

4 Reconstitution des régimes hydrologiques aux exutoires des entités

Ce quatrième chapitre présente pour chaque entité hydrologique, les résultats de l'analyse hydrologique par sous-entité qui se décompose comme suit :

- Dans un premier temps, les méthodes mises en œuvre pour reconstituer les régimes hydrologiques sont détaillées et critiquées ;
- Dans un second temps, l'analyse des régimes hydrologiques est présentée sur la base de graphiques et de tableaux reprenant les principaux indicateurs calculés.

> *Les résultats présentés dans cette première partie constituent la base de l'analyse croisée des quatre volets de l'étude (diagnostic HMUC). Néanmoins, ces résultats devront au préalable être complétés par une **analyse détaillée des usages de l'eau** qui permettra d'obtenir pour chaque entité et sous-entité des **chroniques de régimes hydrologiques influencés et naturels.***

Dans ce chapitre, plusieurs éléments de méthodes sont cités :

- Méthode de transfert de bassin ;
- Modélisation pluie – débit ;
- Comparaison de séries temporelles ;
- Méthode d'analyse de l'étiage (méthode de seuils et indicateurs associés).

L'ensemble de ces méthodes sont présentées en détails dans le **cahier des méthodes de la phase 2** qui est joint à ce rapport.

4.1 ELEMENTS INTRODUCTIFS

Le périmètre d'étude a été subdivisé en 9 entités hydrologiques qui correspondent à des ensembles homogènes, elles-mêmes découpées en 29 sous-entités. Ces entités constituent l'échelle de travail et de diagnostic de l'étude HMUC. C'est notamment à cette échelle que seront proposées, à la suite de l'analyse croisée des 4 volets, des règles de gestion de la ressource basées sur les caractéristiques de chaque entité. Dans ce cadre, le diagnostic transversal aux 4 volets reposera sur une information de base : le débit ou régime hydrologique à l'exutoire de chaque entité et sous-entité.

Néanmoins, l'analyse des suivis hydrométriques existants (Chapitre 2) montre que le territoire est caractérisé par un suivi limité couvrant seulement 2 des 9 entités hydrologiques. Face à ce constat, la connaissance des régimes hydrologiques au droit des exutoires des entités hydrologiques nécessite la mise en place de méthodes de reconstitution adaptées au contexte de chaque entité.

Ainsi, plusieurs méthodes de reconstitution ont été testées, analysées et comparées sur les entités du territoire :

- **La méthode de transfert de bassin,** ou modélisation débit – débit, basée sur une translation de débit dans le cas où il existe un site instrumenté sur un bassin voisin semblable au bassin étudié.
- **L'exploitation de chroniques de débits journaliers modélisées par l'INRAE** (modélisation de type pluie - débit). Deux types de données disponibles (LOIEAU et RRP) sont analysées et exploitées sur le territoire pour reconstituer les régimes hydrologiques sur les entités et sous-entités non instrumentées pour le suivi hydrométrique.
- **Des méthodes plus complexes** combinant les deux méthodes précédentes sont également appliquées, notamment sur les sous-entités de l'Erdre (Erdre amont, Erdre aval).

Une analyse comparative de ces différentes méthodes a pu être réalisée sur deux sous-entités hydrologiques : le Tenu amont et la Divatte. De manière générale, cette analyse montre que :

- La méthode de reconstitution par transfert permet de reconstituer simplement et fidèlement les régimes hydrologiques aux exutoires. En effet, les indicateurs hydrologiques obtenus sont cohérents avec les indicateurs calculés sur les chroniques modélisées au droit des stations RRP-BDMAP, localisées au niveau des exutoires, à différents pas de temps (module, saisonnalité hautes eaux / basses eaux, débits moyens mensuels, indicateurs d'étiage comme les QMNA ou le $QMNA_5$).
- Les chroniques modélisées LOIEAU semblent surestimer les débits notamment en période d'étiage avec des facteurs multiplicatifs parfois très élevés sur certains indicateurs ($QMNA_5$, VCN) par comparaison aux indicateurs calculés par transfert ou aux indicateurs calculés sur les chroniques modélisées des sites RRP-BDMAP. L'analyse des indicateurs montre également un décalage de la saisonnalité des régimes hydrologiques (périodes de hautes eaux et de basses eaux) par rapport aux autres sources de données exploitées.

Sur la base de cette analyse, les sources de données seront sélectionnées comme suit pour reconstituer de manière la plus fidèle les régimes hydrologiques des entités et sous-entités non-instrumentées :

- 1) La méthode de reconstitution par transfert est appliquée si des stations hydrométriques sont localisées dans des contextes semblables au secteur étudié ;
- 2) Si la méthode de reconstitution par transfert n'est pas applicable et qu'un site RRP-BDMAP est localisé sur le secteur, les données modélisées associées à ce site seront exploitées préférentiellement aux données LOIEAU ;
- 3) Si la méthode de transfert n'est pas applicable et qu'il n'existe pas de site RRP-BDMAP, les données LOIEAU seront exploitées en tenant compte de la surestimation identifiée.

L'étape de croisement des débits reconstitués aux exutoires avec les données d'usages (prélèvements / rejets et transferts d'eau) permettra d'affiner cette analyse comparative. Dans ce contexte, il est donc important de distinguer le type de débit reconstitué pour chaque entité et sous-entité hydrologique en fonction de la méthode appliquée :

- Les débits influencés par les différents usages de l'eau sont les débits mesurés au droit des stations hydrométriques. Par conséquent, les débits reconstitués par méthode de transfert appartiennent à cette catégorie.

  Ces débits devront être désinfluencés lors du croisement avec le volet Usages.

- Les débits pseudo-naturels correspondent aux débits reconstitués à partir des modélisations pluie – débit de l'INRAE. Par définition, ces chroniques de débits n'intègrent pas l'impact des activités anthropiques sur les régimes hydrologiques.

  Ces débits devront être réinfluencés lors du croisement avec le volet Usages.

La carte synthétique présentée ci-dessous rappelle les méthodes retenues pour chaque sous-entité :

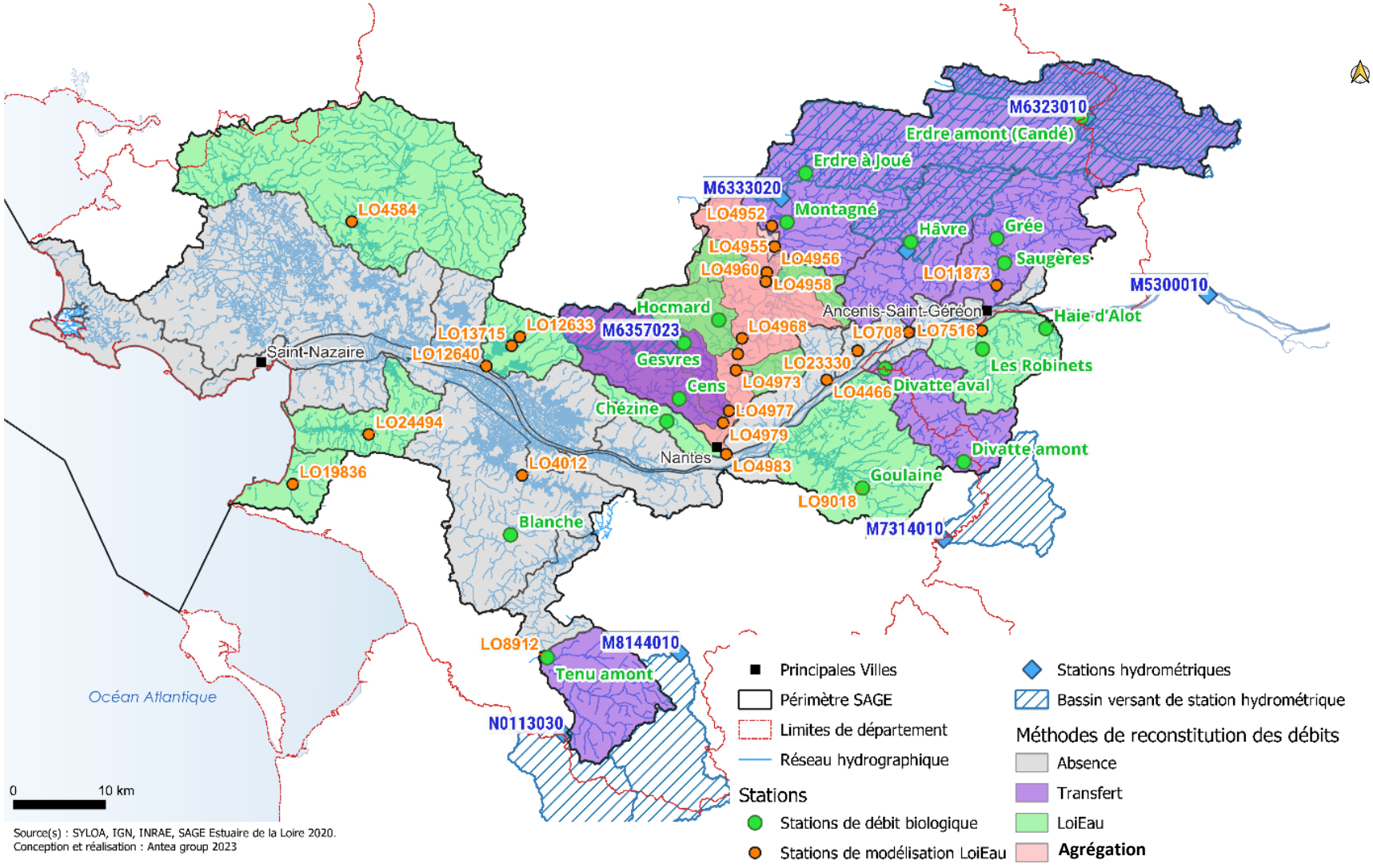
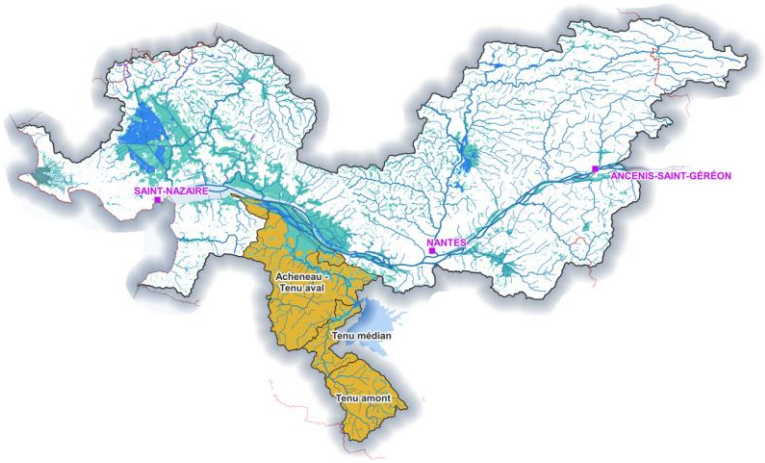


Figure 29 : Synthèse des méthodes de reconstitution des régimes hydrologiques par entités et sous-entités hydrologiques

4.2 ENTITE ACHENEAU-TENU

L'entité **Acheneau-Tenu** est décomposée entre 4 sous-entités hydrologiques :

- Le Tenu amont (119 km²)
- Le Tenu médian (55 km²)
- L'Acheneau et le Tenu aval (272 km²)



4.2.1 Sous-entité du Tenu amont

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 19 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Tenu amont***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	Transfert	Influencé	119

La sous-entité du **Tenu amont** correspond au bassin versant localisé en amont de la station de pompage de la Pommeraie (119 km²). Ce secteur fait partie des sous-entités non instrumentées. Deux sources de donnée hydrologique sont disponibles : un point de modélisation RRP (4440005) un point de modélisation LOIEAU (LO8912). Néanmoins, deux stations hydrométriques situées sur des bassins voisins et présentant des contextes *a priori* similaires peuvent être mobilisées :

- Le **Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte [N011301010]** qui draine un bassin de 99 km² et dispose de chroniques journalières de bonne qualité à partir de 1995 ;
- La **Logne à Saint-Colomban [M814401010]** qui capte un bassin de 131 km² et affiche des chroniques de débits journaliers complètes sur la période ciblée.

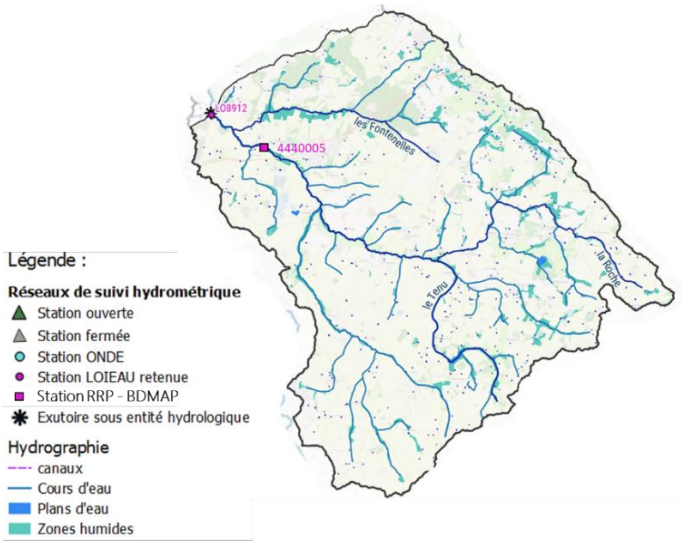


*Figure 30 : Carte de contexte de la sous-entité du **Tenu amont***

Les caractéristiques de ces stations sont détaillées en **ANNEXES 1 et 2.**

Le régime hydrologique à l'exutoire de cette sous-entité sera reconstitué par méthode de transfert de bassin à partir de ces deux stations hydrométriques. Les débits journaliers obtenus sont comparés à la chronique LOIEAU. Le régime hydrologique reconstitué correspond à la chronique reconstituée présentant les meilleurs résultats de comparaison.

Reconstitution des régimes hydrologiques

L'analyse comparative de la dynamique des chroniques journalières modélisées par méthode de transfert à partir des stations hydrométriques du Falleron [N011301010] et de la Logne [M814401010] avec le point de modélisation LOIEAU (LO8912) localisées au plus proche de l'exutoire montre que la chronique reconstituée à partir de la station de la Logne affiche une meilleure dynamique (r = 0,47) par rapport à celle associée au Falleron (r = 0,44) et des écarts moins importants.

*Tableau 20 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur le **Tenu amont***

Sous-entité	Station transfert	LOIEAU	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Tenu amont	Falleron [N011301010]	LO8912	2000-2020	0,44	0,293	3,279	1,349	10045,2
	Logne [M814401010]	LO8912	2000-2020	0,47	0,012	2,226	1,103	8290,7

*La chronique reconstituée par méthode de transfert à partir de la station de **la Logne** est retenue pour la caractérisation du régime hydrologique du Tenu amont. Les indicateurs calculés sur les chroniques journalières reconstituées à partir de la station du Falleron sont mentionnés à titre informatif dans les tableaux présentés ci-après.*

Caractérisation du régime hydrologique

La comparaison des régimes hydrologiques sur une année moyenne montre que les modules calculés sur les chroniques modélisées par transferts et la chronique LOIEAU sont similaires et permet de vérifier que la dynamique est également satisfaisante au pas de temps annuel.

*Tableau 21 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le **Tenu amont** calculées sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (QA)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation transfert - Falleron	1,38 m^3/s	Avril	Novembre	8 mois
Modélisation transfert - Logne	1,07 m^3/s	Avril	Novembre	8mois
LOIEAU (LO8912)	1,08 m^3/s	Juin	Décembre	7 mois
RRP-BDMAP (4440005)	0,77 m^3/s	Avril	Octobre	7 mois

Néanmoins, le graphique présenté ci-dessous montre que :

- Les **débits LOIEAU** semblent être sous-évalués sur la période de hautes eaux (notamment de novembre à février). Cette observation est principalement liée à la modélisation LOIEAU qui est moins performante sur la période de hautes eaux (cf. chapitre 2.4.1.).
- Les **débits reconstitués par transfert** sont très inférieurs aux débits LOIEAU sur la période de basses eaux et notamment sur la période correspondant *a priori* à l'étiage (juillet à septembre). Cette différence sur les débits moyens des mois concernés pourrait s'expliquer par :

- L'influence des usages sur les débits d'étiages. Cette hypothèse sera vérifiée lors de l'étape de renaturalisation des débits (ou de réinfluence des débits LOIEAU).
- Un biais dans la méthode de transfert lié à une pression « usages » différente entre le bassin donneur et le bassin receveur.

Les **chroniques modélisées sur les sites RRP et BDMAP** semblent mieux reconstituer les débits de hautes eaux (décembre, janvier) qui restent toutefois sous-évalués. Les valeurs semblent également plus cohérentes sur la période de basses eaux.

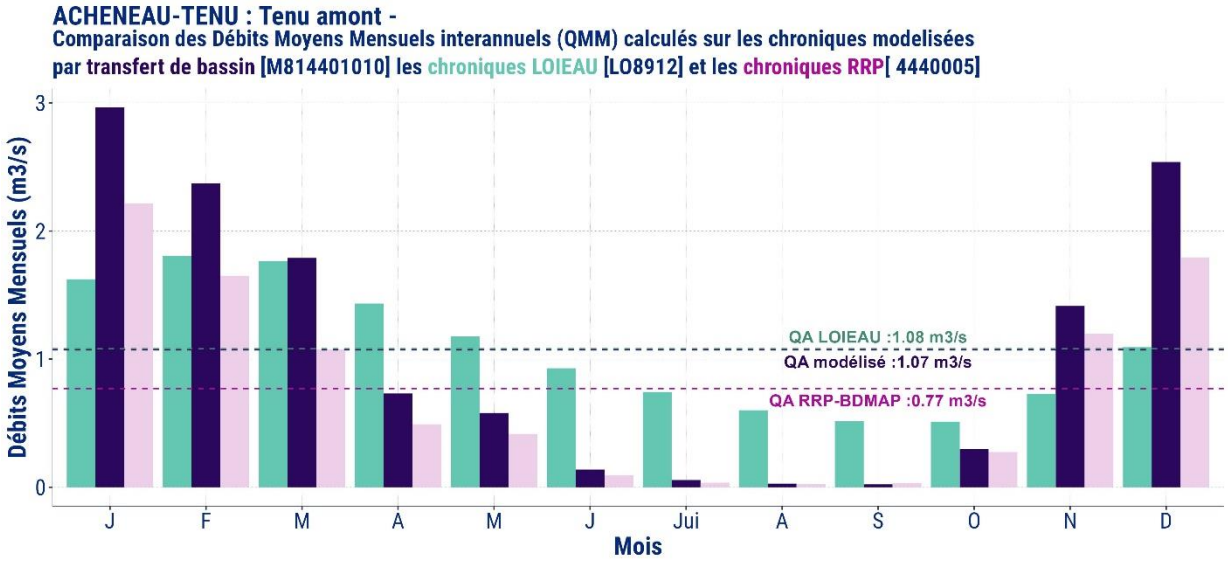


*Figure 31 : Débits moyens mensuels interannuels et modules sur le **Tenu amont***

L'analyse comparative des trois sources de données confirme la surestimation des débits moyens en période d'étiage par LOIEAU sur le secteur d'étude.

Analyse de la période d'étiage

*Tableau 22 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Tenu amont** sur la période 2000 – 2020*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert - Falleron	Normale	17,2± 5,6	4 ± 1,1	6,1 ± 1,7	7,3 ± 2,2	13,9 ± 3,7
	Sèche	7,2 ± 2,6	0	0,77 ± 0,2	1,4 ± 0,5	5,3 ± 1,6
	Humide	34,7 ± 13,9	10,6 ± 3,4	14,6 ± 4,9	17,2 ± 6,3	27,8 ± 9
Transfert - Logne	Normale	6,3 ± 2,2	0,9 ± 0,3	1,2 ± 0,6	1,3 ± 0,7	3,4 ± 1,3
	Sèche	0,92 ± 0,4	0	0	0	0,07 ± 0,03
	Humide	16,2 ± 7,1	2,7 ± 1,3	3,9 ± 2,3	4,5 ± 2,9	9,7 ± 4,5
LOIEAU (LO8912)	Normale	471 ± 7,7	420 ± 6,3	421,7 ± 55,6	424,8 ± 53,8	410,7 ± 7,4
	Sèche	391,6 ±7,4	352,4 ± 6,1	372 ± 55,8	376,1 ± 54,1	341,6 ± 7,1
	Humide	553,6 ± 10,6	489,5 ± 8,5	484,1 ± 76,2	485,4 ± 7,2	481,9 ± 10,1
RRP-BDMAP (4440005)	Normale	7 ± 2	2,95± 0,58	3,1 ± 0,6	3,2 ± 0,64	4,37 ± 2
	Sèche	2,4 ± 0,75	1,08 ± 0,23	1,1 ± 0,24	1,13 ± 0,25	1,56 ± 0,8
	Humide	14,3 ± 5	5,5 ± 1,26	5,8 ± 1,36	6,07 ± 1,46	10 ± 6

L'analyse comparative des principaux indicateurs d'étiage entre les différentes chroniques montre qu'il existe une différence significative entre les indicateurs. Les indicateurs calculés sur la chronique pseudo-naturelle LOIEAU affichent des valeurs nettement plus élevées que celles calculées sur les chroniques influencées reconstituées par transfert, qui présentent des résultats proches de ceux extraits des chroniques RRP-BDMAP.

Les écarts observés entre les différentes sources de données seront analysés et critiqués lors de l'étape de renaturalisation des débits. Cette étape permettra également de statuer sur la chronique la plus cohérente vis-à-vis du contexte du Tenu amont.

4.2.2 Sous-entité du Tenu médian

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 23 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Tenu médian***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	Aucune	-	55

La sous-entité du **Tenu médian** n'est pas instrumentée pour le suivi du régime hydrologique du Tenu et de ses affluents.

Cette entité fait partie intégrante d'un **système de gestion hydraulique** complexe géré par le Syndicat Grand Lieu Estuaire (SGLE). Au sein de ce système, l'axe du Tenu médian joue un rôle central puisqu'il permet :

- D'acheminer de l'eau douce prélevée en Loire entre juin et septembre. Cette eau en transit dans l'Acheneau est pompée vers la station de la Pommeraie puis acheminée vers le Falleron via un canal d'irrigation. Ce système permet d'alimenter 10 500 hectares du Marais Breton.
- D'évacuer les eaux de pluie excédentaires drainées entre novembre et mai par le bassin versant amont. Durant cette période, le sens d'écoulement du Tenu médian est inversé pour alimenter la Loire à marée descendante.

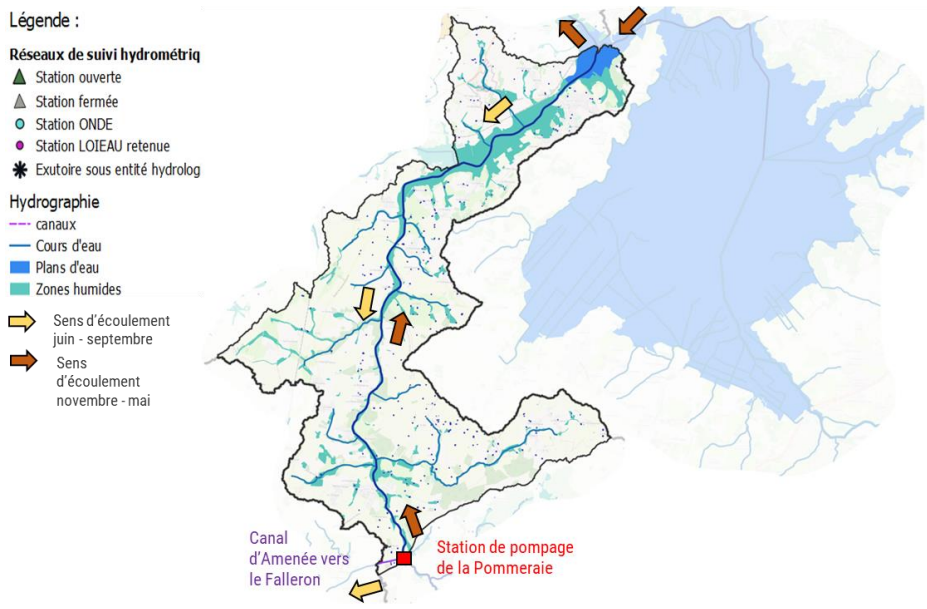


*Figure 32 : Carte de contexte de la sous-entité du **Tenu médian***

Compte tenu de l'artificialisation du régime hydrologique sur cette portion du Tenu par les systèmes de vannages et de pompes, le régime hydrologique à l'exutoire de cette sous-entité ne sera pas reconstitué car cela nécessiterait la mise en place d'un modèle hydraulique complexe.

4.2.3 Sous-entité de l'Acheneau et du Tenu aval

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 24 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **l'Acheneau et du Tenu aval***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	272

La sous-entité de l'Acheneau et du Tenu aval est également intégrée dans le périmètre du système de gestion hydraulique décrit pour le Tenu amont au chapitre 3.2.2 , Il n'existe pas de station hydrométrique sur ce secteur.

> *Compte tenu de la modification des écoulements engendrés sur ce système, l'hydrologie de l'Acheneau et du Tenu aval ne sera pas reconstitué à l'exutoire.*

Néanmoins, l'affluent principal de l'Acheneau ; **la Blanche**, ne semble pas impacté par la gestion des niveaux d'eau. L'analyse du régime de cet affluent est réalisée à partir du point LOIEAU (LO4012) situé à l'exutoire de son bassin versant (96 km²).

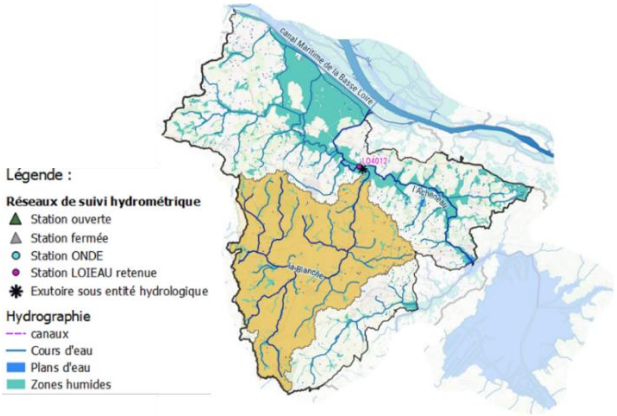


*Figure 33 : Carte de contexte de la sous-entité de **l'Acheneau et du Tenu aval**.*

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 25 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **la Blanche** calculées sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (QA)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO4012)	0,86 m³/s	Juin	Novembre	6 mois

Les débits moyens mensuels calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,41 m³/s** (septembre) et **1,46 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,86 m³/s**. L'incertitude sur les débits moyens mensuels varie entre 0,9 % (août) et 10,3 % (novembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

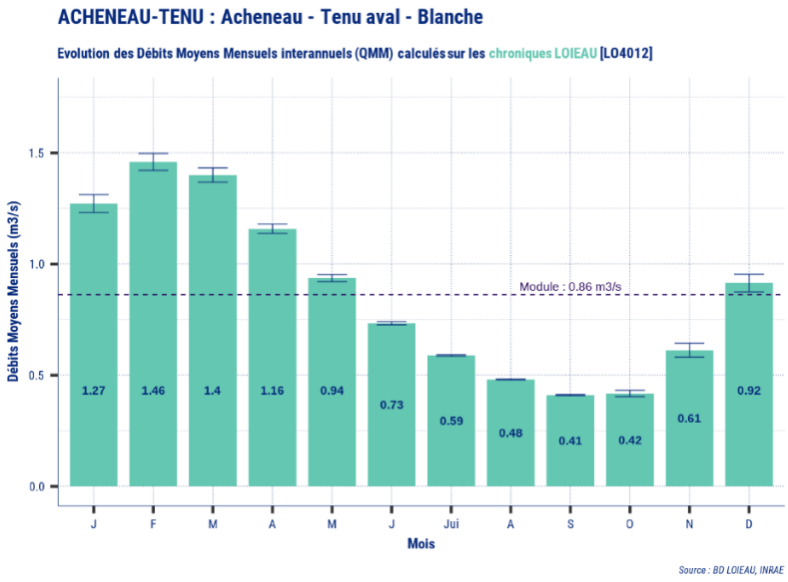


Figure 34 : Débits moyens mensuels interannuels et modules sur la Blanche (Acheneau – Tenu aval)

Analyse de la période d'étiage

*Tableau 26 : Indicateurs d'étiage calculés sur **la Blanche** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10 (l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO4012)	Normale	368± 75,8	333,2 ± 64,5	332,1 ± 107	337,1 ± 74,4	351,4 ± 5,4
	Sèche	307 ± 68,7	271,5 ± 59,3	290,8 ± 103	296,7 ± 73,4	295,9 ± 5,3
	Humide	432 ± 117,4	420,3 ± 98,3	404,8 ± 161	398,2 ± 106,5	408,4 ± 7,3

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,29 m^3/s (± 0,07 m^3/s). Le ratio entre $QMNA_5$ (0,29 m^3/s) et module (0,86 m^3/s) équivaut à 33,7 % (≈1/3 QA), valeur nettement supérieure au 1/10ème du module (10 %), qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

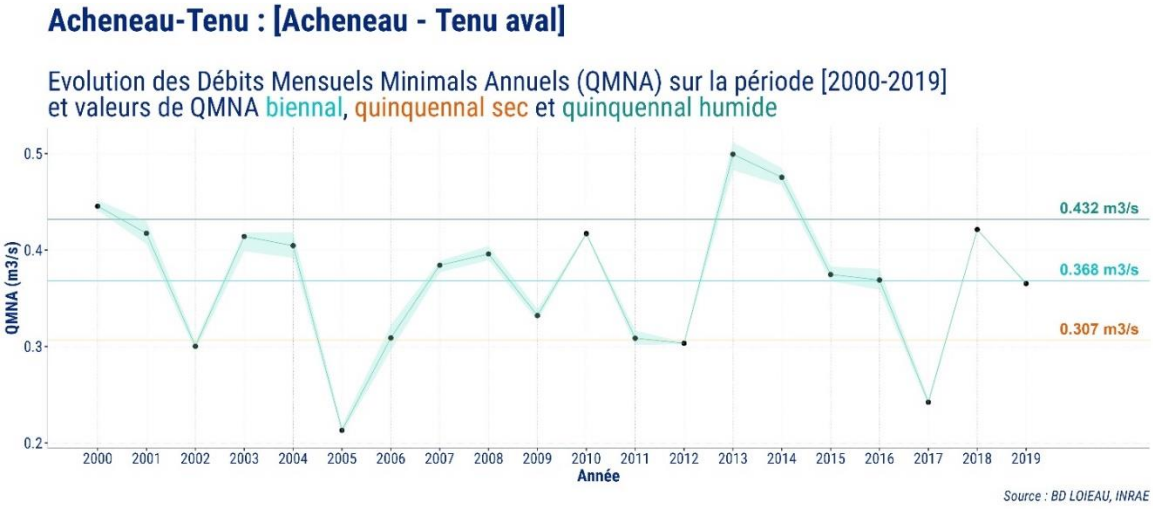
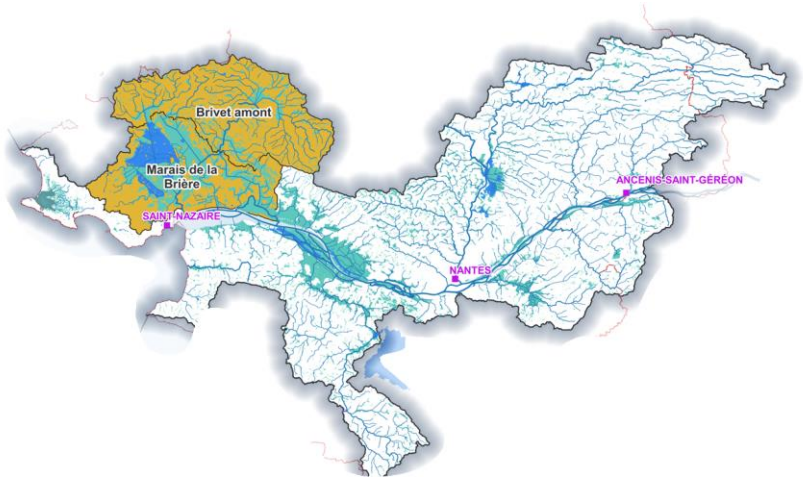


*Figure 35 : Evolution des QMNA et incertitudes LOIEAU (LO4012) sur le sous-bassin de **la Blanche** sur la période [2000 - 2020]*

4.3 ENTITE BRIERE-BRIVET

L'entité **Brière-Brivet** est décomposée en 2 sous-entités hydrologiques :

- Sur l'amont, le Brivet (272 km²)
- À l'aval, le marais de Brière (381 km²)



4.3.1 Sous-entité du Brivet amont

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 27 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Brivet amont***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	272

La sous-entité du Brivet amont intègre le bassin drainé par le Haut Brivet et le moyen Brivet, de sa source jusqu'à son entrée dans le marais de Brière, en aval de Pontchâteau. Le périmètre intègre également en limite ouest un réseau de canaux alimentant directement le marais.

En termes de suivi hydrométrique, le secteur était suivi par la station du Brivet à Pontchâteau [M850301010] active entre les années 1971 et 1981. Deux stations du réseau ONDE existent également sur des affluents du Haut Brivet : Le Moulin Foulon [M8503011] et le canal de la Fleur [M8503012].

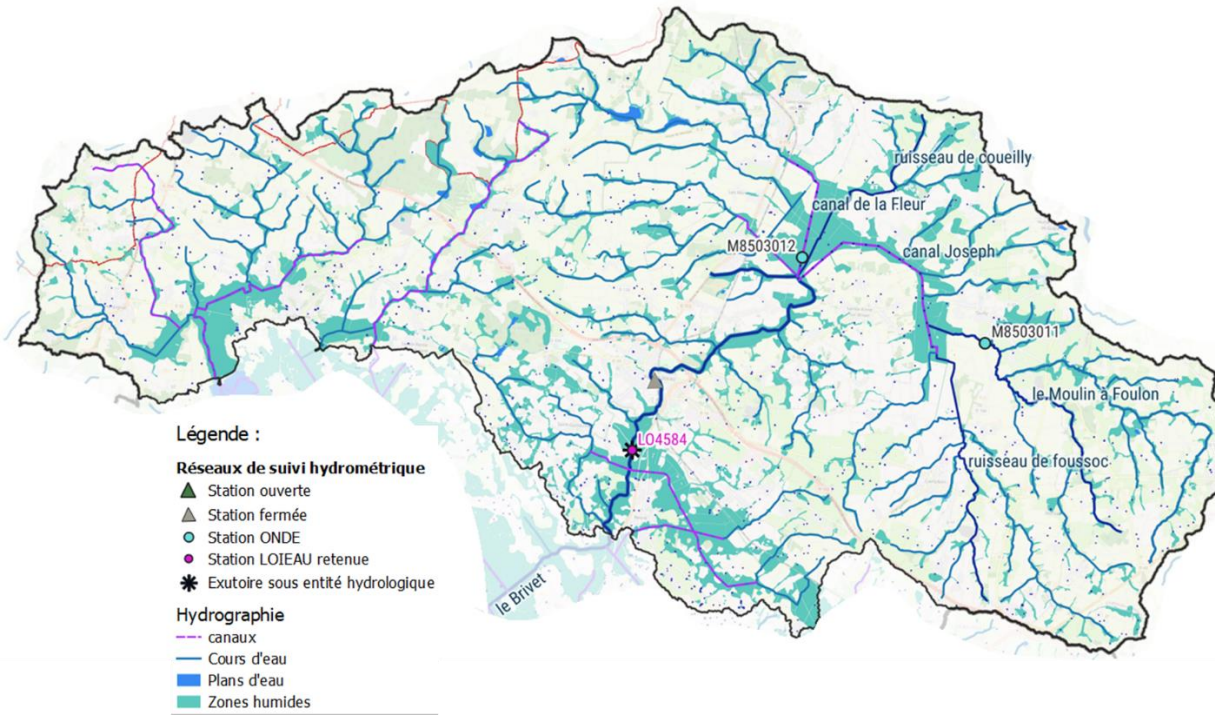


*Figure 36 : Carte de contexte de la sous-entité du **Brivet amont***

Compte tenu de la densité importante de marais sur cette sous-entité et notamment sur le sous-bassin du Brivet, le régime hydrologique sera analysé au niveau de l'exutoire à partir de la station LOIEAU (LO4584) située à proximité. L'analyse des écoulements observés au droit des stations ONDE apportera des informations complémentaires sur la période d'étiage.

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 28 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **le Brivet amont** calculées sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (QA)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO4584)	2,34 m^3/s	Juin	Novembre	6 mois

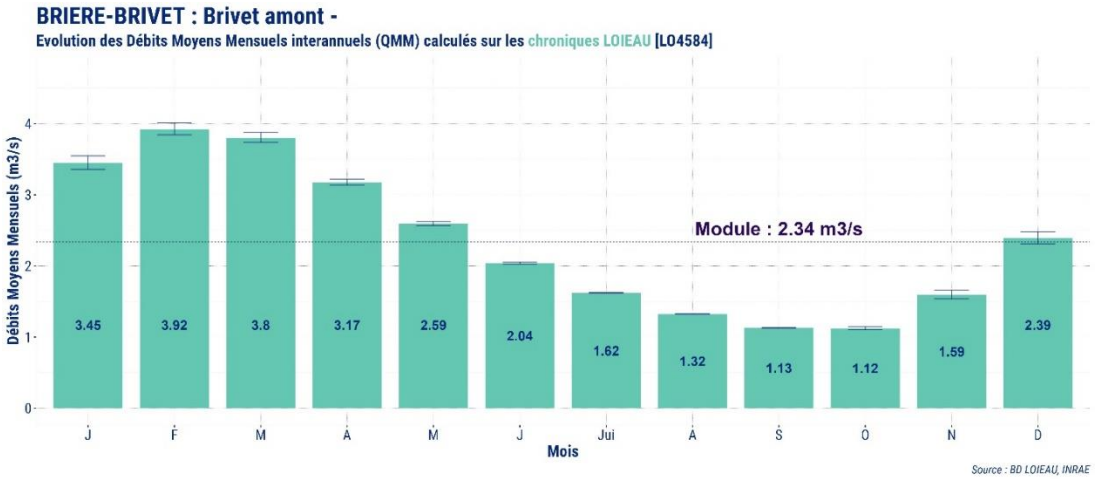


*Figure 37 : Débits moyens mensuels interannuels et modules LOIEAU sur le **Brivet amont***

Les débits moyens mensuels calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **1,12 m³/s** (octobre) et **3,92 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **2,34 m³/s**. L'incertitude sur les débits moyens mensuels varie entre 0,6 % (août) et 7,6 % (janvier). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

Analyse de la période d'étiage

*Tableau 29 : Indicateurs d'étiage calculés sur le **Brivet amont** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (m3/s)	VCN3 (m3/s)	VCN7 (m3/s)	VCN10(m3/s)	VCN30 (m3/s)
LOIEAU (LO4584)	Normale	1,01 ± 0,2	0,9 ± 0,,13	0,88 ± 0,03	0,85 ± 0,04	0,64 ± 0,06
	Sèche	0,81 ± 0,18	0,7 ± 0,12	0,65 ± 0,03	0,59 ± 0,03	0,346 ± 0,03
	Humide	1,30 ± 0,3	1,16 ± 0,2	1,14 ± 0,05	1,13 ± 0,07	0,99 ± 0,1

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **0,81 m³/s** (± 0,18 m³/s).

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,81 m³/s) et module (2,34 m³/s) équivaut à 34,6 % (≈1/3 QA), valeur nettement supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

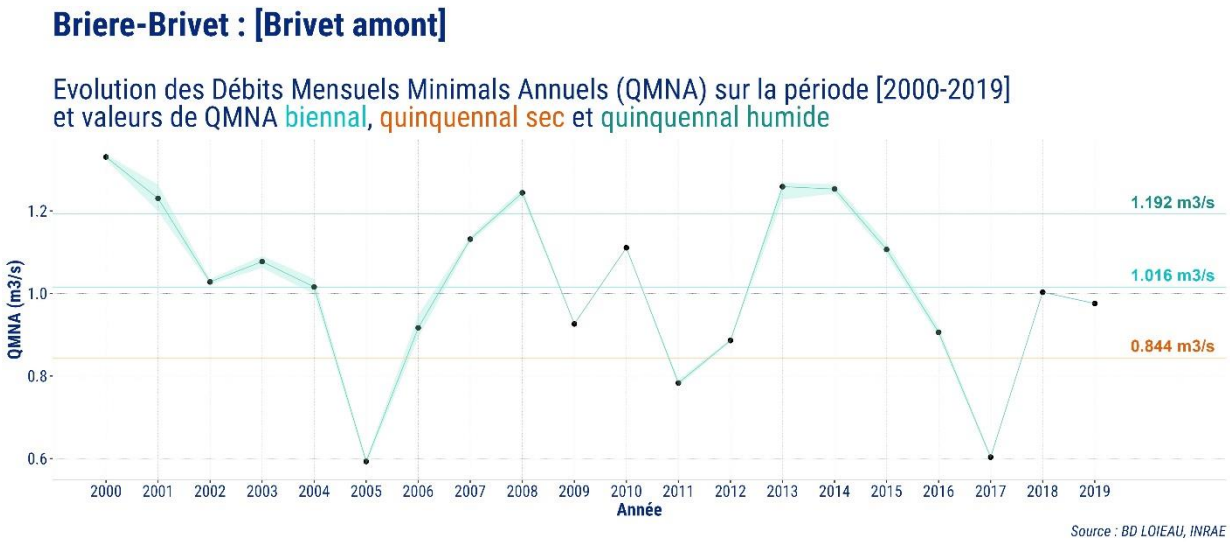


*Figure 38 : Evolution des QMNA et incertitudes LOIEAU (LO4584) sur le **Brivet amont** sur la période [2000 -2020]*

Analyse des observations ONDE

La **station [M6304311]** est localisée sur l'aval du Moulin Foulon, au niveau de la commune de Quilly. Le Moulin Foulon est un affluent rive droite du Canal Joseph qui alimente le Brivet au niveau de sa source. Cette station est suivie depuis la mise en place du réseau ONDE en 2012.

De manière générale, cette station affiche le taux d'assecs observés sur la période 2012 – 2020 le plus élevé (73,8 % des observations) parmi les 15 stations du territoire. Au pas de temps mensuel, les situations d'assèchement sont fréquentes à partir du mois de juillet (**ANNEXE 14**) mais peuvent se prolonger jusqu'aux mois de novembre / décembre sur des années sèches (2017, 2018). L'analyse de l'évolution des modalités au pas de temps annuel montre que les situations d'assecs sont très majoritaires sur les dernières années (2014, 2018, 2019) et peuvent représenter la totalité des observations réalisées (2017).

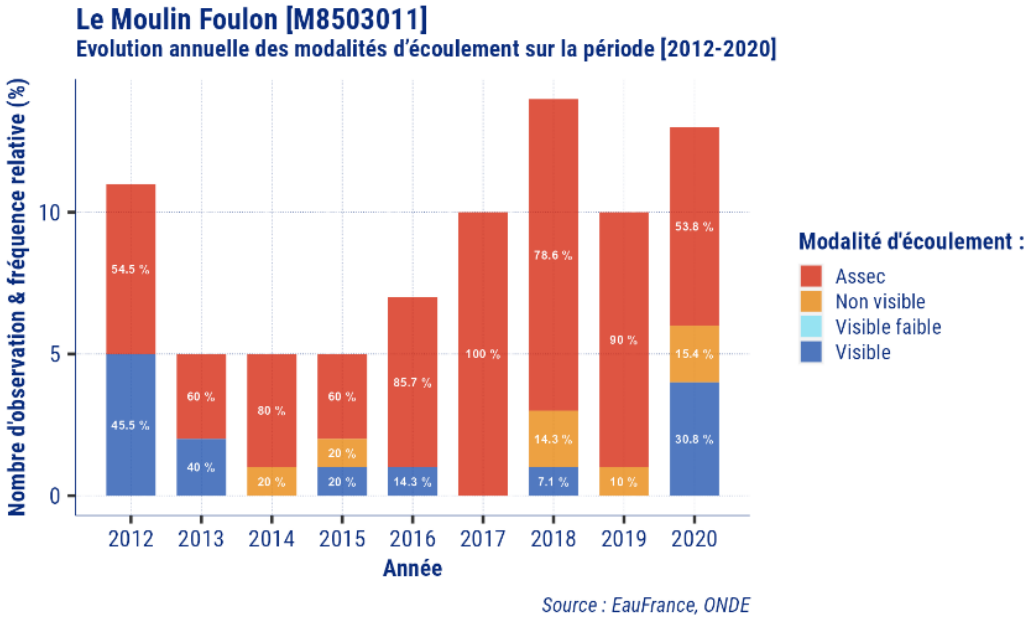


*Figure 39 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Moulin Foulon** [M8503011]*

La seconde station du réseau ONDE est implantée en aval du **Canal de la Fleur** qui reçoit les eaux de plusieurs ruisseaux (ruisseau du Gué aux Biches, Queue Gohan, ruisseau de la Noé). Il s'agit de l'un des quatre canaux alimentant le Brivet au niveau de ses sources.

Sur cette station, les observations réalisées traduisent majoritairement la présence d'un écoulement, qu'il soit visible (42,5 % des observations réalisées) ou visible faible (26,5 %). Les situations d'assèchements sont moins fréquentes (12,5 %) que sur l'autre station du bassin. Les situations traduisant l'absence d'écoulement (assec et non visible) sont observées dans des proportions plus importantes (> 50%) entre 2016 et 2019, notamment entre les mois de juillet et septembre.

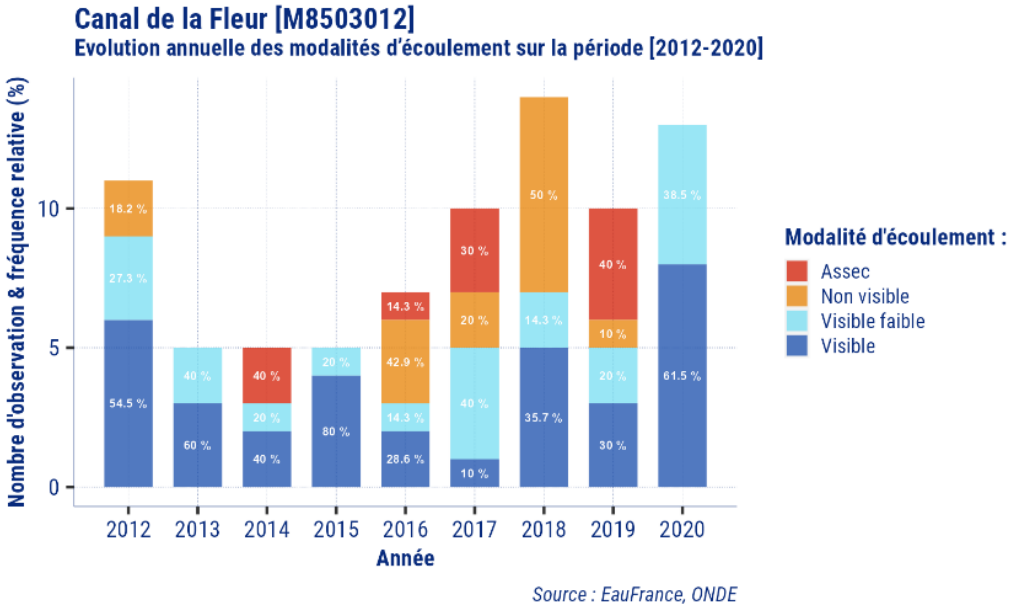


*Figure 40 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Canal de la Fleur** [M8503012]*

4.3.2 Sous-entité des Marais de Brière

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 30 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Marais de Brière***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	Aucune	-	381

La sous-entité du Marais de Brière intègre dans son périmètre le deuxième plus grand marais de France (environ 70 km²)[14]. Les marais sont indépendants du bassin du Brivet en amont et de l'estuaire de la Loire, tant d'un point de vue biologique qu'hydrologique. Néanmoins, le fonctionnement hydraulique nécessaire à leur gestion et composé de plus de 20 compartiments hydrauliques, piloté par le Syndicat du Bassin Versant du Brivet (SBVB)[15], engendre un **fonctionnement hydrologique saisonnier**. Aucun site

[14] https://www.reserves-naturelles.org/marais-de-briere

[15] Le SBVB gère ces ouvrages et les niveaux d'eau, en concertation avec la commission Syndicale de Grande Brière-Mottière (CSGBM) pour le marais indivis (Pont de Paille et Rozé).

de suivi hydrométrique (station hydrométrique, point d'observation ONDE) n'est implanté sur ce secteur.

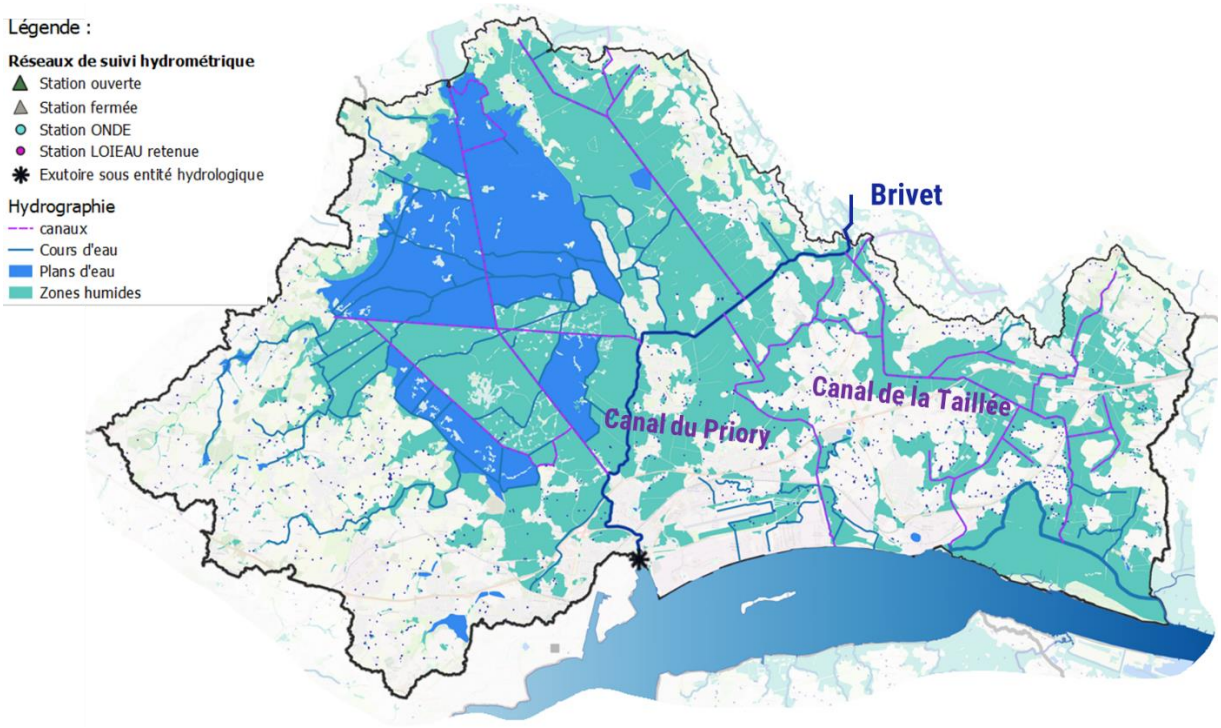


*Figure 41 : Carte de contexte de la sous-entité des **Marais de Brière***

Une grande partie du cours du Brivet et des canaux connectés présente des écoulements bidirectionnels, en fonction des saisons et de la gestion. Le fonctionnement hydraulique varie donc au cours de l'année, qui se distingue selon deux périodes :

- La phase « d'exondation » correspondant à la saison hivernale-printanière durant laquelle l'essentiel des volumes stockés est évacué par le Brivet et les canaux de La Taillée et du Priory. Les apports d'eau douce proviennent principalement des pluies et du ruissellement sur l'amont du bassin par le Brivet.
- La phase de « maintien des niveaux d'eau » pendant la saison estivale et automnale. Durant cette phase, la baisse des niveaux dans les canaux et fossés en situation d'étiage prolongé peut être compensée à partir de la réalimentation de certains compartiments des marais par des prélèvements en Loire.

Un modèle hydraulique a été mis en place il y a quelques années pour représenter les variations de niveaux dans les marais et les ouvrages du complexe hydraulique. Malgré des résultats pertinents sur la période de hautes eaux, les niveaux simulés en basses eaux ne sont pas robustes compte tenu de la complexité du fonctionnement des ouvrages et des interactions existantes entre les différents compartiments (eaux superficielles, souterraines, interface terre-mer).

À noter qu'un réseau de suivi des niveaux d'eau est déployé sur ce secteur.

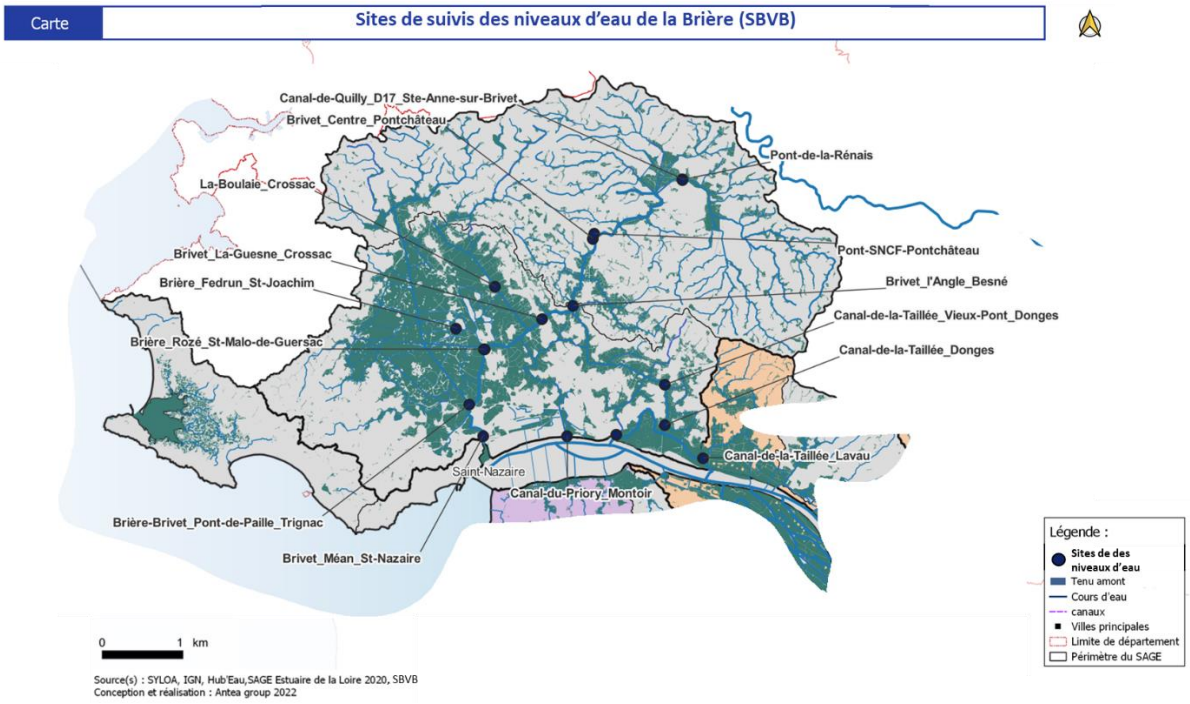


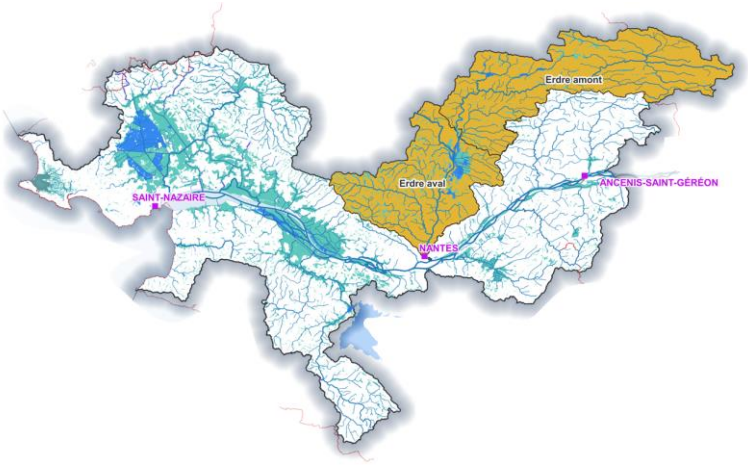
Figure 42 : Réseau de suivi des niveaux d'eau implanté par le SBVB

Compte tenu du fonctionnement hydrologique très influencé par le mode de gestion des marais (notamment les réalimentations en période d'étiage), l'analyse des données LOIEAU ne semble pas pertinente sur cette sous-entité. Les régimes hydrologiques ne seront pas reconstitués et analysés sur cette sous-entité.

4.4 ENTITE DE L'ERDRE

L'Erdre prend sa source dans le département du Maine-et-Loire, sur la commune d'Erdre-en-Anjou et rejoint la Loire-Atlantique pour la majeure partie de son cours. Son exutoire est localisé dans la ville de Nantes où l'Erdre rejoint la Loire sur sa rive droite par l'intermédiaire de l'écluse Saint-Félix.

L'Erdre s'écoule sur 98 kilomètres et draine un bassin versant d'environ 975 km², ce qui fait de ce cours d'eau l'affluent principal de la Loire sur le périmètre de l'Estuaire de la Loire.



Ce linéaire peut être divisé en 2 parties présentant des caractéristiques différentes et correspondant aux deux sous-entités hydrologiques délimitées dans le cadre de l'étude :

- **L'Erdre amont** qui intègre le cours amont et médian et représente les trois quarts du linéaire (environ 65 km de la source jusqu'au plan d'eau de Nort-sur-Erdre). Cette section de l'Erdre est considérée comme « naturelle » car présentant des caractéristiques fluviales classiques (morphologie, pente et régime hydrologique) pour une rivière de ce gabarit. Quelques affluents sont retrouvés sur cette sous-entité comme le Croissel (23 km), le Pont Ménard (16 km) ou encore le Montagné (20 km).
- **L'Erdre aval** qui s'étend du plan d'eau de Nort-sur-Erdre jusqu'à la confluence avec la Loire et représente environ 25 km de linéaire. Cette section est communément désignée comme étant « L'Erdre navigable » et présente, de ce fait, les caractéristiques d'un plan d'eau (700 ha) avec un écoulement régulé par l'écluse de Saint-Félix. C'est sur cette partie aval que l'Erdre reçoit la majorité de ses affluents :
  - **En rive gauche** : le ruisseau de la Déchausserie (25 km) et l'Etang Hervé (13,7 km) ;
  - **En rive droite** : le ruisseau des Vallées (17km), L'Hocmard (21km), Le Gesvres (52km) et le Cens (51 km).

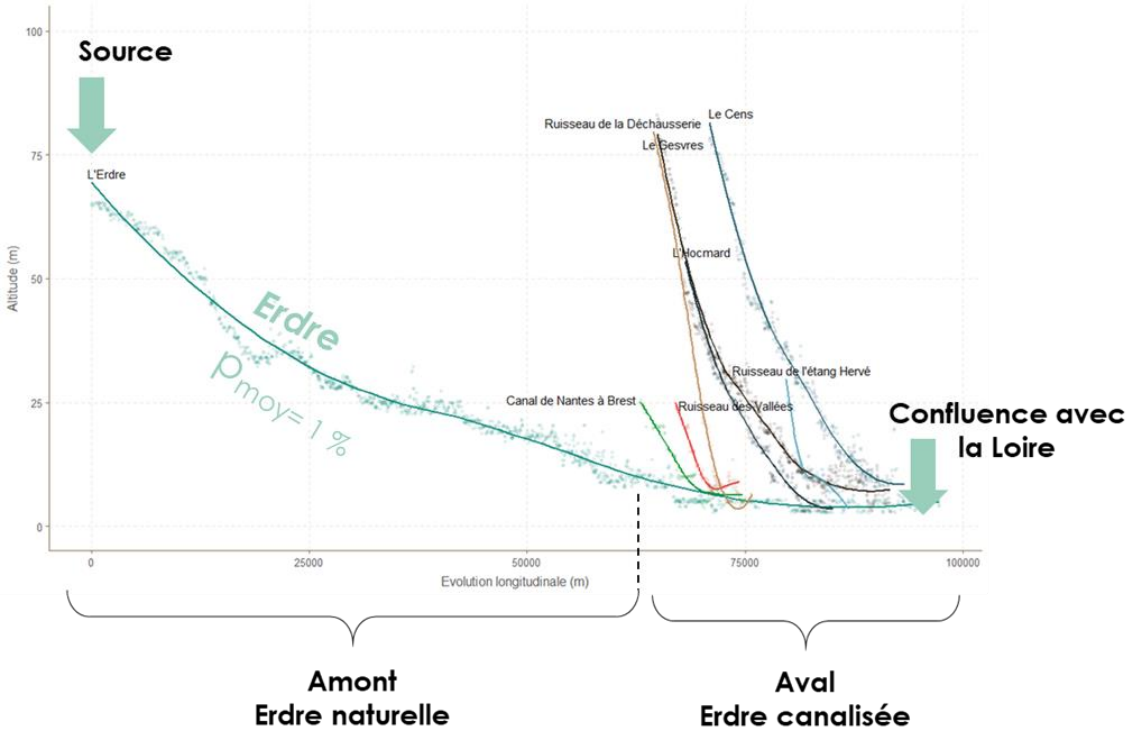


Figure 43 : Représentation schématique du réseau hydrographique du bassin de l'Erdre.

4.4.1 Sous-entité de l'Erdre amont

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 31 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **l'Erdre amont***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Oui	Agrégation	Influencé	560

La sous-entité de l'Erdre amont correspond au bassin de l'Erdre entre sa source, dans le Maine-et-Loire, et l'amont du plan d'eau de Nort-sur-Erdre. Au sein de ce bassin de 560 km², l'Erdre s'écoule sur environ 65 kilomètres. Cette sous-entité intègre également le sous-bassin du Montagné (90 km²) dont le cours principal s'écoule sur environ 17 km avant de rejoindre le plan d'eau de Nort-sur-Erdre. Sur ce secteur, plusieurs sites de suivis hydrométriques actifs sont implantés :

Deux stations hydrométriques sont implantées sur le sous-bassin de l'Erdre amont :

- L'Erdre à Candé [M632301010] qui dispose de chroniques complètes depuis le 1er mars 1968 ;
- L'Erdre à Nort-sur-Erdre [M633302010] qui affiche également des chroniques complètes depuis le 1er octobre 1697,

Ainsi que trois sites de suivi du réseau ONDE dont :

- Deux localisés sur le cours amont de l'Erdre : la station [M6304311] sur la commune du Louroux-Béconnais et la station [M6325011] localisée au niveau de Saint-Mars-la-Jaille ;
- La station de la Guinelière [M6333021] qui est l'affluent principal du Montagné.

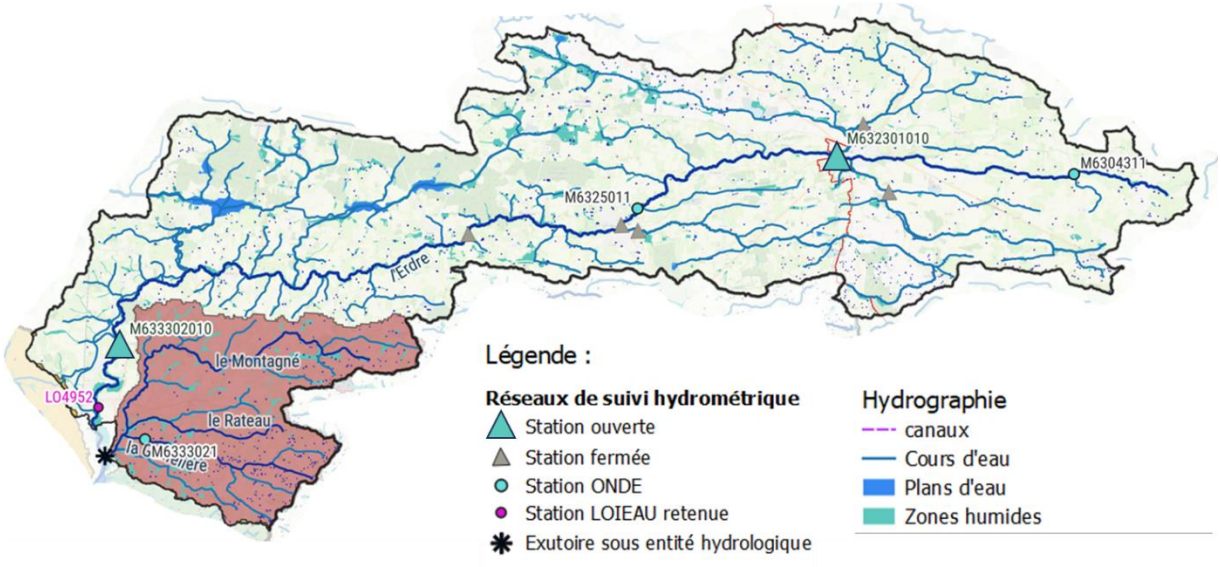


*Figure 44 : Carte de contexte de la sous-entité de **l'Erdre amont***

Le régime hydrologique à l'exutoire de l'Erdre amont est reconstitué en deux temps :

Dans un premier temps, les régimes hydrologiques des deux sous-bassins sont reconstitués à leurs exutoires :

- Pour l'Erdre amont (475,8 km²), la chronique de débits journaliers sera reconstituée par transfert de bassin à partir de la station de Nort-sur-Erdre [M633302010] qui correspond à un bassin versant de 464 km² ;
- Pour le Montagné (88,9 km²), la chronique de débits journaliers sera reconstituée par transfert de bassin à partir de la station située sur le bassin voisin du Hâvre (79 km²) : le Hâvre à Mésanger [M620401010].

Dans un second temps, la chronique de débits journaliers à l'exutoire de la sous-entité est reconstituée par agrégation ; en sommant les débits journaliers reconstitués sur les deux sous-bassins.

Les chroniques de débits reconstituées lors de ces deux étapes sont comparées, à titre informatif, avec les chroniques LOIEAU des points de modélisation les plus proches des exutoires.

> *La méthode de reconstitution des régimes hydrologiques s'opère en deux temps sur la sous-entité de l'Erdre amont. Dans un premier temps, les débits sont reconstitués au niveau des deux sous-bassins de l'Erdre et du Montagné par méthode de transfert de bassin à partir de stations hydrométriques localisées dans des contextes similaires. Dans un second temps, le régime hydrologique à l'exutoire de la sous-entité est reconstitué par agrégation des débits journaliers obtenus sur les deux sous-bassins.*

Reconstitution des régimes hydrologiques

L'analyse comparative de la dynamique des chroniques journalières modélisées par méthode de transfert à partir des stations hydrométriques de l'Erdre à Nort-sur-Erdre [M633302010] pour le sous-bassin de l'Erdre et du Hâvre à Mésanger [M620401010] pour le sous-bassin du Montagné est résumée ci-dessous :

*Tableau 32 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur **l'Erdre amont***

Sous-bassin	Station transfert	LOIEAU	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Erdre	M633302010	LO4952	2000 - 2020	0,61	-0,93	4,62	2,88	21645,87
Montagné	M620401010	LO4956	2010 - 2020	0,46	-0,08	1,29	0,69	2594,40

Sur le sous-bassin de l'Erdre, les chroniques reconstituées par transfert affichent une dynamique relativement bien corrélée (r = 0,61) avec les chroniques LOIEAU. Cette corrélation est moins bonne pour le Montagné. À l'inverse, les écarts observés entre les chroniques sont plus importants sur l'Erdre amont (biais, RMSE) que sur le Montagné (biais très faible).

La source de ces écarts, et leur cohérence vis-à-vis du contexte de chaque sous-bassin, sera évaluée lors de l'étape de renaturalisation des débits.

Caractérisation du régime hydrologique

Sur le sous-bassin de l'Erdre

*Tableau 33 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **le sous-bassin de l'Erdre** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m³/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation transfert - Erdre	2,87	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO4952)	3,81 ± 0,26	Juin	Décembre	7 mois

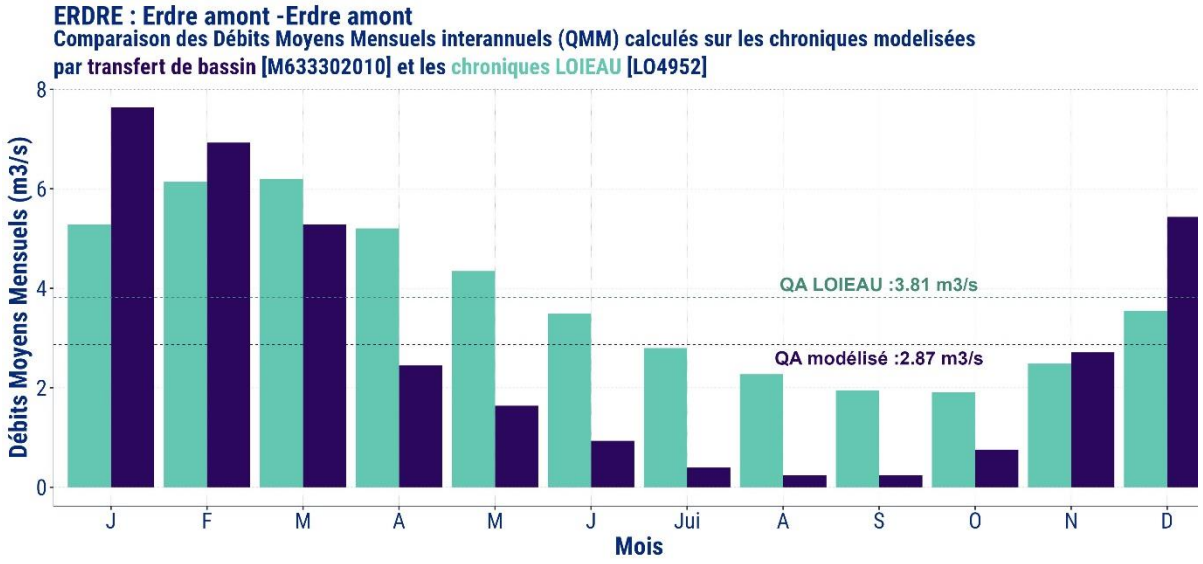


*Figure 45 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin de **l'Erdre amont***

Les débits moyens mensuels reconstitués par transfert calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,24 m³/s** (août) et **7,6 m³/s** (janvier) pour un débit moyen interannuel de **2,87 m³/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **1,9 m³/s** (octobre) et **6,2 m³/s** (mars) pour un débit moyen interannuel de **3,81 m³/s**. L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1,1 % (août) et 15 % (décembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

*Tableau 34 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin de **l'Erdre** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert - Erdre	Normale	163 ± 43,1	80,2 ± 34,7	90,2 ± 39,1	97,4 ± 41	129,3 ± 44,8
	Sèche	87,1 ± 25,7	33,3 ± 15,7	37,9 ± 17,9	42,4 ± 19,5	87,3 ± 23,9
	Humide	284,3 ± 92,1	179,8 ± 98,8	201,2 ± 110,7	212 ± 113	252 ± 108
LOIEAU (LO4952)	Normale	1730 ± 313	1554 ± 287	1574 ± 525	1595 ± 638	1653 ± 625
	Sèche	1372 ± 280	1246 ± 260	1376 ± 507	1463 ± 640	1548 ± 643
	Humide	2224 ± 484	1983 ± 442	1929 ± 800	1862 ± 938	1856 ± 880

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,087 m^3/s (± 0,025 m^3/s). Le ratio entre $QMNA_5$ (0,087m^3/s) et module (2,87 m^3/s) équivaut à 3 % du module, valeur nettement inférieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

Sur le sous-bassin du Montagné

Compte tenu des données disponibles, les indicateurs hydrologiques n'ont été calculés que sur la période 2010 – 2020 sur ce sous-bassin.

*Tableau 35 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Montagné** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation transfert - Hâvre	0,68	Avril	Octobre	7 mois
LOIEAU (LO4956)	0,77 ± 0,03	Juin	Décembre	7 mois

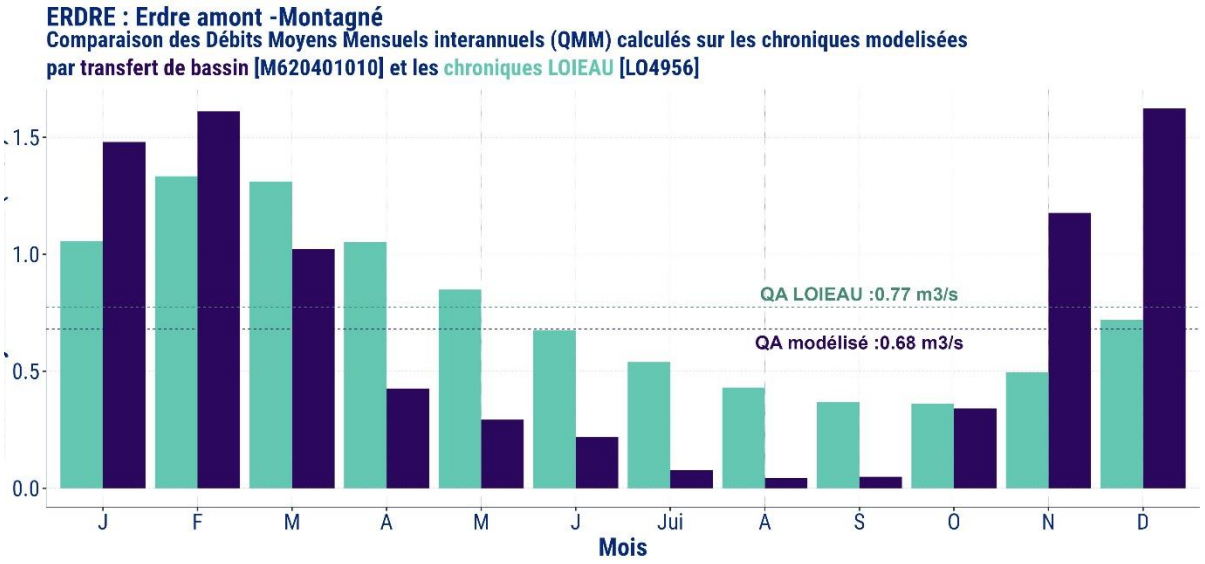


*Figure 46 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin du **Montagné***

Les débits moyens mensuels reconstitués par transfert calculés sur la période [2010 – 2020] varient entre **0,05 m³/s** (août) et **1,6 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,68 m³/s**. Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **0,36 m³/s** (octobre) et **1,33 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,77 m³/s**. L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 0,7 % (août) et 8 % (décembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

*Tableau 36 : Indicateurs d'étiage calculés sur **le sous-bassin du Montagné** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert – Hâvre	Normale	22,5 ± 18,8	16,7 ± 7	17,1 ± 7,5	17,4 ± 8,2	19,9 ± 12,3
	Sèche	15,5 ± 12,9	12,6 ± 5,7	12,8 ± 6	13,1 ± 6,5	14,5 ± 9,3
	Humide	39,5 ± 48	23,5 ± 12,9	24,4 ± 13,9	25,1 ± 15,5	31,3 ± 26,4
LOIEAU (LO4956)	Normale	346 ± 63,4	304,9 ± 64,8	315,8 ± 5	317,2 ± 102	344,3 ± 109
	Sèche	274,8 ± 56,8	245,4 ± 56	261,9 ± 4,9	284 ± 101	321,9 ± 113
	Humide	444,7 ± 98,2	390,3 ± 95,7	365,5 ± 7	375 ± 150	383,5 ± 150

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,015 m³/s (± 0,012 m³/s). Le ratio entre $QMNA_5$ (0,015m³/s) et module (0,68 m³/s) équivaut à 2 % du module, valeur nettement inférieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

À l'exutoire de l'Erdre amont

*Tableau 37 : Caractéristiques du régime hydrologique de **l'Erdre amont** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m³/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Agrégée (Erdre + Montagné)	4,01	Avril	Décembre	9 mois
LOIEAU (LO4955)	3,8 ± 0,03	Juin	Décembre	7 mois

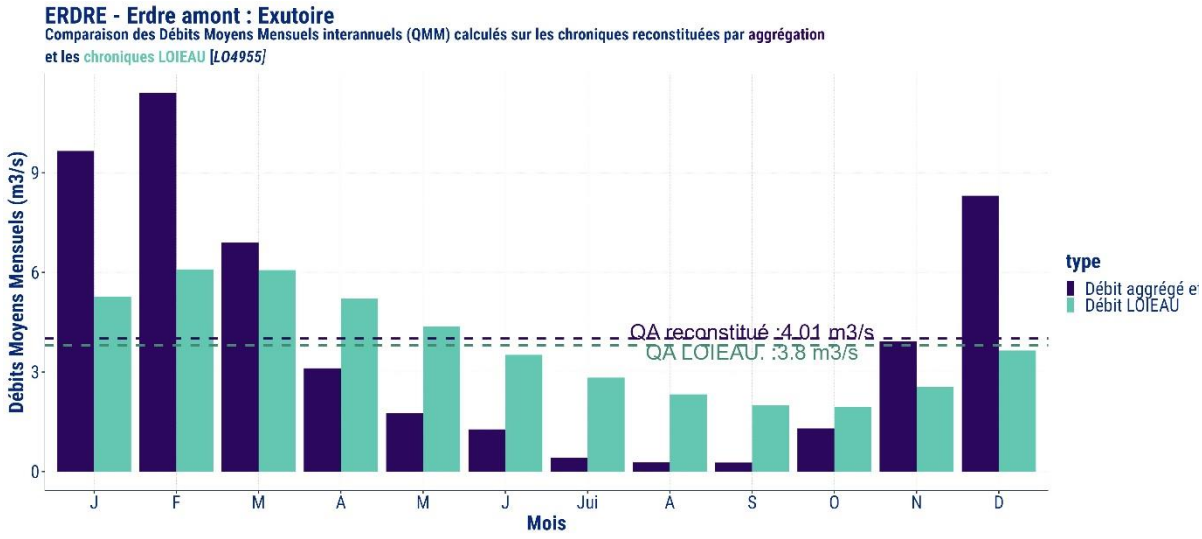


*Figure 47 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques agrégées (bleu) et LOIEAU (vert) à **l'exutoire de l'Erdre amont***

Les débits moyens mensuels agrégés à l'exutoire de l'Erdre amont sur la période [2010 – 2020] varient entre **0,27 m³/s** (septembre) et **11,4 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **4,01 m³/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **1,95 m³/s** (octobre) et **6,4 m³/s** (mars) pour un débit moyen interannuel de **3,8 m³/s**. L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 2,3 % (août) et 30,6 % (décembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

Compte tenu de la méthode retenue pour reconstituer le régime hydrologique à l'exutoire de l'Erdre amont (agrégation des chroniques de l'Erdre et du Montagné), les indicateurs d'étiage sont calculés sur la période **[2010 – 2020]**. Cette période étant relativement courte, les résultats présentés ci-dessous doivent être interprétés avec prudence.

*Tableau 38 : Indicateurs d'étiage calculés à **l'exutoire de l'Erdre amont** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert - Erdre	Normale	160 ± 75	89,5 ± 9	93,4 ± 27,3	98,7 ± 36	124,6 ± 66,8
	Sèche	113 ± 55	56,6 ± 6,4	59,3 ± 19	65,9 ± 26	89,7 ± 50
	Humide	240 ± 149	126,5 ± 15	141,2 ± 52	148,6 ±69,5	188,2 ± 135
LOIEAU (LO4955)	Normale	1772,6 ± 320	1599,2 ± 287	1631,3 ± 501	1628 ± 688	1655 ± 156
	Sèche	1406,2 ± 287	1281,4 ± 260	1413,9 ± 481	1503 ± 694	1464 ± 158
	Humide	2277,9 ± 496	2036,6 ± 440	2004 ± 761	1888 ± 1011	1880 ± 210

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,113 m³/s (± 0,055 m³/s). Le ratio entre $QMNA_5$ (0,113 m³/s) et module (4,01 m³/s) équivaut à 2,8 % du module, valeur nettement inférieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

Analyse des observations ONDE

La station [M6304311] est localisée sur la commune de Louroux-Béconnais, dans le Maine-et-Loire, à quelques kilomètres des sources de l'Erdre. Cette station est intégrée au réseau ONDE depuis 2012 et fait régulièrement l'objet de suivis complémentaires, notamment en fin d'été (entre août et octobre).

Cette station affiche le taux de suivi complémentaire le plus élevé sur le territoire.

Les années 2013, 2016 et 2017 sont caractérisées par de nombreux suivis complémentaires déclenchés sur ces mois. De manière générale, la modalité la plus observée sur cette station est l'écoulement visible faible (35 % de l'ensemble des observations), suivie par les écoulements visibles (24,3%), les assecs (22,3%) et les écoulements non visibles (18,4 %).

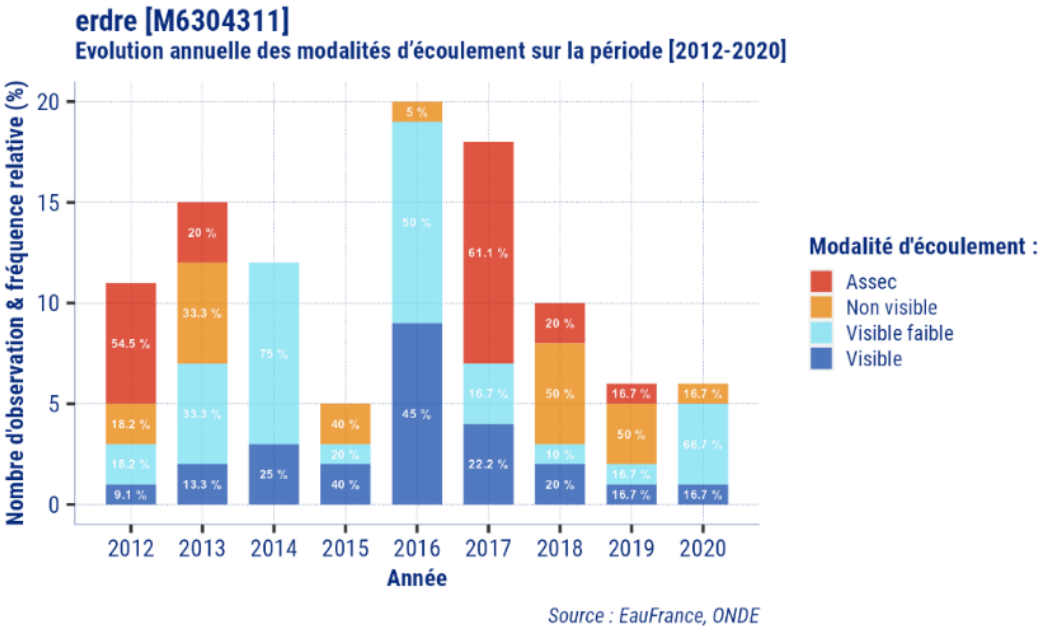


*Figure 48 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de **l'Erdre** [M6304311]*

Au pas de temps mensuel, les situations critiques (écoulements non visibles et assecs) sont généralement observées entre les mois de juillet et de septembre (plus de 50 % des observations réalisées en moyenne sur la période, **ANNEXE 14**)**.** C'est notamment le cas pour les années 2012, 2013 et 2017,

La station de l'Erdre à Saint-Mars-la-Jaille [M6325011] est localisée à une trentaine de kilomètres des sources de l'Erdre et suivie depuis 2012 avec des suivis complémentaires déclenchés moins fréquemment que sur la station amont [M6304311].

Sur cette station, deux modalités d'écoulement sont dominantes dans les observations réalisées :

- L'écoulement visible (50 % des observations) ;
- L'écoulement visible faible (48,8 %), observé selon des fréquences importantes entre 2016 et 2019.

La modalité d'écoulement la plus critique, observée uniquement en septembre 2019 (**ANNEXE 14)**, est l'écoulement non visible.

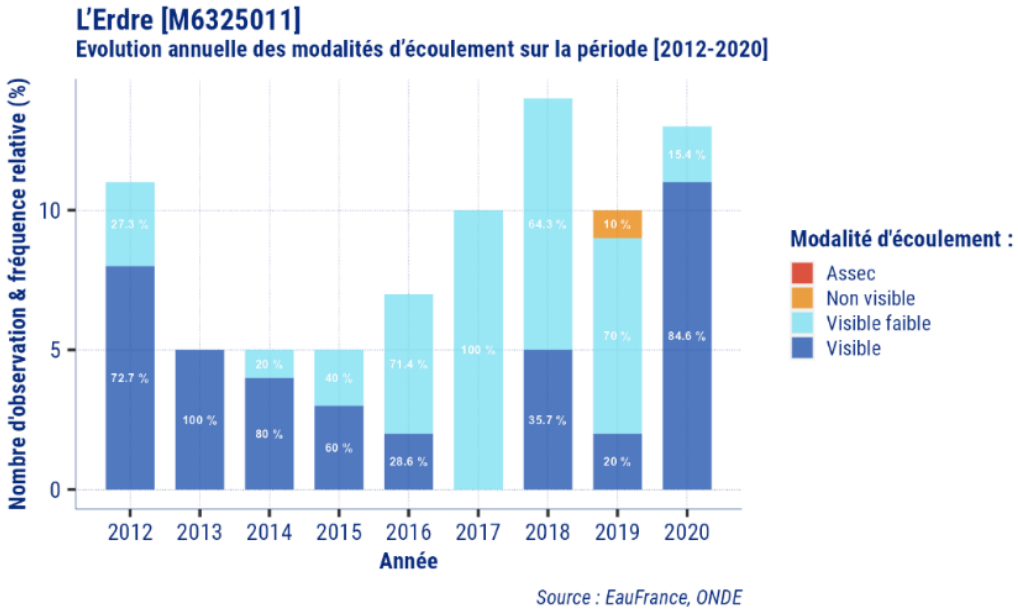


*Figure 49 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de **l'Erdre** [M6325011]*

La station [M6333021] est localisée sur le cours aval de la Guinelière qui est l'affluent principal du Montagné. Sur cette station, les modalités se répartissent de manière générale entre écoulement visible (50% des observations réalisées) et écoulement visible faible. On observe néanmoins une augmentation de la part relative des écoulements visibles faibles à partir de 2017. L'écoulement le plus critique observé sur cette station correspond aux mois d'août et septembre 2016, marqués par des écoulements non visibles.

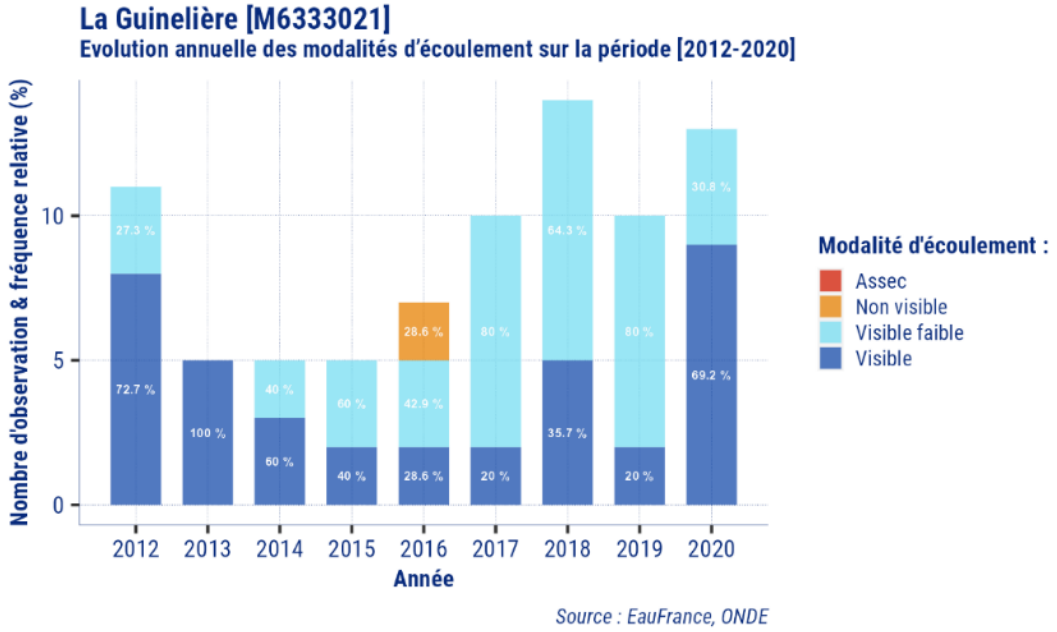


*Figure 50 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de **la Guinelière** [M6333021]*

4.4.2 Sous-entité de l'Erdre aval

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 39 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **l'Erdre aval***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Oui	Agrégation	Mixte	410

La sous-entité de l'Erdre aval correspond au bassin de l'Erdre « canalisée », qui s'écoule intégralement dans le département de la Loire-Atlantique, depuis le plan d'eau de Nort-sur-Erdre jusqu'à la confluence avec la Loire, au niveau de l'écluse Saint-Félix à Nantes. Au sein de ce bassin de 410 km², l'Erdre s'écoule sur environ 25 kilomètres. Cette sous-entité intègre les bassins des principaux affluents de l'Erdre, à savoir :

- En rive gauche : le ruisseau de la Déchausserie (55 km²), l'Etang Hervé (23 km²), l'Etang des Huppières (11,7 km²) ;En rive droite : le Canal de Nantes à Brest (59 km²), L'Hocmard (52 km²), Le Gesvres (79 km²) et le Cens (61 km²).

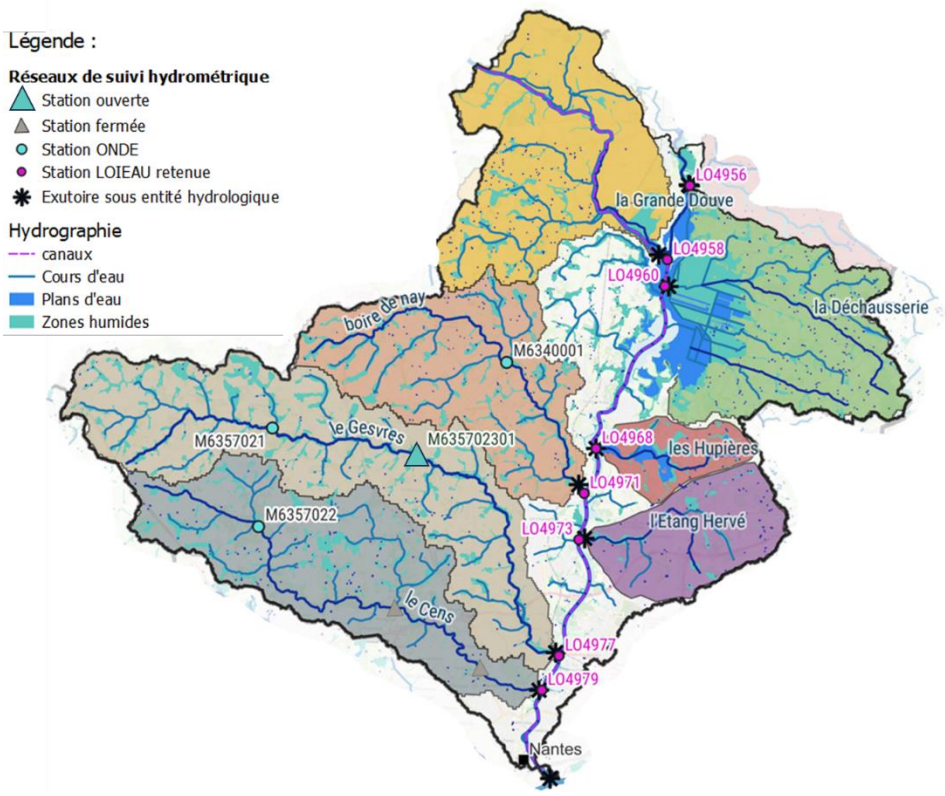


*Figure 51 : Carte de contexte de la sous-entité de **l'Erdre aval***

Les réseaux de suivi de l'hydrologie sur cette sous-entité sont situés sur :

- Le sous-bassin du Gesvres avec la station hydrométrique du Gesvres à Treillières [M635702301] sur laquelle les chroniques journalières ont été modélisées sur la période 2010 – 2020 (cf. chapitre 2.2.2) ;
- La station expérimentale de l'Erdre à Saint-Félix [M6353020] sur laquelle des chroniques de débits journaliers sont reconstituées par la DREAL Pays de la Loire à partir de la station de l'Erdre à Nort-sur-Erdre [M633302010] et dont l'objectif est de quantifier les apports du bassin de l'Erdre à La Loire.

Le réseau d'observation des étiages (ONDE) est implanté sur 3 stations localisées sur :

- Le sous-bassin du Cens [M6357022] à Vigneux-en-Bretagne ;
- Le sous-bassin du Gesvres [M6357021] à Vigneux-en-Bretagne ;
- Le sous-bassin de l'Hocmard [M6340001] à Grandchamps-des-Fontaines.

La méthode retenue pour reconstituer le régime hydrologique à l'exutoire de la sous-entité de l'Erdre aval est la suivante :

- Dans un premier temps, les régimes hydrologiques sont reconstitués à l'exutoire des 7 sous-bassins délimités sur la sous-entité. Deux méthodes sont employées pour cela :
  - La méthode de transfert de bassin est appliquée pour reconstituer le régime hydrologique des sous-bassins du Gesvres, du Cens et de l'Hocmard à partir des chroniques disponibles au droit de la station du Gesvres à Treillières [M635702301] (bassin versant : 51 km²). Les chroniques reconstituées sont comparées aux chroniques des stations LOIEAU localisées aux exutoires de ces bassins.
  - Sur les bassins non instrumentés, les données modélisées du point LOIEAU localisé au plus proche de l'exutoire sont analysées.

*Tableau 40 : Méthodes employées pour reconstituer les régimes hydrologiques sur les sous-bassins de **l'Erdre aval***

Sous-bassin	Surface BV (km²)	Méthode	Station hydrométrique	Station LOIEAU	Type de débit
Cens	61	Transfert	Gesvres à Treillières [M635702301]	LO4979	Influencé
Gesvres	79,5			LO4977	
Hocmard	52,5			LO4971	
Canal Nantes à Brest	59	LOIEAU	-	LO4958	Pseudo-naturel
Ruisseau de la Déchausserie	55	LOIEAU	-	LO4960	
Etang des Huppières	14,3	LOIEAU	-	LO4968	
Etang Hervé	23,1	LOIEAU	-	LO4973	

- Dans un second temps, le régime hydrologique à l'exutoire de l'Erdre aval est reconstitué par agrégation des régimes hydrologiques de l'Erdre amont (cf. chapitre 3.4.1.) aux régimes hydrologiques des 7 sous-bassins. La validité des résultats obtenus est contrôlée en comparant la chronique de débits obtenue avec celle disponible au droit de la station virtuelle de Saint-Félix [M6353020].

La méthode de reconstitution des régimes hydrologiques s'opère en deux temps sur la sous-entité de l'Erdre aval. Dans un premier temps, les débits sont reconstitués au niveau des 7 sous-bassins identifiés par le biais de deux méthodes (transfert de bassin à partir de la station du Gesvres à Treillières en rive droite et données LOIEAU en rive gauche).

Dans un second temps, le régime hydrologique à l'exutoire de l'Erdre aval est reconstitué par agrégation des débits journaliers de l'Erdre amont et des débits reconstituées sur les 7 sous-bassins de l'Erdre aval.

Reconstitution des régimes hydrologiques

*Tableau 41 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur **les sous-bassins de l'Erdre aval***

Sous-bassin	Débit transfert	Station LOIEAU	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Gesvres	M635702301	LO4979	2010 - 2020	0,56	0,07	1,03	0,51	1912,50
Cens	M635702301	LO4977		0,56	0,10	1,35	0,67	2493,11
Hocmard	M635702301	LO4971		0,55	0,07	0,89	0,44	1641,72

De manière générale, les chroniques de débits journaliers obtenues par méthode de transfert affichent une dynamique moyennement corrélée aux chroniques LOIEAU sur la période [2010 – 2020] (r = 0,56) avec des écarts et biais relativement faibles entre les chroniques. Les chroniques modélisées affichent des écarts moins importants sur l'Hocmard et à l'inverse plus importants sur le Cens.

*Tableau 42 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées à l'exutoire de l'Erdre aval avec la chronique disponible au droit de la **station virtuelle de Saint-Félix**.*

Sous-entité	Sous-bassin	Débit exutoire	Station virtuelle St-Félix	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Erdre aval	Erdre	Erdre aval	LO4952	2010 - 2020	0,95	0,26	3,48	1,4	5660

Les chroniques journalières à l'exutoire de l'Erdre aval obtenues par agrégation reproduisent très bien la dynamique du régime hydrologique de la station virtuelle (r = 0,95). Des écarts plus importants sont néanmoins observés, principalement liés à des différences entre les chroniques sur les périodes de hautes eaux.

Caractérisation des régimes hydrologiques et analyse des étiages

Sur le sous-bassin du Gesvres

*Tableau 43 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Gesvres** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation transfert - Gesvres	0,8	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO4977)	0,71 ± 0,01	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels reconstitués par transfert calculés sur la période [2010 – 2020] varient entre **0,05 m^3/s** (septembre) et **1,97 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,8 m^3/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **0,35 m^3/s** (octobre) et **1,18 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,71 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 0,87 % (août) et 9,9 % (décembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

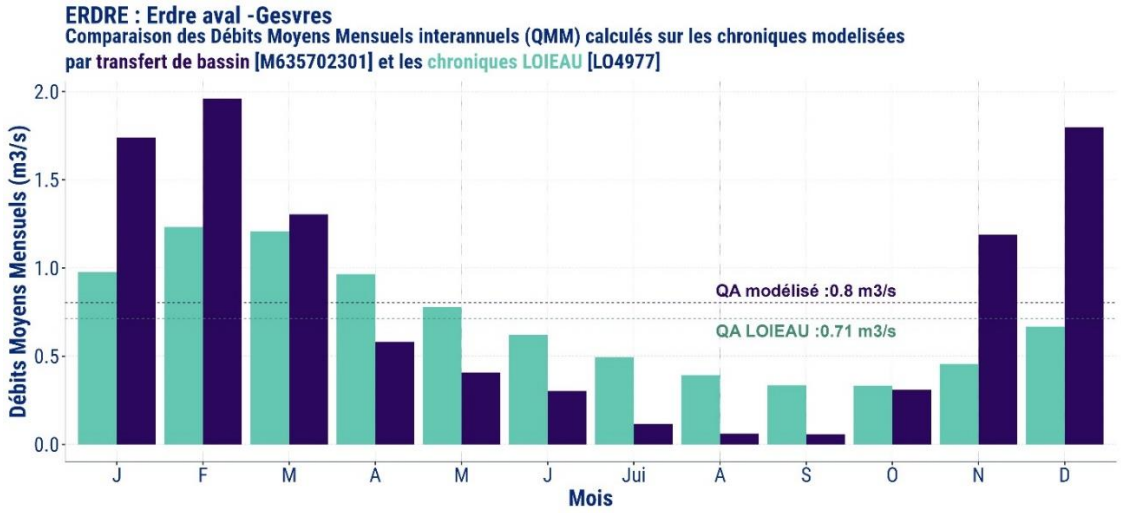


*Figure 52 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin du **Gesvres***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,021 m^3/s (± 0,018 m^3/s).

*Tableau 44 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **Gesvres** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert - Gesvres	Normale	30,3 ±26,4	23,7 ± 10,4	24,3 ± 11,1	24,8 ± 11,7	28,2 ± 17,2
	Sèche	21,6 ± 18,6	18 ± 8,4	18,4 ± 8,9	18,7 ± 9,3	20,7 ± 13
	Humide	52,3 ± 66,8	33,5 ± 19,1	34,5 ± 20,7	35,6 ± 22	43,5 ± 36,1
LOIEAU (LO4977)	Normale	317 ±57,2	283 ± 51,2	290 ± 18,9	290,6 ± 73,5	298,1 ± 5,45
	Sèche	252 ± 51,4	229 ± 46,6	238 ± 17,8	256,7 ± 72,4	250,2 ±5,3
	Humide	406 ± 88,3	359 ± 78,2	348,9 ± 26,7	347,8 ± 106,2	347,7 ±7,42

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,021 m^3/s) et module (0,8 m^3/s) équivaut à 2,6 % du module, valeur nettement inférieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

Sur le sous-bassin du Cens

*Tableau 45 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Cens** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation transfert - Gesvres	0,62	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO4979)	0,55 ± 0,01	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels reconstitués par transfert et calculés sur la période [2010 – 2020] varient entre **0,042 m^3/s** (septembre) et **1,5 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,62 m^3/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **0,27 m^3/s** (octobre) et **0,91 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,55 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 0,85 % (août) et 9,7 % (décembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

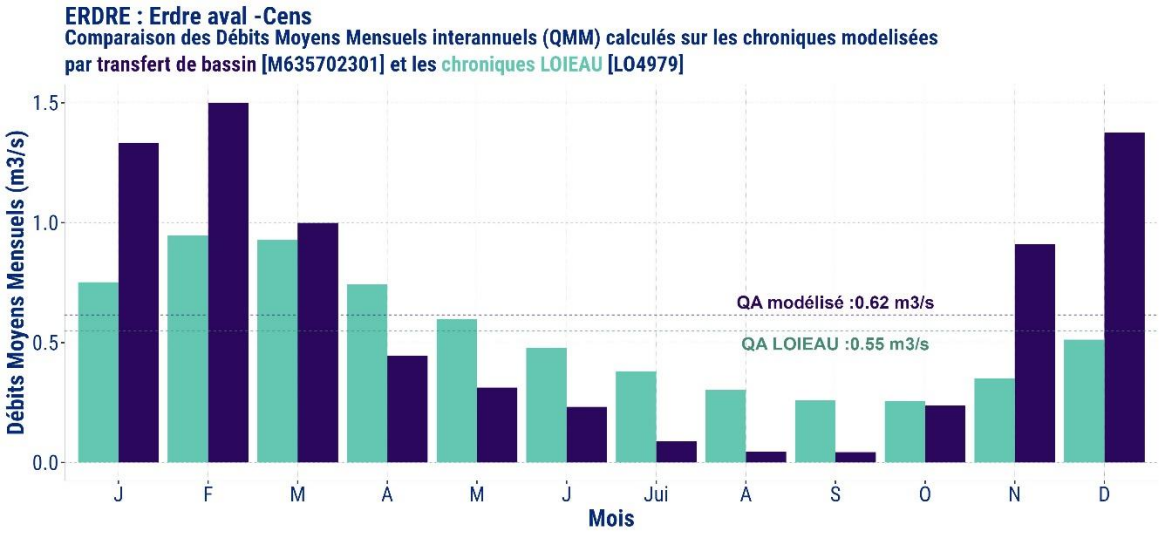


*Figure 53 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin du **Cens***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,016 m^3/s (± 0,014 m^3/s).

*Tableau 46 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **Cens** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert - Gesvres	Normale	23,2 ± 20,1	18 ± 8,3	18,5 ± 8,5	19 ± 9,1	21,6 ± 13,2
	Sèche	16,5 ± 14,2	13,8 ± 6,7	14 ± 6,8	14,4 ± 7,3	15,9 ±10
	Humide	40,1 ± 51	25,5 ± 15,4	26,4 ± 15,9	27,2 ± 17,2	33,4 ± 27,7
LOIEAU (LO4979)	Normale	243,8 ± 44,1	218,1 ± 39,7	222,2 ± 3,6	222,8 ± 41,6	239,2 ± 77
	Sèche	194 ± 39,6	175,8 ± 36,1	184,1 ± 3,4	198,9 ± 41,9	229,2 ± 81,5
	Humide	312,4 ± 68	276,6 ± 60,6	261,3 ± 4,9	256,2 ± 57,8	256,8 ± 102

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,016 m^3/s) et module (0,62 m^3/s) équivaut à 2,6 % du module, valeur nettement inférieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

Sur le sous-bassin de l'Hocmard

*Tableau 47 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin de l'**Hocmard** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation transfert - Gesvres	0,53	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO4971)	0,46 ± 0,01	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels reconstitués par transfert calculés sur la période [2010 – 2020] varient entre **0,042 m^3/s** (septembre) et **1,29 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,53 m^3/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **0,23 m^3/s** (octobre) et **0,76 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,46 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 0,85 % (août) et 10,8 % (novembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

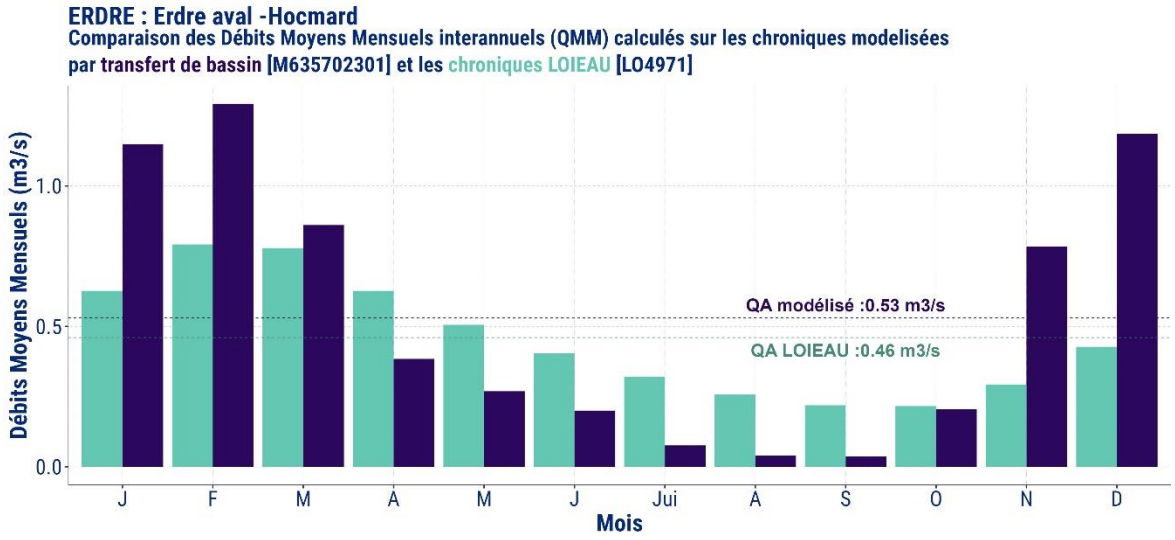


*Figure 54 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur le sous-bassin de **l'Hocmard***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,014 m^3/s (± 0,012 m^3/s).

*Tableau 48 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin de l'**Hocmard** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert - Gesvres	Normale	20 ± 17,3	15,6 ± 6,7	16 ± 7,4	16,4 ± 7,8	18,6 ± 11,3
	Sèche	14,2 ± 12,2	11,8 ± 5,4	12,1 ± 5,9	12,4 ± 6,2	13,7 ± 8,5
	Humide	34,6 ± 43,8	22,1 ± 12,3	22,8 ± 13,8	23,5 ± 14,7	28,8 ± 23,8
LOIEAU (LO4971)	Normale	205,7 ± 37,6	184,2 ± 33,8	187 ± 3	183 ± 2,4	198,4 ± 2,2
	Sèche	163,4 ± 33,7	148 ± 30,6	154,7 ± 2,9	156,4 ± 2,4	173,7 ±2 .2
	Humide	264,3 ± 58,2	234,3 ± 51,8	220,1 ± 4,2	210,3 ± 2,3	223,5 ± 2,9

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,014m^3/s) et module (0,53 m^3/s) équivaut à 2,6 % du module, valeur nettement inférieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

Sur le sous-bassin du canal de Nantes à Brest

*Tableau 49 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO4958)	0,52 ± 0,01	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,25 m^3/s** (septembre) et **0,87 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,52 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1% % (août) et 12 % (novembre).

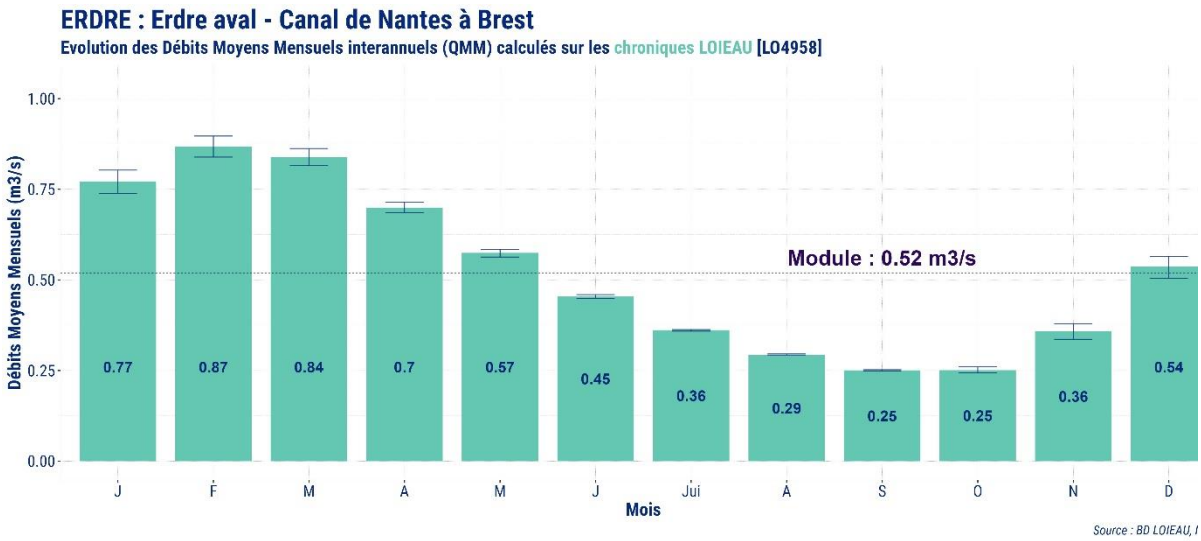


*Figure 55 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,018 m^3/s (± 0,03 m^3/s).

*Tableau 50 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO4958)	Normale	226,9 ± 39,4	202,6 ± 36	206,9 ± 10,2	206,7 ± 44,9	220,9 ± 26,6
	Sèche	188 ± 35,7	164,4 ± 33	170,2 ± 9,7	184,8 ± 45	206,1 ± 28,3
	Humide	285 ± 60	254,9 ± 54	246,8 ± 14,3	238,9 ± 62,9	239,2 ± 34,3

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,18m^3/s) et module (0,52 m^3/s) équivaut à 34,6 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

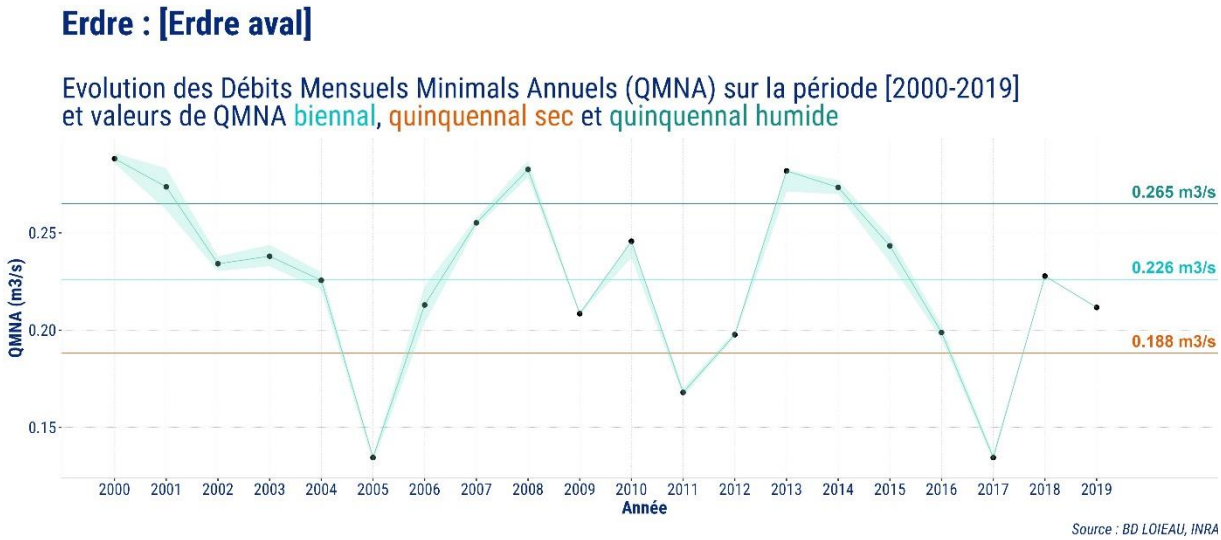


*Figure 56 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4958) sur le sous-bassin du **Canal de Nantes à Brest** sur la période [2000 – 2020]*

Sur le sous-bassin du ruisseau de la Déchausserie

*Tableau 51 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du ruisseau de la **Déchausserie** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO4960)	0,29 ± 0,01	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,14 m^3/s** (septembre) et **0,47 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,29 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1,3 % (août) et 15,5 % (novembre).

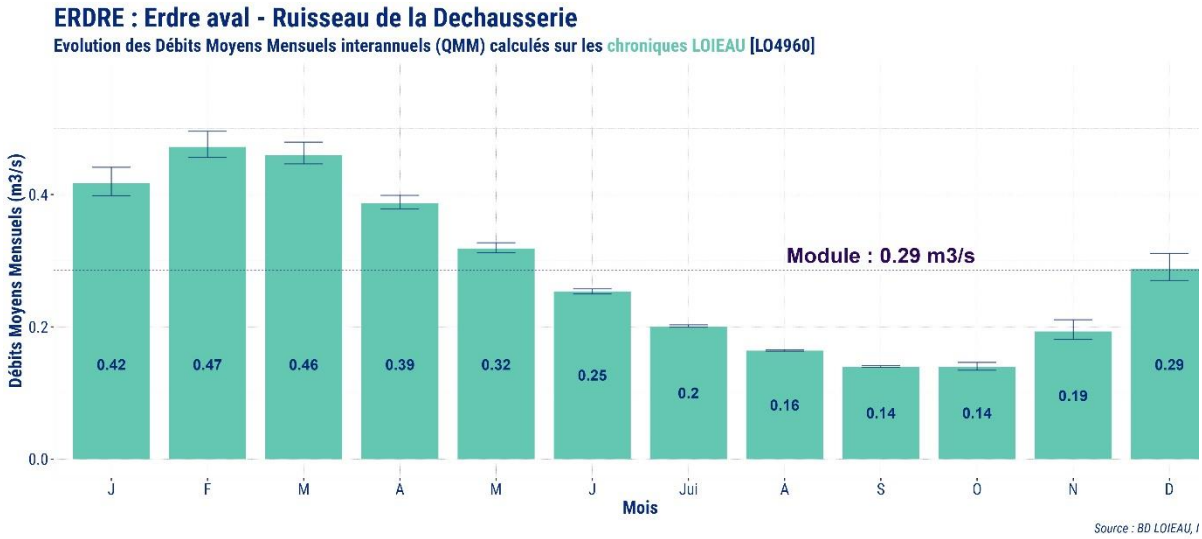


*Figure 57 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin du **ruisseau de la Déchausserie***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,104 m^3/s (± 0,02 m^3/s).

*Tableau 52 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **ruisseau de la Déchausserie** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO4960)	Normale	125 ± 22,4	112,4 ± 20,4	114,6 ± 1,9	112,6 ± 1,6	118,6 ± 16,6
	Sèche	104 ± 20,2	90,7 ± 18,6	94,6 ± 1,8	95,3 ± 1,6	109,1 ± 17,3
	Humide	148 ± 34,5	142,3 ± 31,1	135,2 ± 2,6	130,4 ± 2,2	130,9 ± 21,9

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,1 m^3/s) et module (0,29 m^3/s) équivaut à 34,5 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

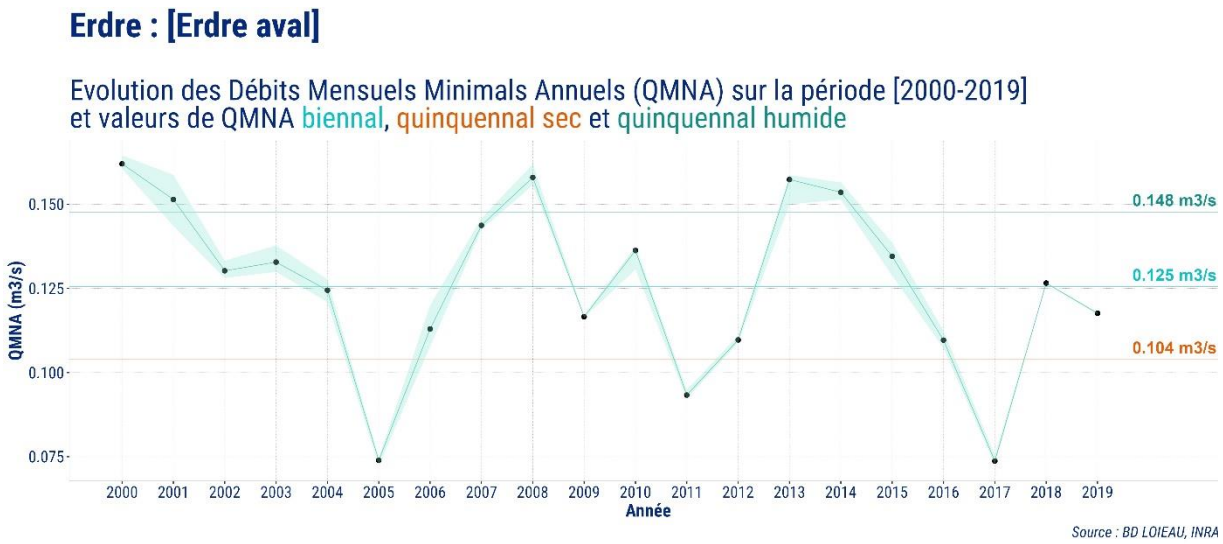


*Figure 58 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4960) du **ruisseau de la Déchausserie** sur la période [2000 – 2020]*

Sur le sous-bassin du ruisseau des Huppières

*Tableau 53 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin du **ruisseau des Huppières** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO4968)	0,13 ± 0,003	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,06 m^3/s** (octobre) et **0,21 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,13 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1,1 % (août) et 13,5 % (novembre).

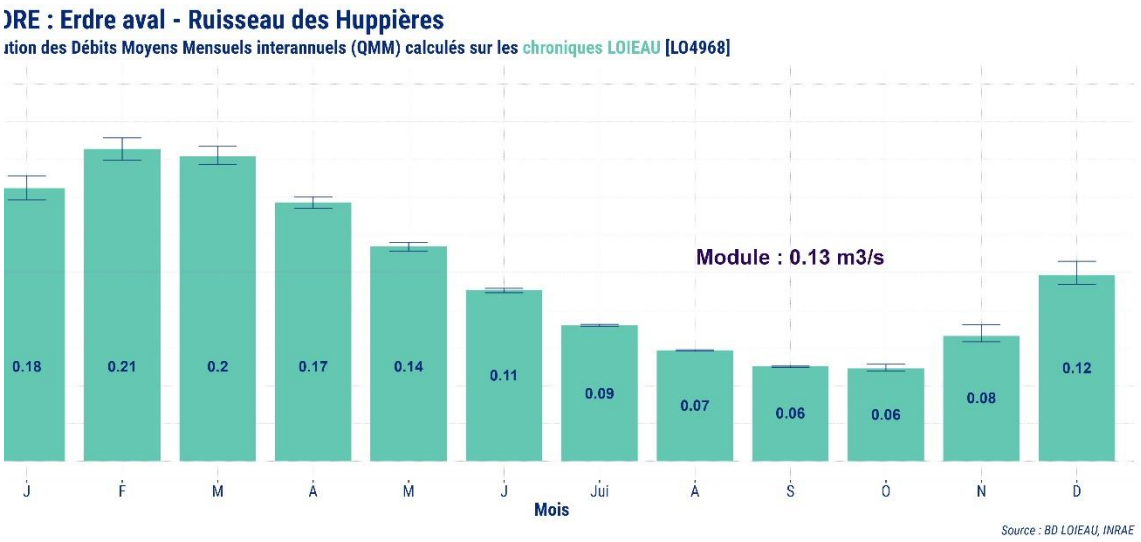


*Figure 59 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin **ruisseau des Huppières***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,046 m^3/s (± 0,091 m^3/s).

*Tableau 54 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin du **ruisseau des Huppières** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO4968)	Normale	55,9 ± 10,2	49,8 ± 9,3	50,6 ± 3	50,4 ± 0,8	49,3 ± 2,7
	Sèche	46 ± 9,1	40 ± 8,5	41 ± 2,8	41,9 ± 0,8	44,3 ± 2,8
	Humide	66 ± 15,8	63,6 ± 14,4	61,4 ± 4,3	59,2 ± 1	54,8 ± 3,5

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,04 m^3/s) et module (0,13 m^3/s) équivaut à 30,7 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

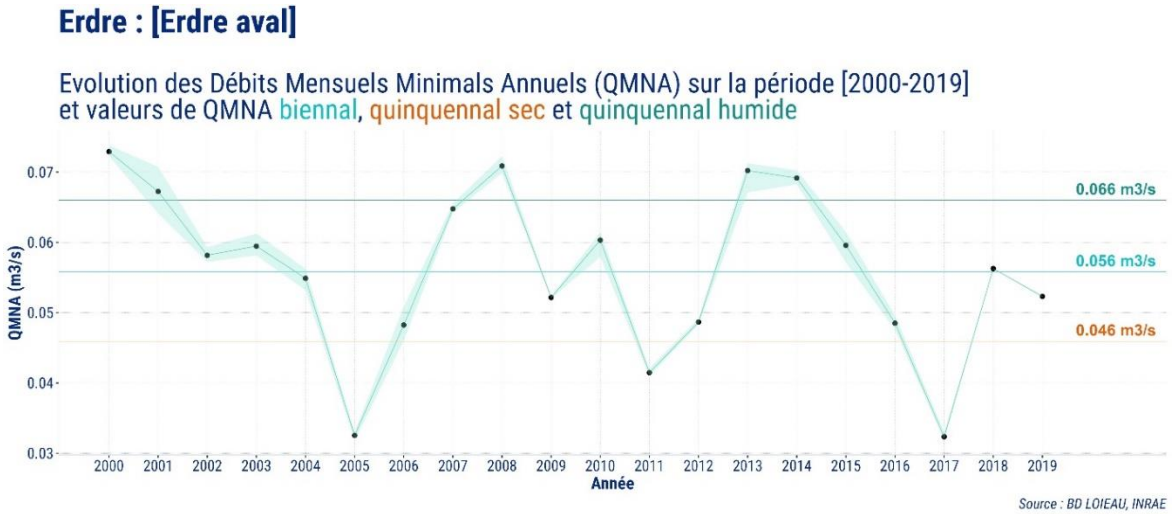


*Figure 60 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4968) du **ruisseau des Huppières** sur la période [2000 – 2020]*

Sur le sous-bassin de l'Etang Hervé

*Tableau 55 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le sous-bassin de **l'Etang Hervé** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO4973)	0,20 ± 0,006	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,1 m^3/s** (octobre) et **0,34 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,20 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1,1 % (août) et 12,6 % (novembre).

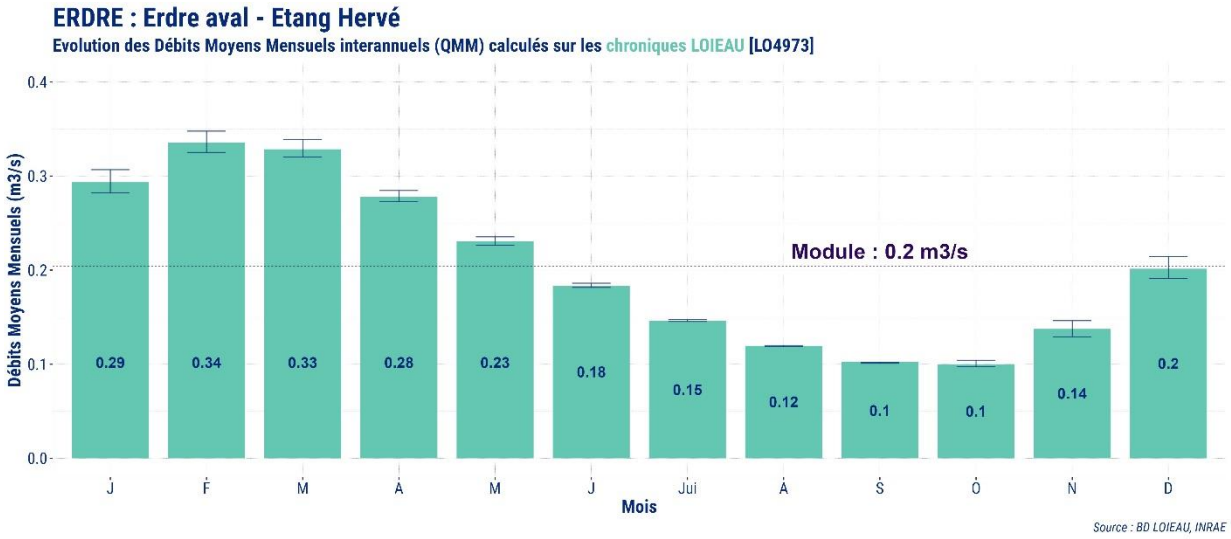


*Figure 61 : Débits moyens mensuels interannuels LOIEAU sur le sous-bassin de **l'Etang Hervé***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de 0,075 m^3/s (± 0,0148 m^3/s).

*Tableau 56 : Indicateurs d'étiage calculés sur le sous-bassin de **l'Etang Hervé** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO4973)	Normale	90,7 ± 16,5	81,2 ± 14,9	82,5 ± 1,3	81,4 ± 1,2	85,4 ± 25,9
	Sèche	75 ± 14,8	65,2 ± 13,5	68,2 ± 1,3	68,2 ± 1,2	80 ± 26,8
	Humide	107 ± 25,6	103,4 ± 22,8	97,1 ± 1,8	95 ± 1,6	94,5 ± 35,3

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,075 m^3/s) et module (0,21 m^3/s) équivaut à 34,3 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

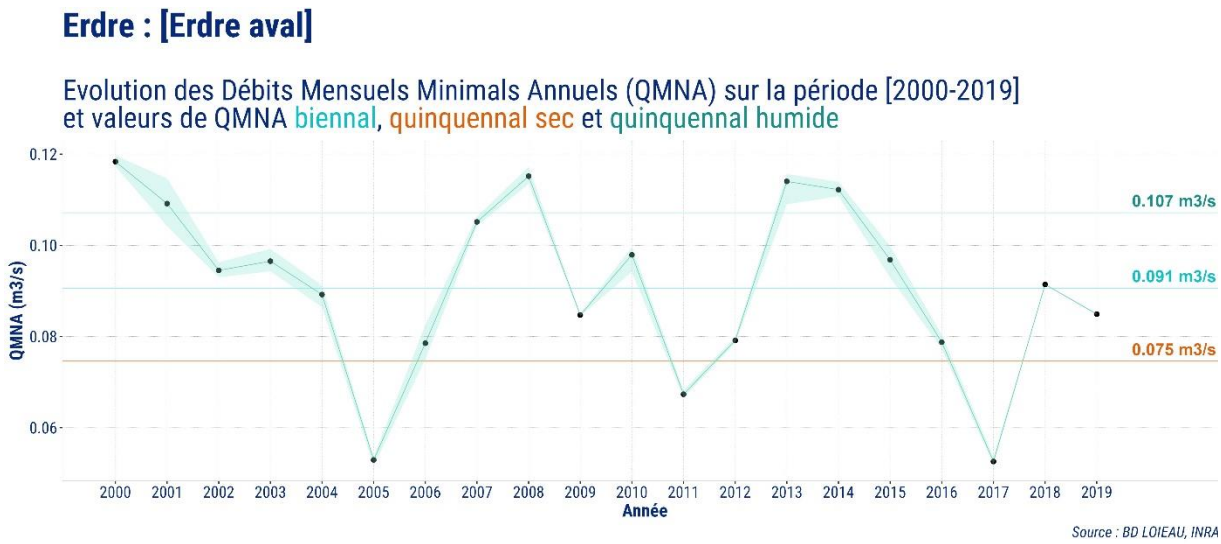


*Figure 62 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO4973) de **l'Etang Hervé** sur la période [2000 – 2020]*

À l'exutoire de l'Erdre aval

*Tableau 57 : Caractéristiques du régime hydrologique **à l'exutoire de l'Erdre aval** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Modélisation agrégation	6,51 ± 0,85	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO4983)	8,27 ± 0,35	Juin	Janvier	8 mois
Erdre à St-Félix	5,82	Avril	Décembre	9 mois

Les débits moyens mensuels reconstitués par agrégation calculés sur la période [2010 – 2020] varient entre **0,66 m^3/s** (septembre) et **17,2 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **6,51 m^3/s**.

Les débits moyens mensuels reconstitués sont proches des débits moyens calculés au droit de la station de Saint-Félix qui affiche le débit mensuel le plus faible en août (0,49 m^3/s) et un débit moyen maximal en janvier (15,6 m^3/s) pour un module de 5,8 m^3/s.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **4,14 m^3/s** (octobre) et **13,98 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **8,27 m^3/s**.

L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1,5% (août) et 18,2 % (novembre). De manière générale, l'incertitude des débits est plus élevée sur la période de hautes eaux.

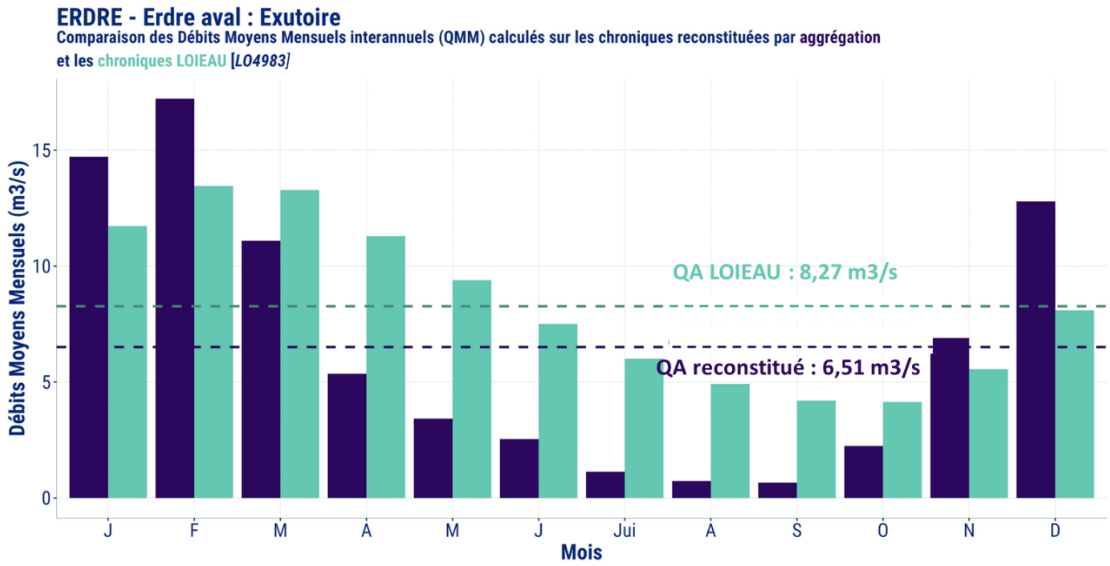


*Figure 63 : Débits moyens mensuels interannuels modélisés par agrégation (bleu), LOIEAU (vert) et de la station virtuelle de Saint-Félix (rouge) sur la sous-entité de **l'Erdre aval***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de **0,37 m³/s** (± 0,166 m³/s) tandis que le $QMNA_5$ calculé sur les chroniques de la station virtuelle de Saint Félix est légèrement supérieur avec une valeur de **0,190 m³/s** (± 0,069 m³/s). Les indicateurs calculés sur les chroniques LOIEAU sont très supérieurs (facteur 10).

*Tableau 58 : Indicateurs d'étiage calculés sur la sous-entité **de l'Erdre aval** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Agrégation	Normale	496 ± 207	415 ± 24	432 ± 24,8	443 ± 25,4	475 ± 104
	Sèche	373± 166	300 ± 20	314 ± 20,7	321,8 ± 21	348,9 ± 84,5
	Humide	694 ± 377	539 ± 37	558 ± 37,9	573 ± 38	638 ± 172
Station virtuelle St-Félix	Normale	279 ± 93	130 ± 20	150 ± 31	159 ± 45	213,3± 88,6
	Sèche	190 ± 69	73,5 ± 12,7	82,5 ± 19,1	93,7 ± 29	143 ± 63
	Humide	410 ± 174	199,3 ± 37	236,2 ± 60	251,4 ± 89	326 ± 176
LOIEAU (LO4983)	Normale	3749 ± 674	3345 ±499	3315 ± 114	3220 ± 101	2658 ± 172
	Sèche	2980 ± 604	2635 ± 446	2562 ± 102	2482 ± 90	1772 ± 132
	Humide	4808 ± 1040	4271 ± 762	4115 ± 166	4000 ±146	3653 ± 279

À l'exutoire de l'Erdre aval, le ratio entre $QMNA_5$ (0,37 m³/s) et module (6,51 m³/s) équivaut à 5,7 % ce qui est inférieur au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

Analyse des observations ONDE

La station sur l'Hocmard [M6340001] est localisée sur la commune de Grandchamps-des-Fontaines en Loire-Atlantique sur la partie médiane de la Boire de Nay ou Hocmard. Cette station est intégrée au réseau ONDE depuis 2012 et fait régulièrement l'objet de suivis complémentaires, notamment en fin d'été (entre juillet et décembre principalement). Les années 2018 et 2020 sont caractérisées par de nombreux suivis complémentaires déclenchés sur ces mois (> 60 % des suivis réalisés).

La modalité la plus observée sur cette station est l'écoulement visible faible (62,5 % de l'ensemble des observations) suivie par les écoulements visibles (32,5%) et les écoulements non visibles (5 %). Aucun

assec n'a été observé sur cette station au cours des dix dernières années. Au pas de temps mensuel, les situations critiques (écoulements non visibles) sont généralement observées sur les mois de juillet et d'août (**ANNEXE 14**).

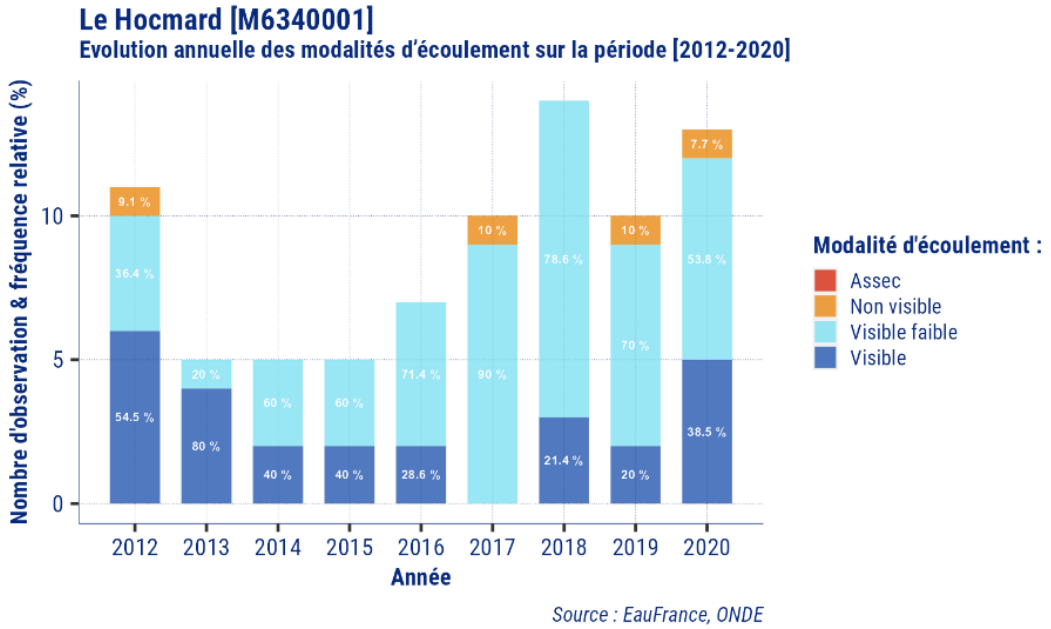


Figure 64 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de l'Hocmard [M6340001]

Plus généralement, on observe une dégradation de l'écoulement (passage de visible à visible faible) à partir des mois de juin / juillet sur cette station. Néanmoins, cette dégradation est plus précoce sur certaines années (2017) comme illustré sur la figure ci-contre.

La station ONDE du Gesvres [M6357021] est localisée sur la commune de Vigneux-de-Bretagne en Loire-Atlantique, à environ 7 kilomètres des sources du Gesvres. Cette station est intégrée au réseau ONDE depuis 2012 et fait régulièrement l'objet de suivis complémentaires en fin d'été (plus de 50 % des observations réalisées à partir de juillet), notamment sur les années 2018 et 2020 (plus de 60 % des observations sont complémentaires).

De manière générale, la modalité la plus observée sur cette station est l'écoulement visible faible (50 % de l'ensemble des observations) suivie par les écoulements visibles (33,8%), les écoulements non visibles (11,2 %) et les assecs (5 %).

Au pas de temps mensuel, les situations critiques (écoulements non visibles et assecs) sont généralement observées entre les mois de juillet et de septembre (entre 20 et 35 % des observations, **ANNEXE 14**). Ces situations sont observées sur les années 2016, 2017 et 2019, comme illustré ci-contre.

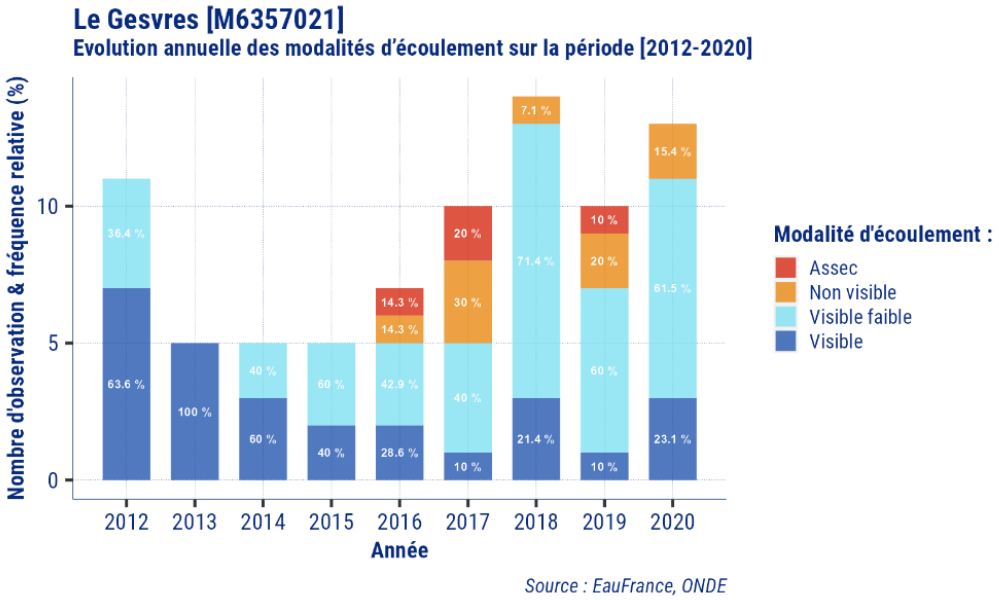


*Figure 65 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Gesvres** [M6357021]*

La station [M6357022] qui suit le Cens est également localisée sur la commune de Vigneux-de-Bretagne en Loire-Atlantique, à moins de 5 kilomètres des sources du Cens. Cette station est intégrée au réseau ONDE depuis 2012 et fait régulièrement l'objet de suivis complémentaires au milieu de l'été (juillet et août) et en automne notamment sur les années 2018 et 2020 (plus de 60 % des observations sont complémentaires). De manière générale, la modalité la plus observée sur cette station est l'écoulement visible faible (43,8% de l'ensemble des observations) suivie par les écoulements visibles (30%), les écoulements non visibles (18,8 %) et les assecs (7,5 %).

Au pas de temps mensuel, les situations critiques (écoulements non visibles et assecs) sont généralement observées entre les mois d'août et de septembre (plus de 40 % des observations réalisées en moyenne sur la période, **ANNEXE 14**). C'est notamment le cas pour les quatre dernières années comme illustré ci-dessous.

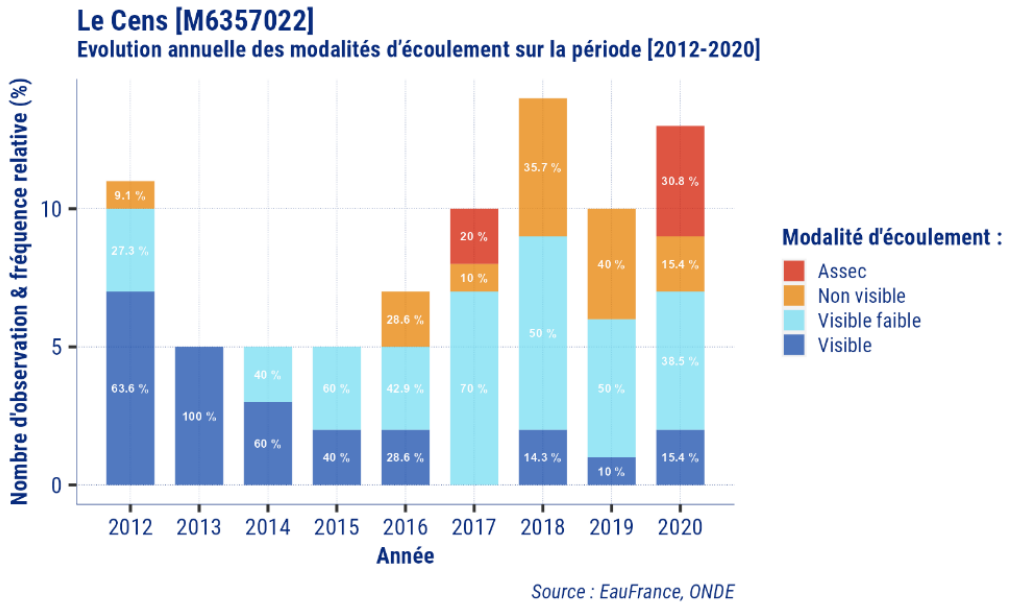
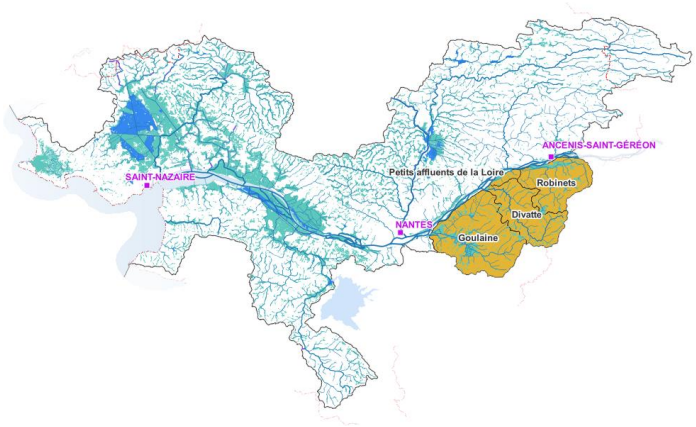


*Figure 66 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Cens** [M6357022]*

4.5 ENTITE GOULAINE – DIVATTE – ROBINETS

L'entité **Goulaine-Divatte-Robinets** est décomposée en 4 sous-entités hydrologiques avec d'Ouest en Est :

- La Goulaine (191 km²)
- La Divatte (106 km²)
- Les Robinets (103 km²)
- Les petits affluents de Loire (89 km²)



4.5.1 Sous-entité de la Goulaine

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 59 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de **la Goulaine***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	191

La sous-entité de la Goulaine intègre le bassin drainé par les deux cours d'eau suivants :

- La Boire de la Roche (12 km) ou « Canal des Bardets » qui prend sa source à Divatte-sur-Loire et rejoint la Goulaine à Basse-Goulaine ;
- La Goulaine (22 km) qui est formée par la confluence du Gueubert et du Poyet. La Goulaine conflue avec la Loire sur la commune de Basse-Goulaine.

Le bassin versant de la Goulaine présente un relief très hétérogène d'Ouest en Est avec :

- Les secteurs Ouest (marais de Goulaine) et Nord (Canal des Bardets) qui culminent à 2mNGF et présentent des pentes très faibles avec un écoulement lent vers la Loire. La topographie de ces secteurs fait apparaitre des difficultés d'écoulement lorsque le niveau de la Loire est plus haut que celui de la Goulaine, notamment lorsque se combinent un fort coefficient de marée et une pluviométrie importante.

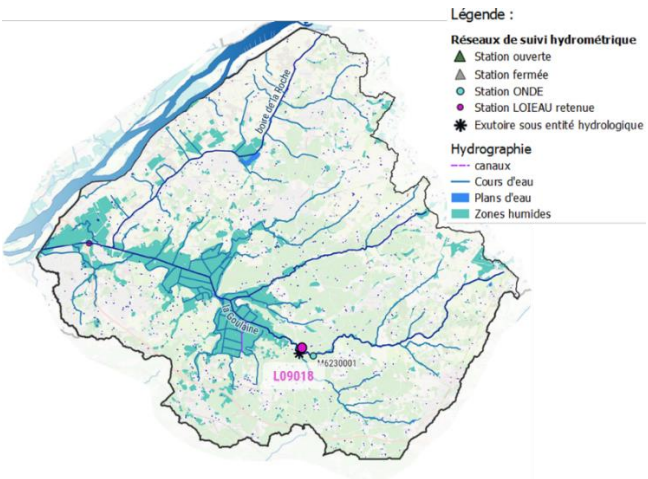


*Figure 67 : Carte de contexte de la sous-entité de la **Goulaine***

- Les zones de sources de la Goulaine (Gueubert et Poyet) qui sont caractérisées par de fortes pentes et un relief marqué (96mNGF).

En termes de suivi hydrométrique, il n'existe pas de station hydrométrique sur cette sous-entité. On observe néanmoins la présence d'une station du réseau ONDE sur le Gueubert [M6230001].

> *Compte tenu du contexte physique particulier sur cette sous-entité et notamment de la présence des marais de Goulaine (200 ha) qui va influencer les écoulements sur la partie aval du bassin et de l'absence de site de suivi hydrométrique, le régime hydrologique de la Goulaine sera caractérisé à partir du point de modélisation LOIEAU situé en amont de la zone de marais.*

Caractérisation des régimes hydrologiques

*Tableau 60 : Caractéristiques du régime hydrologique de **la Goulaine** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO9018)	0,14 ± 0,01	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels LOIEAU calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,07 m^3/s** (septembre / octobre) et **0,23 m^3/s** (février / mars) pour un débit moyen interannuel de **0,14 m^3/s**. L'incertitude sur ces débits moyens mensuels varie entre 1,3 % (août) et 9,6 % (novembre).

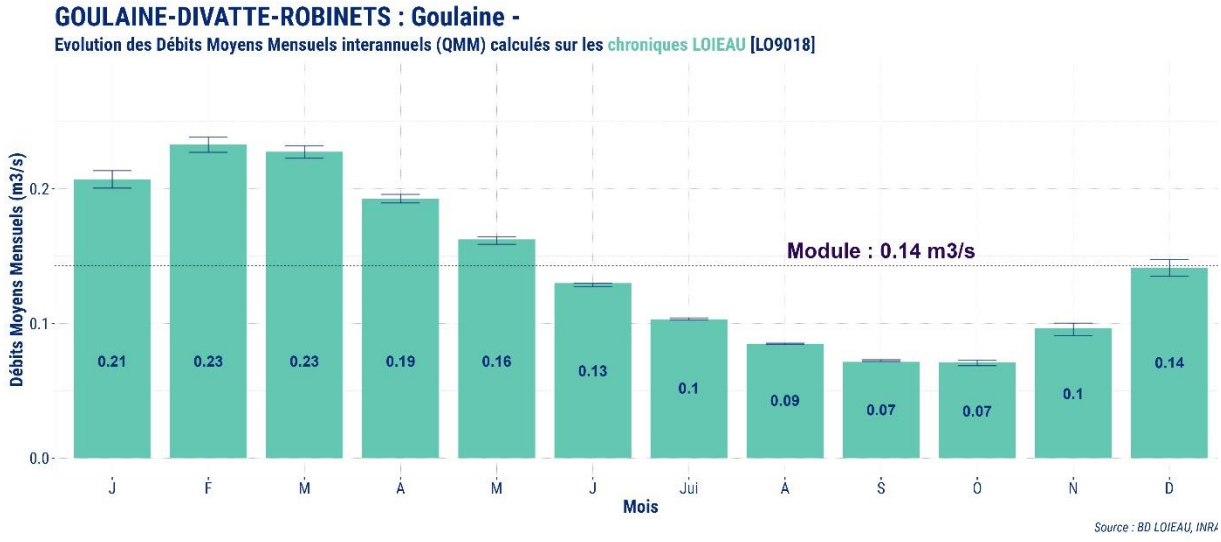


*Figure 68 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur **la Goulaine***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **0,054 m^3/s** (± 0,013 m^3/s).

*Tableau 61 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU de la **Goulaine** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO9018)	Normale	65,2 ± 14,3	58,2 ± 13	58,4 ± 10,7	59,3 ± 3	58,7 ± 0,5
	Sèche	54± 12,8	47 ± 11,8	47,8 ±9,9	49 ± 2,9	52,4 ± 0,5
	Humide	78 ± 22,5	74,9 ± 20,3	73 ± 16,2	70,7 ±4,3	65 ± 0,6

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,054 m^3/s) et module (0,14 m^3/s) équivaut à 38,5 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau d'eau.

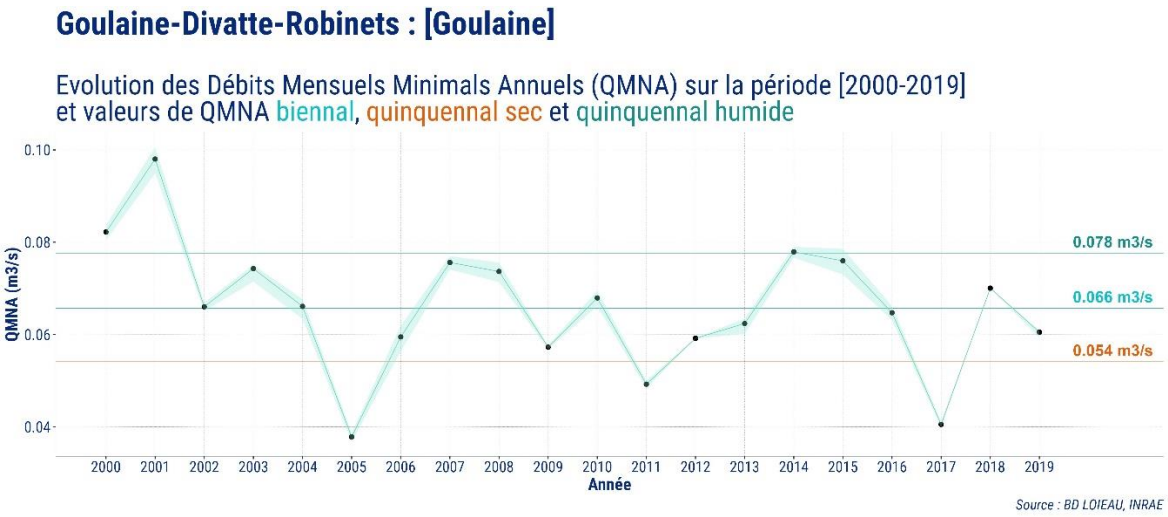


*Figure 69 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO9018) de la **Goulaine** sur la période [2000 – 2020]*

Analyse des observations ONDE

La station ONDE du Gueubert [M6230001] est localisée sur l'aval du Gueubert, à quelques centaines de mètres en amont de sa confluence avec le Poyet. Cette station est suivie depuis la mise en place du réseau ONDE en 2012. Cette station a fait l'objet de nombreux suivis complémentaires sur les cinq dernières années, notamment sur les mois d'octobre, de juillet et d'août.

Sur la période analysée, la modalité dominante observée est l'assec (40 %) suivie de l'écoulement visible (32,5 %), non visible (16,2 %) et visible faible (11,2%). On remarque que les observations d'assec présentent une tendance à l'augmentation à partir de 2017.

Au pas de temps mensuel, les situations d'écoulement critiques sont principalement observées entre les mois de juillet et de septembre **(ANNEXE 14)**. Néanmoins, ces situations peuvent être plus précoces, avec des assèchements observés dès le mois de juin comme en 2017.

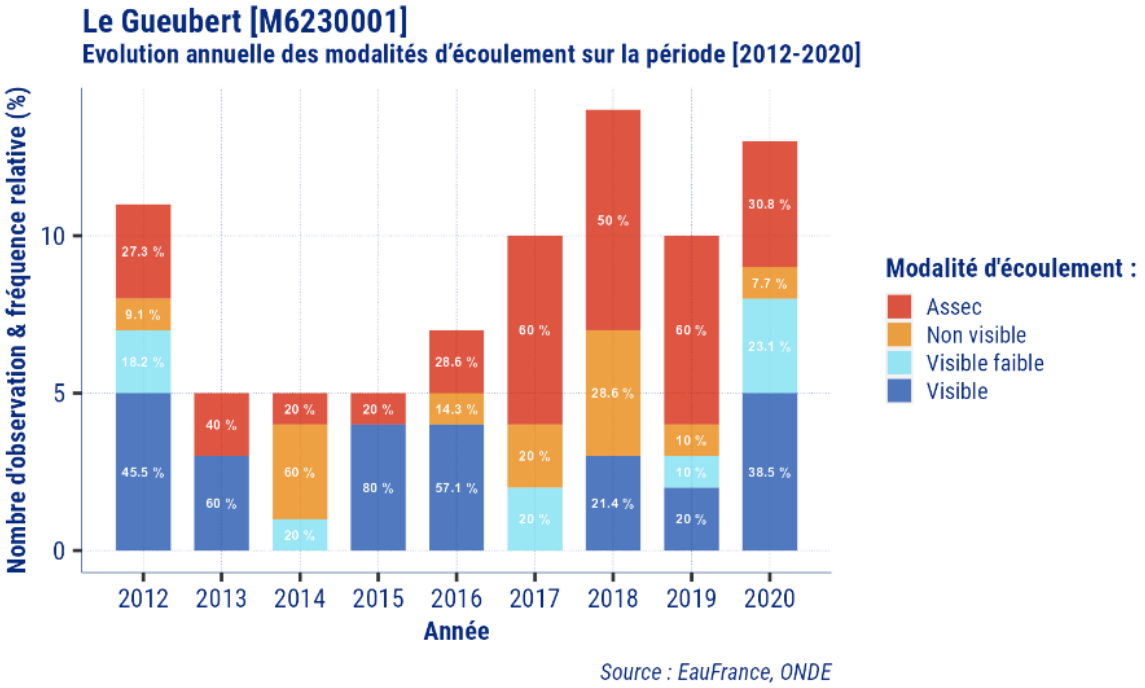


*Figure 70 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Gueubert** [M6230001]*

4.5.2 Sous-entité de la Divatte

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 62 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de la **Divatte***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	Transfert de bassin	Influencé	106

La sous-entité de la Divatte intègre un bassin versant de 106 km² principalement drainé par la Divatte qui s'écoule sur environ 30 kilomètres, depuis sa source en amont de la commune de la Boissière-du-Doré (Maine-et-Loire) jusqu'à sa confluence avec la Loire, entre les communes de la Varenne (Maine-et-Loire) et de la Chapelle-Basse-Mer (Loire-Atlantique).

La Divatte forme la frontière entre les départements de la Loire-Atlantique et du Maine-et-Loire sur les deux-tiers de sa longueur. Cet affluent rive gauche de la Loire affiche une pente moyenne de 2,9 ‰ qui lui une confère un caractère de rivière dynamique.

En termes de suivi hydrométrique, il n'existe pas de station en activité sur cette sous-entité. La station de la Divatte à Landemont [M621401010] est fermée depuis 1998.

Néanmoins, la station du bassin frontalier de la **Sanguèze**, localisée à Tillières [M731401010], est jugée représentative d'un contexte similaire (bassin de 93 km²) et dispose de chroniques de débits journaliers robustes sur la période 2000 – 2020.

Une station du réseau ONDE est localisée sur le cours aval de la Divatte sur la commune de Barbechat [M6214000].

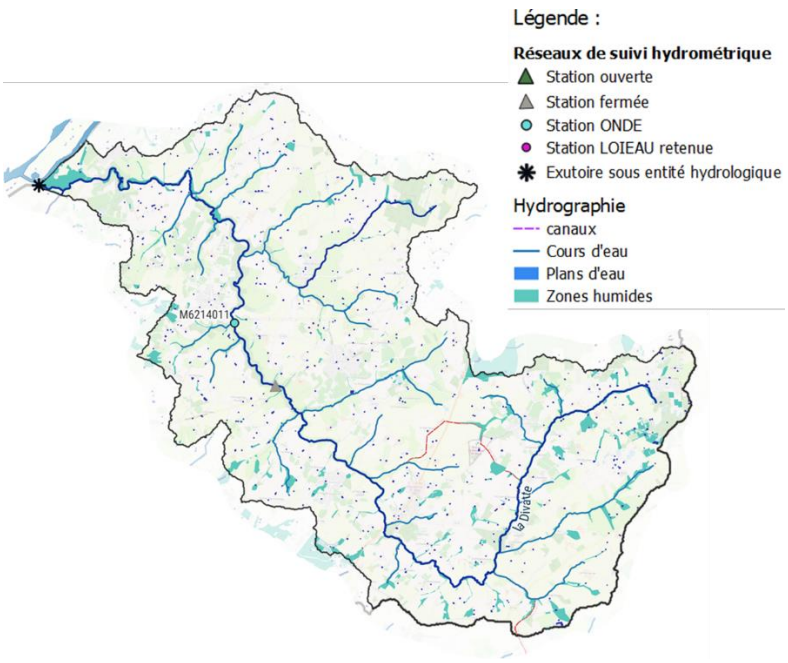


*Figure 71 : Carte de contexte de la sous-entité de la **Divatte***

> *En l'absence de station hydrométrique en activité sur le périmètre de la sous-entité, le régime hydrologique sera reconstitué par méthode de transfert à partir des chroniques de débits journaliers de la station de la Sanguèze à Tillières [M731401010].*

Reconstitution des régimes hydrologiques

L'analyse comparative de la dynamique des chroniques journalières modélisées à l'exutoire de la sous-entité par méthode de transfert à partir de la station de la Sanguèze à Tillières [M731401010] et du point de modélisation LOIEAU est présentée ci-dessous :

Tableau 63 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU

Sous-entité	Station transfert	LOIEAU	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Divatte	M731401010	LO712	2000 - 2020	0,46	0,03	1,99	0,9	6970

Sur ce secteur, les chroniques reconstituées par transfert affichent une dynamique moyennement corrélée (r = 0,46) avec les chroniques LOIEAU, avec toutefois des écarts relativement faibles sur la période étudiée.

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 64 : Caractéristiques du régime hydrologique sur **la Divatte** calculées sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m³/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Transfert	0,90	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO9018)	0,87	Juin	Janvier	8 mois
RRP-BDMAP (4490516)	0,83	Avril	Novembre	8 mois

Les débits moyens mensuels reconstitués par **transfert** calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,025 m³/s** (septembre) et **2,6 m³/s** (janvier) pour un débit moyen interannuel de **0,9 m³/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique **LOIEAU** varient entre **0,44 m³/s** (octobre) et **1,4 m³/s** (mars) pour un débit moyen interannuel de **0,87 m³/s**. L'incertitude sur ces débits varie entre 0,5 % (août) et 5,5% (novembre).

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique RRP-BDMAP varient entre **0,06 m³/s** (août/septembre) et **2,3 m³/s** (janvier) pour un module de **0,83 m³/s.**

L'analyse comparative des trois sources de données confirme la surestimation des débits moyens en période d'étiage par LOIEAU sur le secteur d'étude.

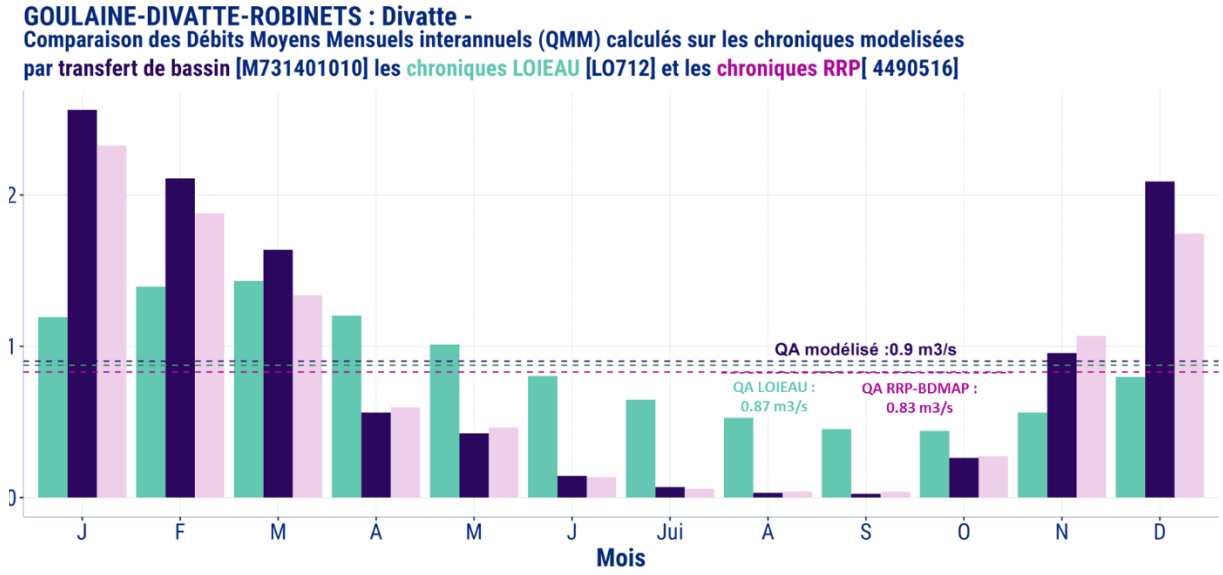


*Figure 72 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur la **Divatte***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du $QMNA_5$ est de **0,7 L/s** (± 0,3 L/s).

*Tableau 65 : Indicateurs d'étiage de la **Divatte** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert	Normale	6,2 ± 2,41	1,1 ± 0,5	1,42 ± 0,7	1,6 ± 0,8	3 ± 1,8
	Sèche	0,7 ± 0,3	0	0,05 ± 0,02	0,08 ± 0,04	0,3 ± 0,2
	Humide	17 ± 8,3	3,8 ± 2,3	4,6 ± 2,9	5,1± 3,3	10,7 ± 8,5
LOIEAU (LO712)	Normale	405,8 ± 7,4	363,7 ±6,1	365,8± 5,1	368,6 ± 4,6	377,3 ± 68
	Sèche	331,7 ± 7,4	300,6 ± 5,9	307,3± 5	315,5 ± 4,6	349,9 ± 71
	Humide	482,3 ± 10,3	428,7± 8,4	425,8 ± 7	423 ± 6,1	414,8 ± 90
RRP-BDMAP (4490516)	Normale	17,7 ± 3,2	9,3 ± 1,5	9,7 ± 1,5	10,3 ± 1,5	14,4 ± 3,4
	Sèche	7,3 ± 1,5	3,9 ± 0,7	4 ± 0,7	4,3 ± 0,7	5,8 ± 1,5
	Humide	31,4 ± 6,8	16,2 ± 3,1	17 ± 3,2	17,9 ± 3,2	26,7 ± 7,6

À partir des données modélisées par transfert et des indicateurs calculés sur les chroniques RRP-BDMAP, les ratios respectifs entre $QMNA_5$ (0,0007 m³/s et 0,007 m³/s) et module (0,90 m³/s et 0,83 m³/s) sont très inférieurs au 1/10ème du module et indiquent une situation de tension sur les milieux et la ressource.

Néanmoins, l'analyse de ce ratio à partir des indicateurs LOIEAU ($QMNA_5$ = 0,3 m³/s et QA = 0,87 m³/s) montre que le rapport est bien supérieur à cette valeur seuil celui-ci s'établissant à un peu plus d'$^1/_3$ du module (0,34 m³/s).

Analyse des observations ONDE

La station de la Divatte à Barbechat [M6214011] est localisée sur la partie aval de la Divatte. Cette station est suivie depuis la mise en place du réseau ONDE en 2012.

Sur cette station, plus de deux tiers des observations réalisées correspondent à des écoulements visibles (35 %) et à des assecs (33,8 %). On remarque une inversion de la répartition de ces deux modalités sur la période étudiée avec des écoulements visibles (et visibles faibles) majoritaires entre 2012 et 2016, remplacés par les assecs, largement dominants sur les années 2017, 2018 et 2019.

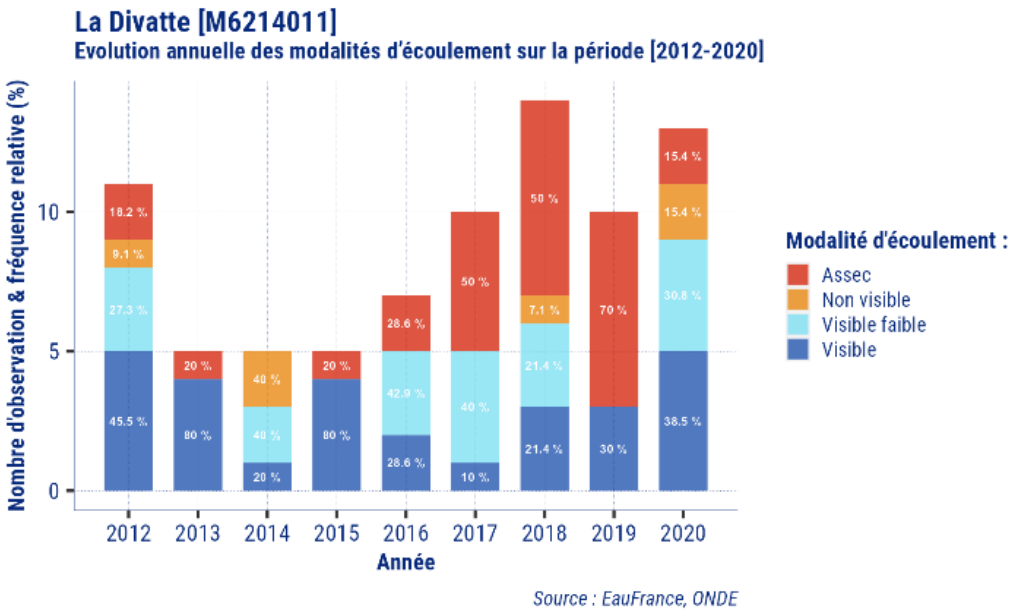


*Figure 73 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de la **Divatte** [M6214011]*

4.5.3 Sous-entité des Robinets

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 66 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité des **Robinets***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	103

La sous-entité des Robinets s'étend sur une surface 103 km² et intègre les bassins versants des cours d'eau suivants :

- Le **ruisseau des Robinets** qui est l'axe principal, caractérisé par un écoulement orienté Nord – Nord-Est, draine un bassin versant d'environ 40 km² au centre du secteur. En aval de la confluence avec le ruisseau de la Haie d'Alot, le lit change d'orientation (Ouest) et longe la Loire jusqu'à sa confluence. Sur cette section (Boire de la Rompure), l'écoulement des Robinets est fortement influencé par les variations de niveaux d'eau en Loire ;
- Le **ruisseau de la Haie d'Alot** (44 km²) qui s'écoule sur environ 11 kilomètres sur la partie Est du secteur avant de confluer avec les Robinets pour former la Boire de la Rompure ;

- Le **ruisseau de la Champenière** (15 km²), localisé sur la frange Ouest de la sous-entité avec un linéaire d'environ 5 kilomètres et qui conflue avec les Robinets à l'amont immédiat de sa confluence avec la Loire.

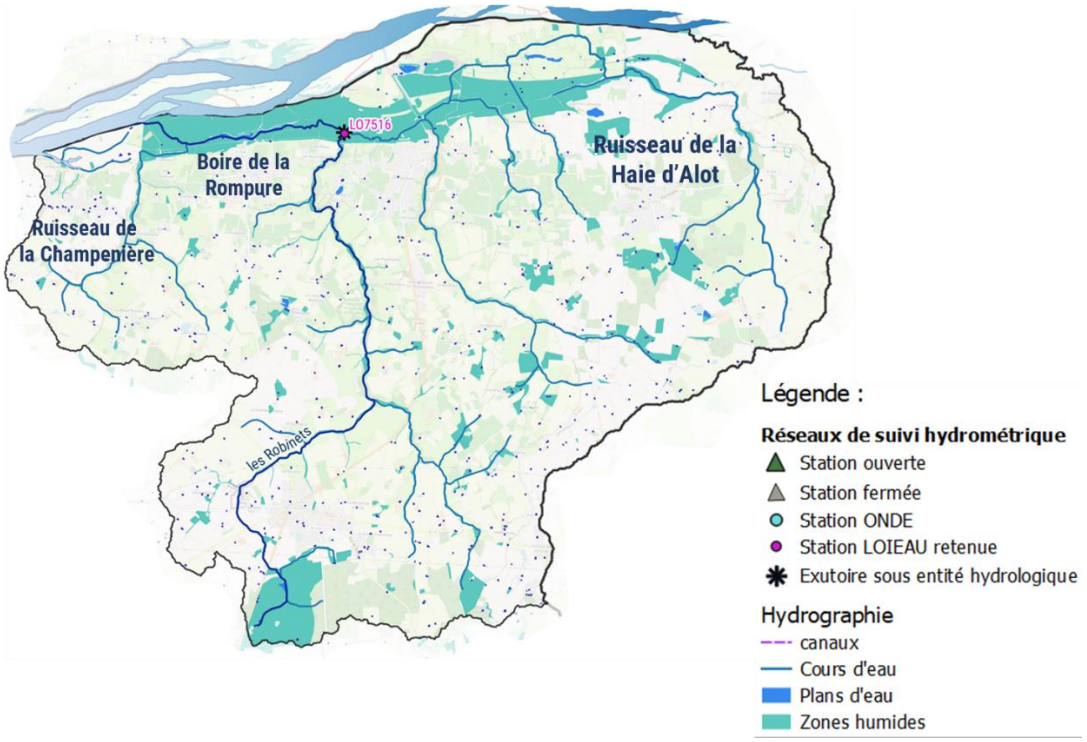


*Figure 74 : Carte de contexte de la sous-entité des **Robinets***

En termes d'instrumentation, il n'existe aucun site de suivi de l'hydrologie (station hydrométrie / station du réseau ONDE) sur cette sous-entité.

> *En l'absence de station hydrométrique en activité sur le périmètre de la sous-entité et compte tenu du fonctionnement particulier des Robinets sur sa partie aval, le régime hydrologique sera analysé au point de modélisation LOIEAU localisé avant la confluence entre les Robinets et la Haie d'Alot.*

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 67 : Caractéristiques du régime hydrologique de la sous-entité des **Robinets** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m³/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO7516)	0,27 ± 0,08	Juin	Janvier	8 mois

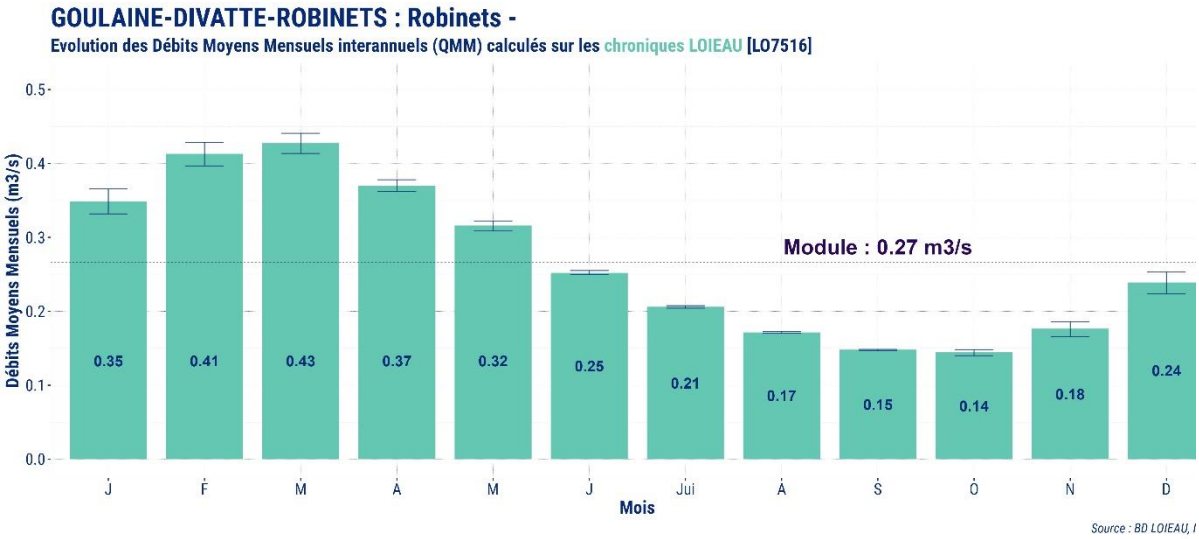


*Figure 75 : Débits moyens mensuels interannuels et module LOIEAU sur la sous-entité des **Robinets***

Les débits moyens mensuels calculés sur la période [2000 – 2020] à partir des chroniques LOIEAU varient entre **0,14 m³/s** (octobre) et **0,43 m³/s** (mars) pour un débit moyen interannuel de **0,27 m³/s**. L'incertitude sur ces débits varie entre 1,2 % (août) et 12,3 % (décembre).

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **0,106 m³/s** (± 0,0025 m³/s).

*Tableau 68 : Indicateurs d'étiage du point LOIEAU des **Robinets** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO7516)	Normale	132,4 ± 2,7	118,3 ± 2,2	117,7 ± 2	115,1 ± 1,7	121 ± 12,3
	Sèche	106,1± 2,5	96 ± 2,1	96,5 ±1,9	96,6 ± 1,7	108,4 ±12,6
	Humide	159,6 ± 3,8	141,3 ± 3	139,5 ± 2,8	134,1 ± 2,3	136 ± 16,4

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,11 m³/s) et module (0,27 m³/s) équivaut à 40,7 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau d'eau.

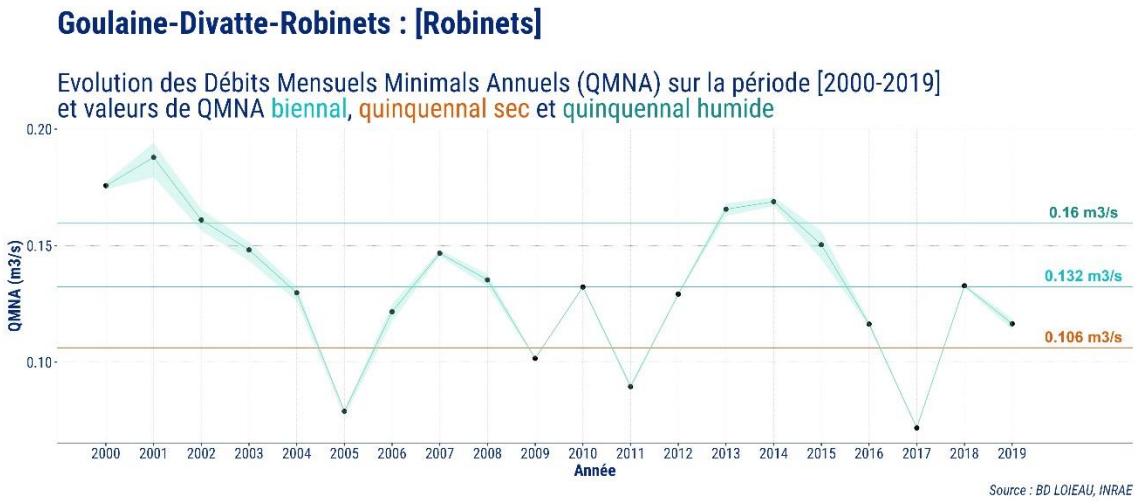


*Figure 76 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO7516) des **Robinets** sur la période [2000 – 2020]*

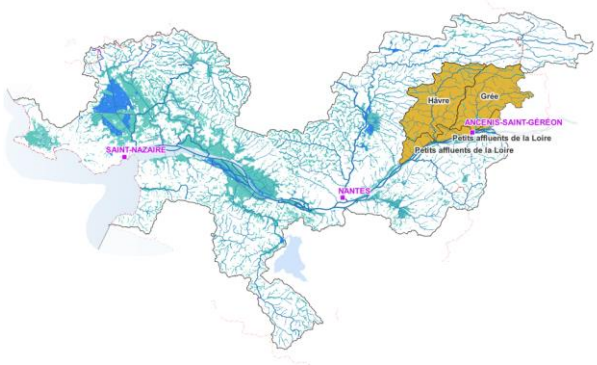
4.5.4 Sous-entités petits affluents de la Loire

> *Compte tenu du fonctionnement hydrologique des cours d'eau très influencés par la présence de zones humides et de l'absence de site de suivi de l'hydrologie, les régimes hydrologiques ne seront pas étudiés sur cette sous-entité.*

4.6 ENTITE HAVRE – GREE

L'entité **Hâvre-Grée** est composée des 3 sous-entités hydrologiques suivantes :

- Le Hâvre (173 km²)
- Le Grée (146 km²)
- Les petits affluents de la Loire (50 km²)



4.6.1 Sous-entité du Hâvre

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 69 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Hâvre***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Oui	Transfert	Influencé	173

La sous-entité du Hâvre correspond au bassin versant du Hâvre (173 km²). Le Hâvre prend sa source sur la commune de Pannecé (44) puis s'écoule selon un axe Sud/Sud-Ouest sur 31 kilomètres pour rejoindre la Loire sur la commune d'Oudon (44).

Cette sous-entité fait partie des secteurs instrumentés du territoire puisqu'il existe une station hydrométrique en activité : la station du **Hâvre à Mésanger [M620101010].** Cette station a néanmoins fait l'objet de modélisation pluie-débit pour reconstituer les chroniques manquantes sur les années 2010 – 2016 (cf. chapitre 2.2.1).

Deux stations du réseau ONDE implantées sur le cours principal du Hâvre permettent également de caractériser le niveau d'écoulement en période d'étiage :

- Le Donneau à Teillé [M6204012] sur le cours amont du Hâvre ;
- Le Hâvre à Couffé [M6204011] localisée sur l'aval du cours d'eau.

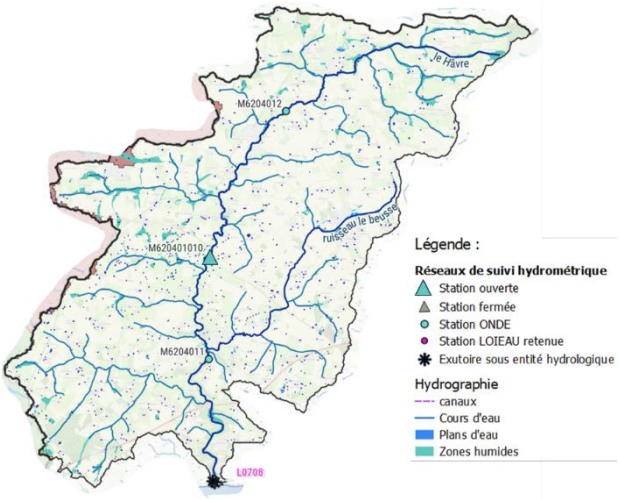


Figure 77 : Carte de contexte de la sous-entité du Hâvre

> *Compte tenu de la présence d'une station hydrométrique en activité, le régime hydrologique à l'exutoire de la sous-entité sera reconstitué par transfert de surface à partir des chroniques de débits journaliers disponibles.*

Reconstitution du régime hydrologique

L'analyse comparative de la dynamique des chroniques journalières modélisées à l'exutoire de la sous-entité par méthode de transfert à partir de la station du **Hâvre à Mésanger [M620101010]** localisée à 10 kilomètres de l'exutoire, et du point de modélisation LOIEAU le plus proche de l'exutoire, est présentée ci-dessous :

Tableau 70 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU

Sous-entité	Station transfert	LOIEAU	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Hâvre	M620101010	LO708	2010 - 2020	0,46	-0,17	2,5	1,36	5100

Sur ce secteur, les chroniques reconstituées par transfert affichent une dynamique moyennement corrélée (r = 0,46) avec les chroniques LOIEAU, avec néanmoins des écarts relativement faibles sur la période étudiée.

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 71 : Caractéristiques du régime hydrologique sur la sous-entité du **Hâvre** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Transfert	1,33	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO708)	1,54 ± 0,07	Juin	Janvier	8 mois

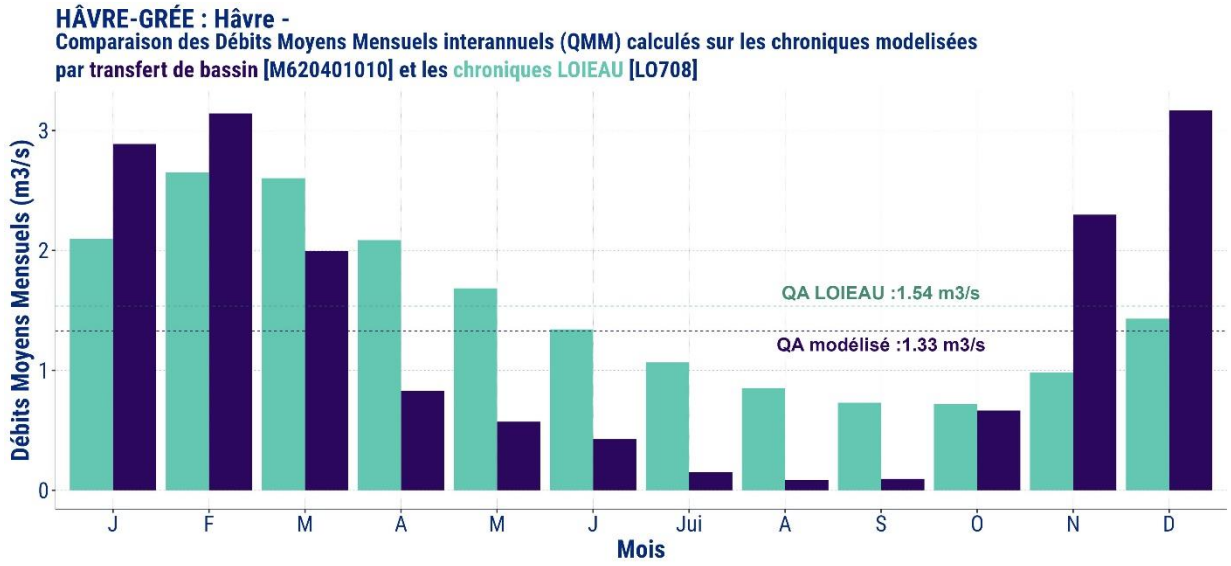


*Figure 78 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur la sous-entité du **Hâvre***

Les débits moyens mensuels calculés sur la période [2010 – 2020] à partir des chroniques reconstituées par transfert varient entre **0,093 m³/s** (août) et **3,2 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **1,33 m³/s**.

Les débits moyens mensuels calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **0,71 m³/s** (octobre) et **2,65 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **1,54 m³/s**. L'incertitude sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1 % (août) et 11 % (novembre).

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **30,2 L/s** (± 25,1 L/s).

*Tableau 72 : Indicateurs d'étiage calculés sur la sous-entité du **Hâvre** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert	Normale	43,9 ± 36,6	24,5± 10,9	25 ± 11,8	24,5 ± 12,6	28,3± 18
	Sèche	30,2 ± 25,1	32,5 ± 13,6	33,3 ± 14,8	34 ± 15,9	38,9 ± 24
	Humide	77,1 ± 93,4	45,8 ± 24,8	47,5 ± 27,6	49± 30	61 ± 51,5
LOIEAU (LO708)	Normale	684 ± 11,7	611,9 ±9,7	614,3± 8,4	628 ± 14,9	677,8 ± 191,5
	Sèche	563,8 ± 11,2	510,6 ± 9,4	519,8± 8,3	551,5 ± 15,2	656,5 ± 206
	Humide	807,9± 16,2	716,1± 13,2	711,1 ± 11,4	707,6 ± 19,6	712,3 ± 248

À partir des données modélisées par transfert, le ratio entre $QMNA_5$ (0,03 m³/s) et module (1,33 m³/s) est égal à 2,2 %, valeur très inférieure au 1/10ème du module, ce qui indique une situation de tensions sur les milieux et la ressource.

Ce ratio calculé à partir des indicateurs LOIEAU (QA = 1,54 m³/s et $QMNA_5$ = 0,56 m³/s) est beaucoup plus élevé (36,4 %) et donne lieu à une interprétation différente de la sévérité des étiages.

Les résultats obtenus par méthode de transfert de bassin sont plus cohérents, en termes d'ordre de grandeur, vis-à-vis des résultats obtenus sur la station du Hâvre à Mésanger (cf. chapitre 2.2.1).

Analyse des observations ONDE

La station ONDE du Donneau [M6204012] est localisée sur le cours amont du Hâvre à une dizaine de kilomètres des sources. Cette station fait l'objet d'observation depuis la mise en place du réseau ONDE

en 2012. Sur cette station, des suivis complémentaires ont été déclenchés sur les dernières années principalement en fin de période estivale (octobre).

De manière générale, la modalité dominante observée est l'écoulement visible (43,8 %) suivie de l'écoulement visible faible (30 %), de l'assec (13,8 %) et de l'écoulement non visible (12,5 %). On remarque néanmoins que les assecs peuvent représenter une part importante des observations annuelles comme sur l'année 2019 (60 %) ou dans une moindre mesure 2017 (30 %).

Au pas de temps mensuel, les situations d'écoulement critiques sont généralement observées sur les mois d'août et de septembre mais peuvent être plus précoces et longues sur des années particulières comme 2017 et 2019 **(ANNEXE 14)**.

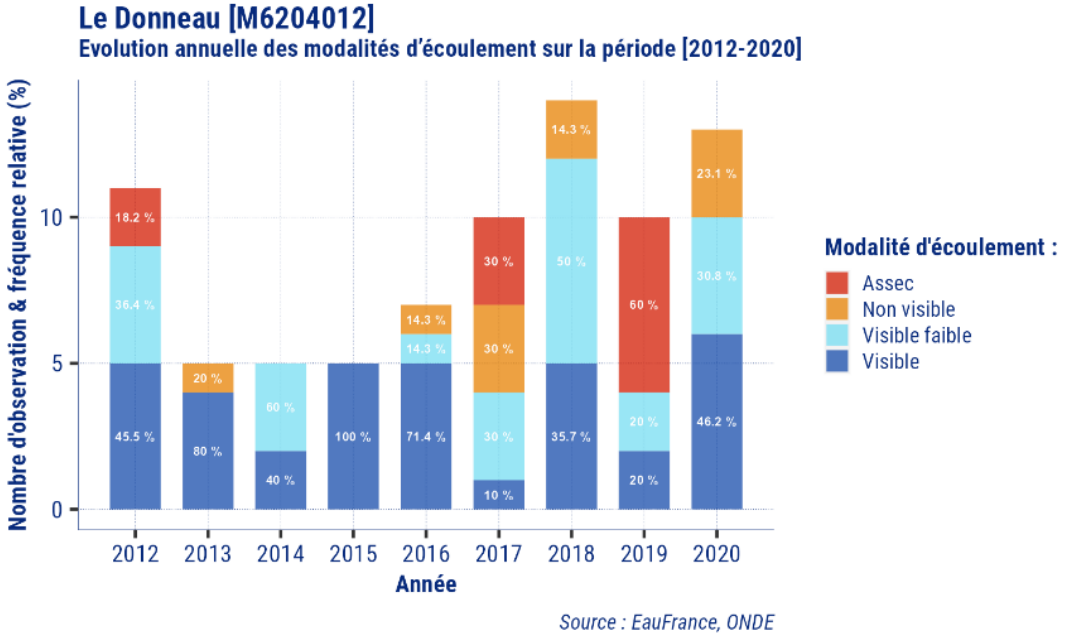


*Figure 79 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Donneau** [M6204012]*

La station ONDE du Hâvre [M6204011] à Couffé est localisée sur l'aval du Hâvre, à environ 6 kilomètres de l'exutoire du bassin. Cette station est suivie depuis la mise en place du réseau ONDE en 2012. Cette station a fait l'objet de nombreux suivis complémentaires sur les cinq dernières années, notamment sur la fin de l'été / début de l'automne.

Sur la période analysée, la modalité dominante observée est l'écoulement visible faible (46,2 %), suivie de l'écoulement visible (31,2 %) et non visible (22,5%). Aucune situation d'assèchement n'est observée sur cette station. On remarque néanmoins une augmentation de la proportion d'écoulement non visible sur les dernières années (2019, 2020).

L'analyse mensuelle des observations **(ANNEXE 14)** fait apparaitre que les situations critiques (écoulement non visibles) sont observées sur les mois de juillet et d'août. Les observations associées représentent en moyenne plus d'un tiers des relevés. Cette proportion est plus élevée sur les dernières années (2019 et 2020).

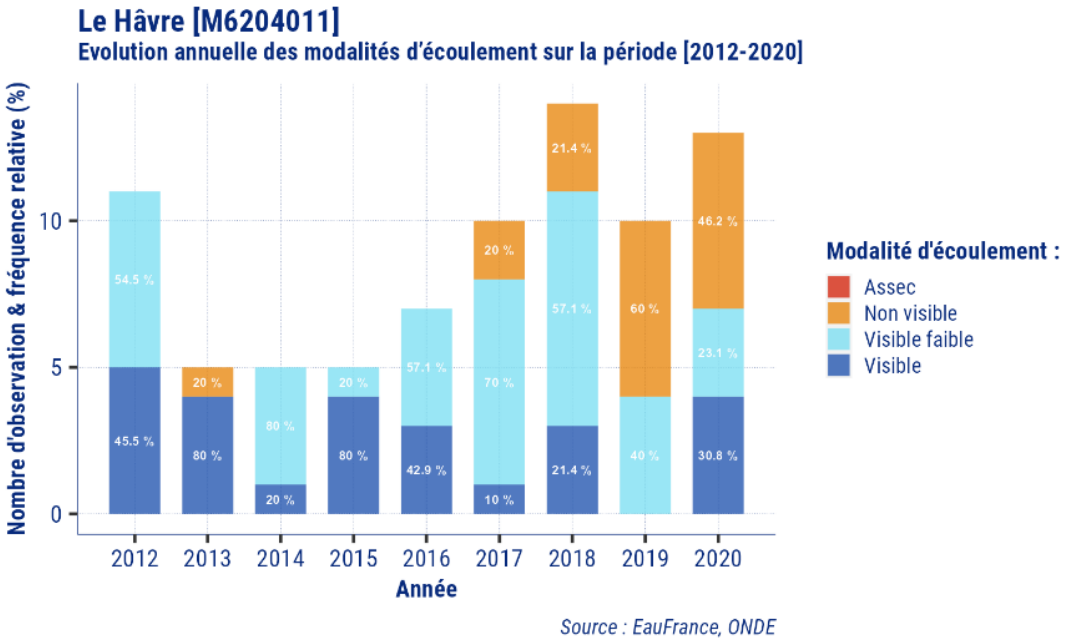


*Figure 80 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Hâvre** [M6204011]*

4.6.2 Sous-entité du Grée

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 73 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Grée***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Oui	Non	Transfert	Influencé	146

La sous-entité du Grée correspond au bassin versant du **Grée** (146 km²). Le Grée, le Pouillé ou encore le Canal du marais de Grée sur sa partie aval, prend sa source sur la commune de Bélligné (44) puis s'écoule selon un axe orienté Sud/Sud-Ouest sur 28 kilomètres pour rejoindre la Loire à l'Est de la commune d'Ancenis.

Au niveau de la zone de confluence avec la Loire, le cours d'eau alimente les **Marais de Grée** qui s'étendent sur une surface d'environ 450 ha. Au sein de cette zone, les niveaux d'eau sont gérés par un ouvrage hydraulique (vannage) qui contrôle un réseau de canaux.

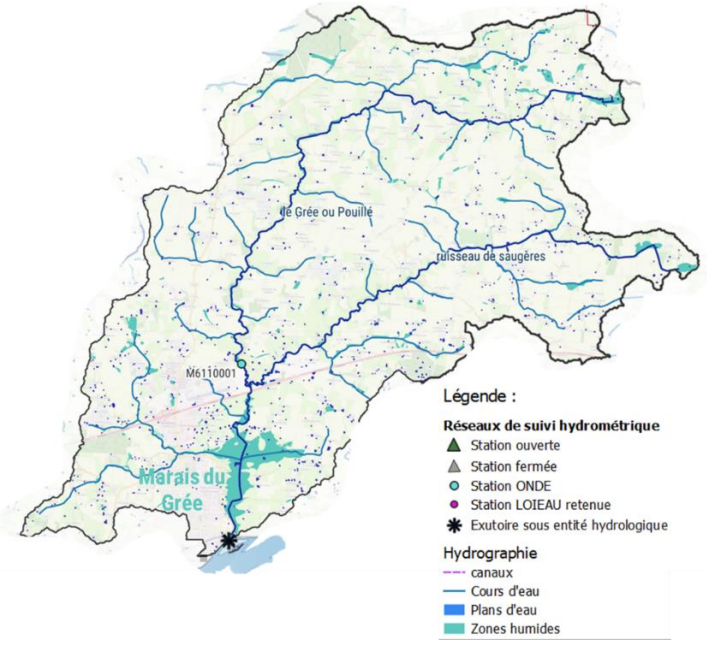


*Figure 81 : Carte de contexte de la sous-entité du **Grée***

Il n'existe pas de station hydrométrique sur cette sous-entité. Néanmoins, la station du Hâvre à Mésanger [M620401010], intégratrice d'un bassin versant de 80 km², peut être mobilisée pour reconstituer les débits à l'exutoire de cette sous-entité par méthode de transfert.

Une station du réseau ONDE est implantée sur le cours aval du Grée, sur la commune de la Roche-Blanche : **station [M6110001].**

> *Compte tenu de la présence des Marais de Grée sur la partie aval de la sous-entité, les régimes hydrologiques seront reconstitués par méthode de transfert à partir de la station hydrométrique du Hâvre à Mésanger pour le bassin versant localisé en amont des marais (111 km²).*

Reconstitution du régime hydrologique

L'analyse comparative de la dynamique des chroniques journalières modélisées à l'exutoire de la sous-entité par méthode de transfert à partir de la station du **Hâvre à Mésanger [M620101010],** et du point de modélisation LOIEAU le plus proche de l'exutoire, est présentée ci-dessous :

*Tableau 74 : Statistiques de comparaison des chroniques reconstituées par transfert et des chroniques LOIEAU sur la sous-entité du **Grée***

Sous-entité	Station transfert	LOIEAU	Période	Coeff. Corrélation	Biais	RMSE	Ecart moyen	∑écarts
Grée	M620101010	LO11873[16]	2010 - 2020	0,47	-0,18	1,57	0,88	3316

Sur ce secteur, les chroniques reconstituées par transfert affichent une dynamique moyennement corrélée (r = 0,47) avec les chroniques LOIEAU, avec néanmoins des écarts relativement faibles sur la période étudiée.

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 75 : Caractéristiques du régime hydrologique sur la sous-entité **du Grée** sur la période 2010 - 2020*

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Transfert	0,85	Avril	Novembre	8 mois
LOIEAU (LO11873)	1,03 ± 0,04	Juin	Janvier	8 mois

[16] Sur ce bassin, le seul point LOIEAU sélectionné représentatif de l'hydrologie du Grée est localisé au niveau de la confluence du Grée avec la Loire et intègre donc un bassin versant plus important que celui délimité en amont des marais.

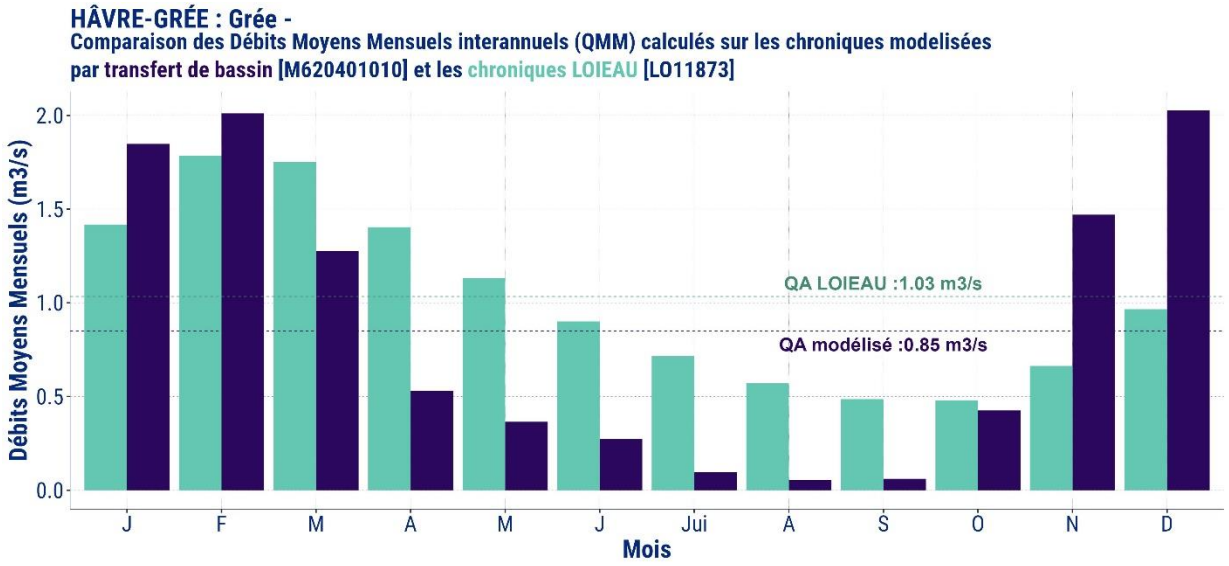


*Figure 82 : Débits moyens mensuels interannuels et modules calculés à partir des chroniques reconstituées par transfert (bleu) et LOIEAU (vert) sur la sous-entité du **Grée***

Le régime hydrologique modélisé par transfert de bassin à partir de la station du Hâvre à Mésanger est caractérisé par des débits moyens mensuels variant entre **0,05 m³/s** (août) et **2,03 m³/s** (décembre) pour un débit moyen interannuel de **0,85 m³/s** sur la période 2010 – 2020.

Les débits moyens calculés sur la chronique LOIEAU varient entre **0,48 m³/s** (octobre) et **1,8 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **1,03 m³/s**. L'incertitude relative sur les débits moyens mensuels LOIEAU varie entre 1,5 % (août) et 18 % (décembre).

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur du **$QMNA_{5\ modélisé}$** est de **17,8 L/s** (± 17,4 L/s) et la valeur du **$QMNA_{5\ LOIEAU}$** est de **379 L/s** (± 7,5 L/s).

*Tableau 76 : Indicateurs d'étiage calculés sur la sous-entité du **Grée** sur la période 2010 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Transfert	Normale	26 ± 26	19,1± 10,6	19,6 ± 11	20 ± 11,8	22,8± 17,4
	Sèche	17,8 ± 17,4	14,6 ± 8,4	14,8 ± 8,6	15± 9,2	16,7 ± 12,8
	Humide	47,5 ± 73	27,6 ± 20,7	28,7 ± 21	29,5± 23,7	36,8± 40,1
LOIEAU (LO11873)	Normale	459,1± 7,8	410,6 ±6,2	400,7±7,5	390 ± 8,6	370,8 ± 11,5
	Sèche	379 ± 7,5	343,2 ± 6,2	326 ±7	314,6 ± 8	274,5 ±9,8
	Humide	541,7± 10,8	480± 8,7	477,8 ± 10,3	470 ± 12,1	472,4 ±17,1

À partir des données modélisées par transfert, le ratio entre $QMNA_5$ (0,017 m³/s) et module (0,85 m³/s) est égal à 2%, valeur très inférieure au 1/10ème du module, ce qui indique une situation de tensions sur les milieux et la ressource.

Ce ratio calculé à partir des indicateurs LOIEAU (QA = 1,03 m³/s et $QMNA_5$ = 0,38 m³/s) est plus élevé (36,9 %) et donne lieu à une interprétation différente de la sévérité des étiages.

Analyse des observations ONDE

La station ONDE du Grée à la Roche-Blanche [M6110001] est localisée sur le cours aval du Grée, en amont de la confluence du Grée avec le ruisseau des Saugères et des Marais de Grée. Cette station est suivie depuis la mise en place du réseau ONDE en 2012.

Cette station est caractérisée par une proportion importante d'observations reflétant des situations critiques puisque la modalité dominante est l'assec (41,2 % des observations) avec des proportions en augmentation ces dernières années (80 % en 2019). L'analyse mensuelle **(ANNEXE 14)** montre que ces situations critiques sont principalement relevées en fin d'été avec néanmoins des observations plus précoces (juillet voire juin) sur des années comme 2017 et 2019.

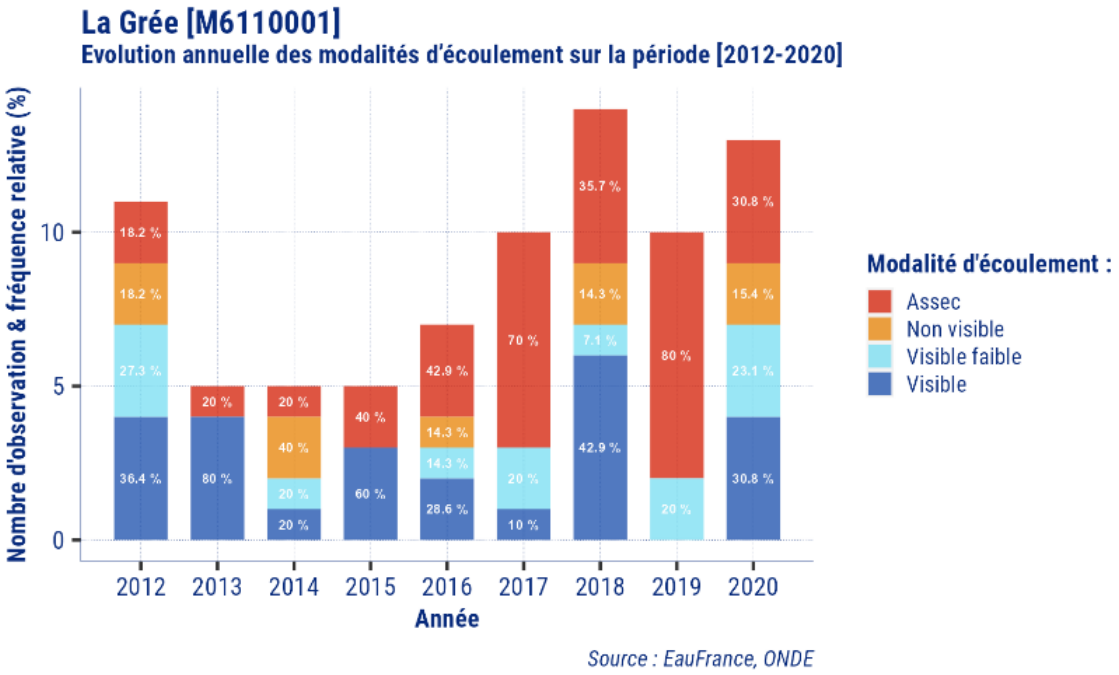


*Figure 83 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Grée** [M6110001]*

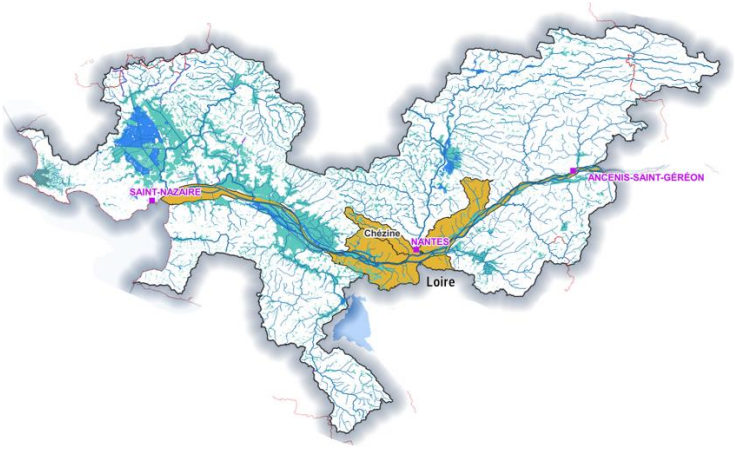
4.6.3 Sous-entités petits affluents de la Loire

> *Compte tenu du fonctionnement hydrologique des cours d'eau très influencés par la présence de marais et leur mode de gestion, et de l'absence de site de suivi de l'hydrologie, les régimes hydrologiques ne seront pas étudiés sur cette sous-entité.*

4.7 ENTITE DE LA LOIRE ET SES PETITS AFFLUENTS

L'entité de **La Loire et ses petits affluents** est composée des 3 sous-entités hydrologiques suivantes :

- La Loire (430 km²)
- La Chézine (35 km²)
- Les petits affluents de la Loire (170 km²)[17]



4.7.1 Sous-entité de la Loire

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 77 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de la **Loire***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Oui	-	Influencé	430

La sous-entité de la Loire correspond au cours de la Loire depuis son entrée dans le territoire, en amont d'Ancenis, jusqu'à sa confluence avec l'Océan Atlantique, à Saint-Nazaire. Sur le périmètre d'étude, elle s'écoule sur environ 90 kilomètres.

Plusieurs stations hydrométriques sont implantées sur cette dernière portion du fleuve. Néanmoins, le régime hydrologique de la Loire est fortement influencé par le fonctionnement de l'estuaire (marée) jusqu'à Ancenis, soit sur l'intégralité du linéaire de la sous-entité.

À titre informatif, le régime hydrologique de la **Loire à Montjean-sur-Loire** [M530001010], hors zone d'influence des marées, est analysé (cf. Chapitre 3.1.2).

> *Compte tenu du fonctionnement particulier de la Loire sur le territoire d'étude et des limites du découpage de cette sous-entité, celle-ci n'est pas considérée comme cible et le régime hydrologique de la Loire est analysé à titre informatif au droit de la station de Montjean-sur-Loire.*

[17] Cette sous-entité essentiellement constitué de Boire, zones humides et de marais ne présente aucune donnée hydrologique jugée robuste et donc exploitable.

4.7.2 Sous-entité de la Chézine

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 78 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité de la **Chézine***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	35

La Chézine prend sa source sur la commune de Saint-Etienne-de-Montluc et s'écoule sur environ 17 kilomètres selon un axe Sud-Est vers la Loire qu'elle rejoint à Nantes.

Il n'existe pas de station hydrométrique mesurant le débit de la Chézine mais une station ONDE, localisée sur son cours médian sur la commune de Sautron [M8000021], permet de caractériser les écoulements en période d'étiage.

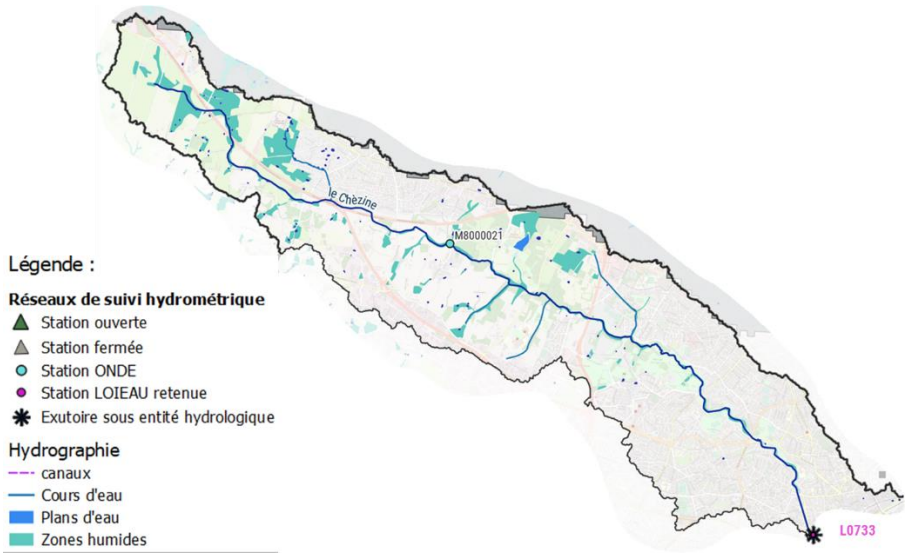


*Figure 84 : Carte de contexte de la sous-entité de **la Chézine***

Le régime hydrologique de la Chézine sera analysé à partir du point de modélisation LOIEAU (LO733) localisé au niveau de l'exutoire de la sous-entité.

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 79 : Caractéristiques du régime hydrologique de **la Chézine** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m³/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO733)	0,30 ± 0,006	Juin	Janvier	8 mois

Les débits moyens mensuels LOIEAU calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,14 m³/s** (octobre) et **0,49 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,30 m³/s**. L'incertitude sur ces débits moyens mensuels varie entre 0,8 % (août) et 8,7 % (novembre).

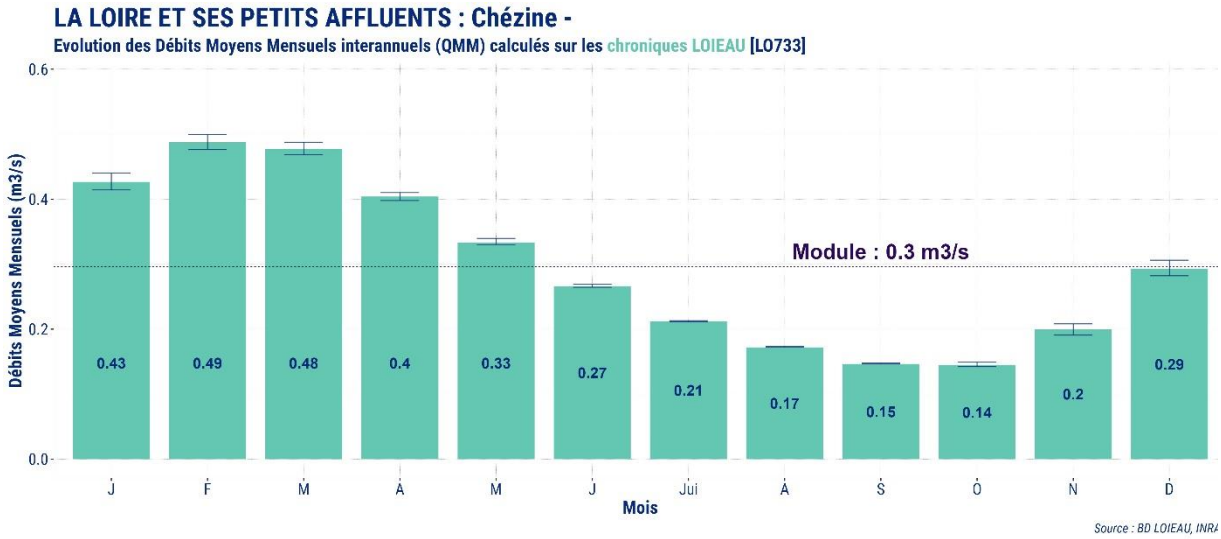


*Figure 85 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur **la Chézine***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **0,131 m^3/s** (± 0,0023 m^3/s).

*Tableau 80 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU de la **Chézine** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO733)	Normale	108,2 ± 2,2	97,9 ± 1,8	97,8 ± 1,8	97,5 ± 1,7	119,3 ± 30,8
	Sèche	131,3± 2,3	117,5 ± 1,9	117,2 ±1,8	116,6 ± 1,8	125,8 ± 29
	Humide	155,2 ± 3,1	137,5 ± 2,5	137,2 ± 2,5	136,2 ± 2,5	135,3 ± 38

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,13 m^3/s) et module (0,30 m^3/s) équivaut à 43,3 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

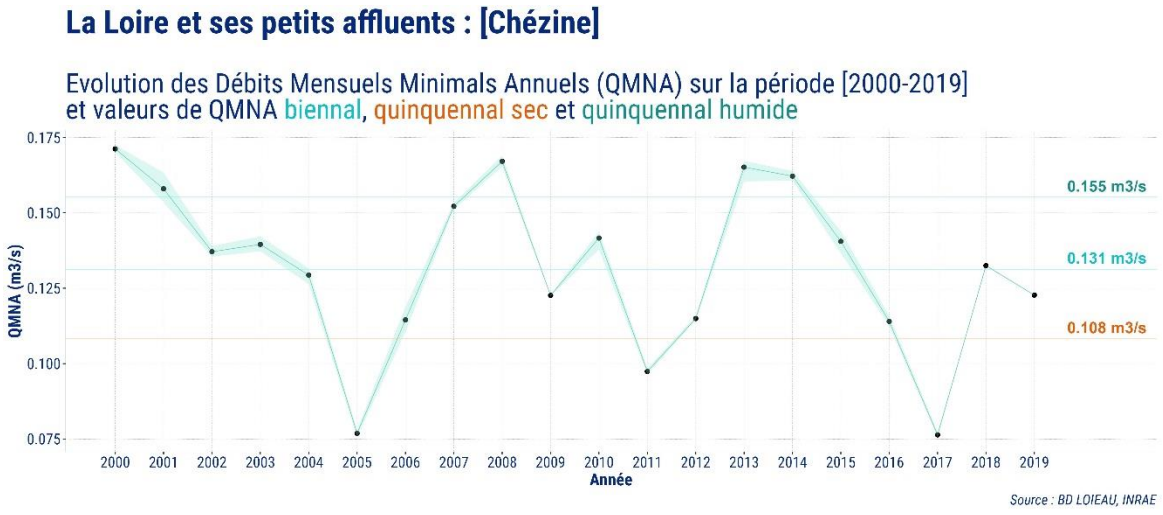


*Figure 86 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO733) de la **Chézine** sur la période [2000 – 2020]*

La station ONDE de la Chézine [M8000021] est implantée sur la comme de Sautron, à environ 7 kilomètres de la source de la Chézine. Cette station fait l'objet de suivis depuis 2012 avec une augmentation du nombre de suivis complémentaires à partir de 2016, notamment sur les mois de juillet et d'août. La modalité d'écoulement dominante sur cette station est l'écoulement visible avec plus de deux tiers des observations réalisées sur la période étudiée (64 %). Les écoulements visibles faibles représentent un tiers des observations réalisées (33,8 %) avec une augmentation de leur proportion relative ces dernières années.

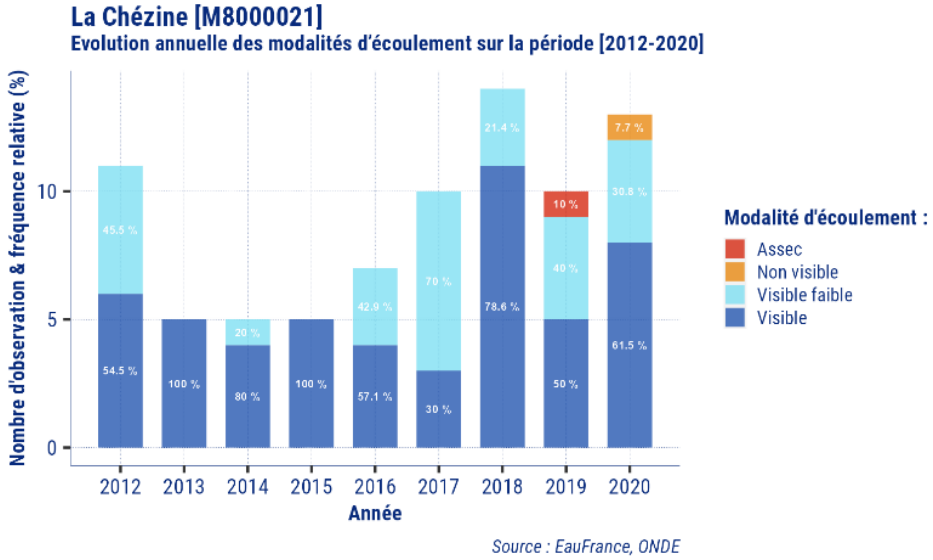


*Figure 87 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE de la **Chézine** [M8000021]*

Les observations d'écoulement les plus critiques correspondent aux années 2019 (1 assec au mois de juillet) et 2020 (1 écoulement non visible au mois d'août).

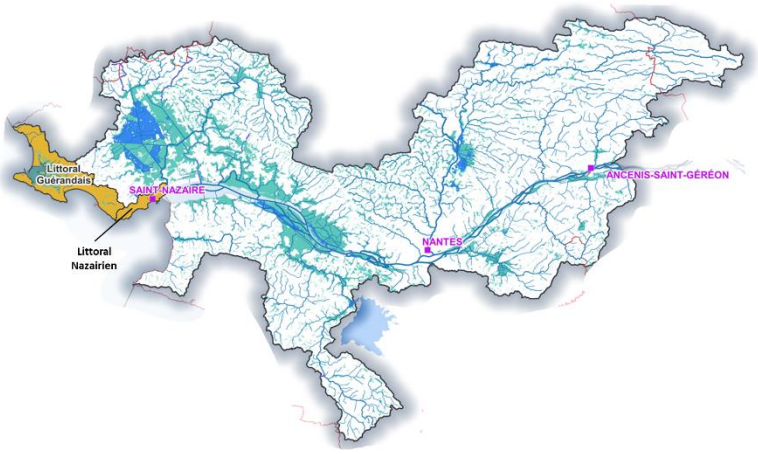
4.7.3 Sous-entités petits affluents de la Loire

> *Compte tenu du fonctionnement hydrologique des cours d'eau très influencés par la présence de marais et leur mode de gestion, et de l'absence de site de suivi de l'hydrologie, les régimes hydrologiques ne seront pas étudiés sur cette sous-entité.*

4.8 ENTITE DU LITTORAL GUERANDAIS ET NAZAIRIEN

L'entité **du Littoral Guérandais et Nazairien** est composée des 2 sous-entités hydrologiques suivantes :

- Le littoral Guérandais (101 km²)
- Le littoral Nazairien (18 km²)



4.8.1 Sous-entité du Littoral Guérandais

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 81 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Littoral Guérandais***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	Aucune	-	101

La sous-entité du Littoral Guérandais constitue la limite occidentale du territoire à l'interface avec la façade atlantique. Les milieux aquatiques sur ce secteur correspondent aux marais salants de Guérande qui s'étendent sur plus de 50 km² et sont séparés de l'Atlantique par la presqu'île du Croisic. Dans ce contexte, les principaux cours d'eau de cette sous-entité sont caractérisés par un fonctionnement de canal (étier) : étier de Lancly, du Grandpont ou du Grand bal.

Du fait de ces caractéristiques physiques particulières, il n'existe aucun réseau de suivi sur cette sous-entité.

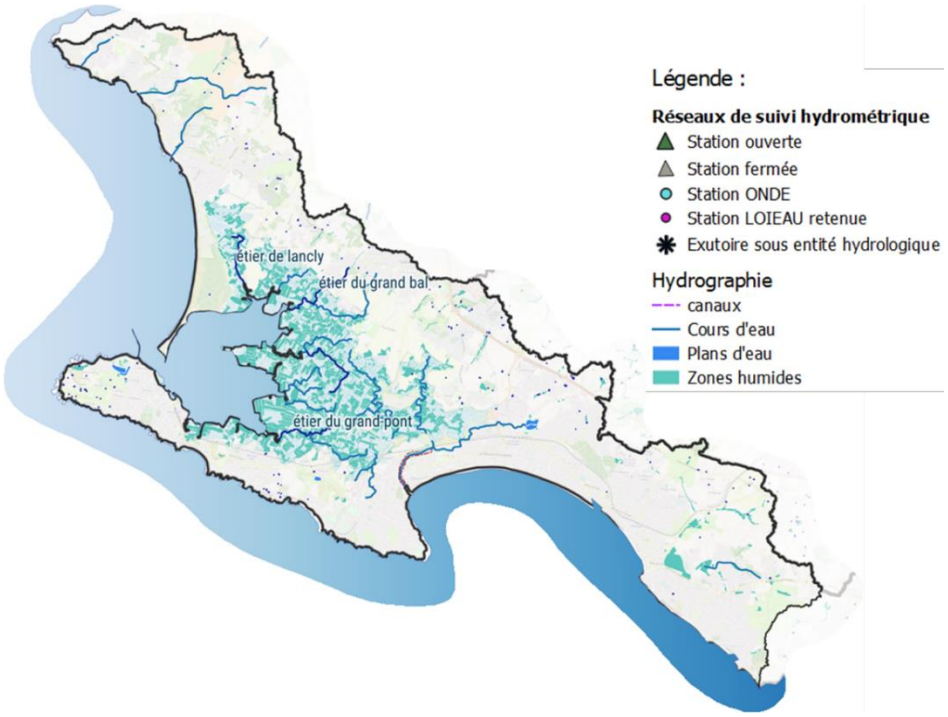


*Figure 88 : Carte de contexte de la sous-entité du **Littoral Guérandais***

Le régime hydrologique de la sous-entité du Littoral Guérandais ne sera pas reconstitué compte tenu du contexte particulier (marais) et de l'absence de site de suivi.

4.8.2 Sous-entité du Littoral Nazairien

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 82 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Littoral Nazairien***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	Aucune	-	18

La sous-entité du Littoral Nazairien correspond en partie au périmètre de la ville de Saint-Nazaire.

Aucun cours d'eau n'est recensé au sein de cette zone urbaine.

Dans ce contexte, aucune analyse hydrologique ne sera réalisée.

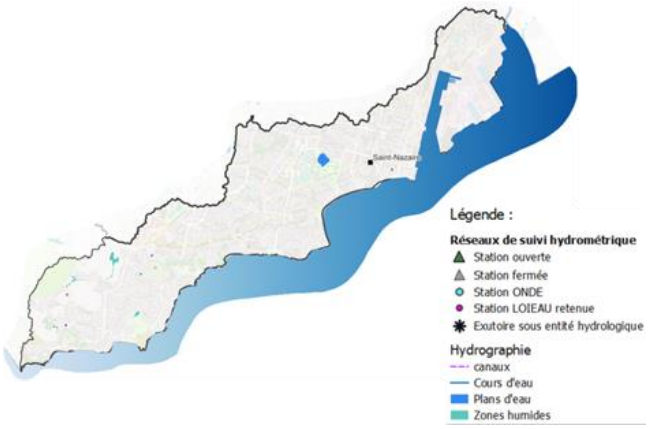
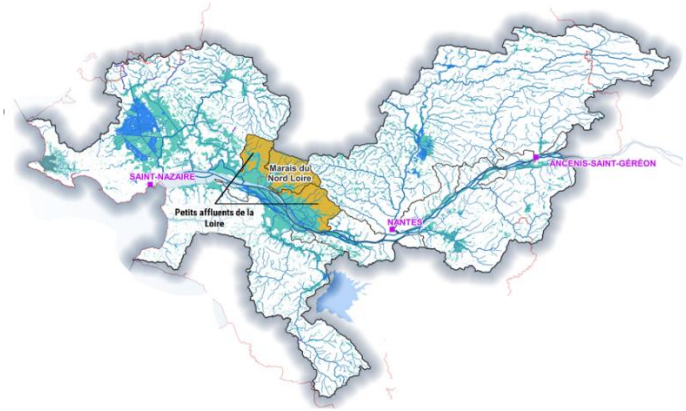


*Figure 89 : Carte de contexte de la sous-entité du **Littoral Nazairien***

4.9 ENTITE MARAIS NORD LOIRE

L'entité **du Marais Nord Loire** est composée des 2 sous-entités hydrologiques suivantes :

- Le Marais Nord Loire (64 km²)
- Les petits affluents de la Loire (126 km²)



4.9.1 Sous-entité Marais Nord Loire

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 83 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Marais Nord Loire***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	64

La sous-entité du **Marais Nord Loire** correspond au bassin versant d'alimentation des Marais de la Roche (334 ha) et du Lot, individualisés dans la plaine alluviale du fleuve et isolés de la Loire par d'anciennes îles. Ces zones de marais correspondent principalement à des prairies humides, pour certaines tourbeuses.

Le Marais de la Roche est alimenté par 6 cours d'eau (Pontreau, Mont Tiéber, Coulée du Ghoust, Prévault, Tertre et Hioterie) et est régulièrement inondé de novembre à mars. Du fait de sa position en retrait dans la plaine alluviale, il n'est pas submersible par la Loire.

Les variations de niveaux d'eau dans les marais sont contrôlées par le vannage de la Chausée.

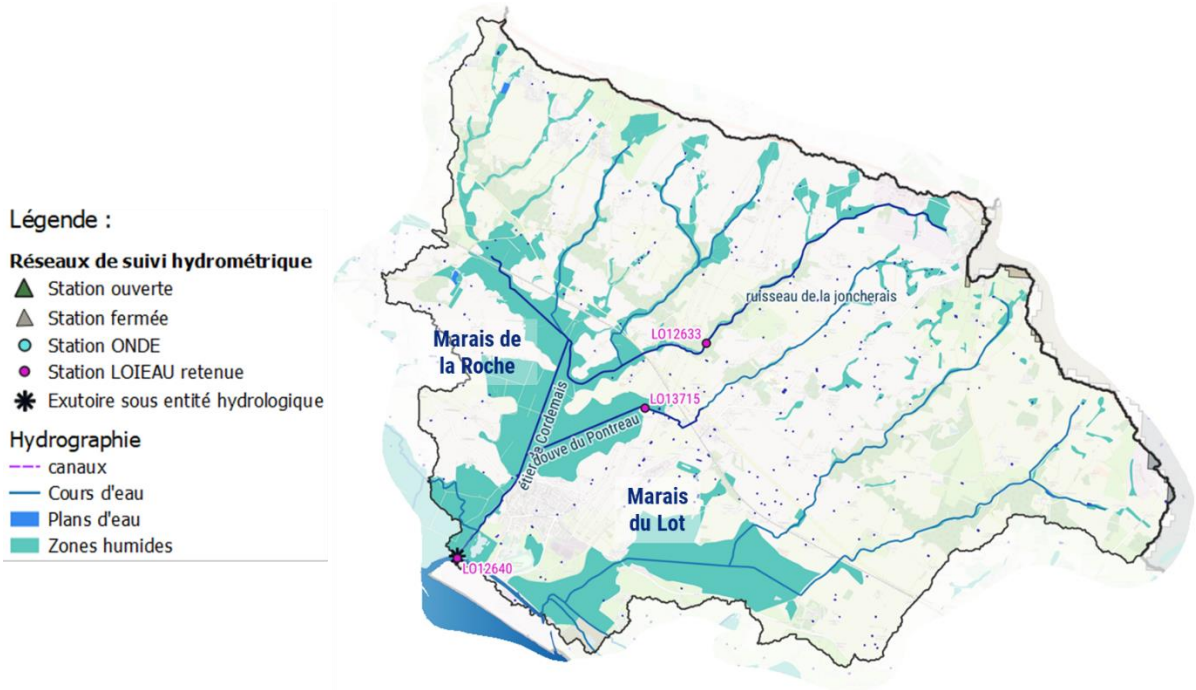


*Figure 90 : Carte de contexte de la sous-entité du **Marais Nord Loire***

Dans ce contexte particulier, aucune station de suivi de l'hydrologie n'est implantée sur ce secteur.

> *Le régime hydrologique de cette sous-entité sera analysé, à titre informatif, au droit des points de modélisation LOIEAU disponibles en amont du Marais de la Roche, sur le ruisseau de la Joncherais (LO12633) et de la Douve de Pontreau (LO13715).*

Caractérisation des régimes hydrologiques

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
Joncherais (LO12633)	0,04 ± 0,0008	Juin	Décembre	7 mois
Douve de Pontreau (LO13715)	0,04 ± 0,0008	Juin	Décembre	7 mois

Les deux points de modélisation LOIEAU localisés en amont des zones de marais (cf. carte ci-dessus) affichent des régimes hydrologiques moyens très similaires sur la période [2000 – 2020]. En effet, les débits moyens mensuels varient entre **0,02 m^3/s** (septembre et octobre) et **0,07 m^3/s** (février et mars) pour un débit moyen interannuel de **0,04 m^3/s**. L'incertitude sur ces débits moyens mensuels varie entre 0,75 % (août) et 7,9 % (novembre).

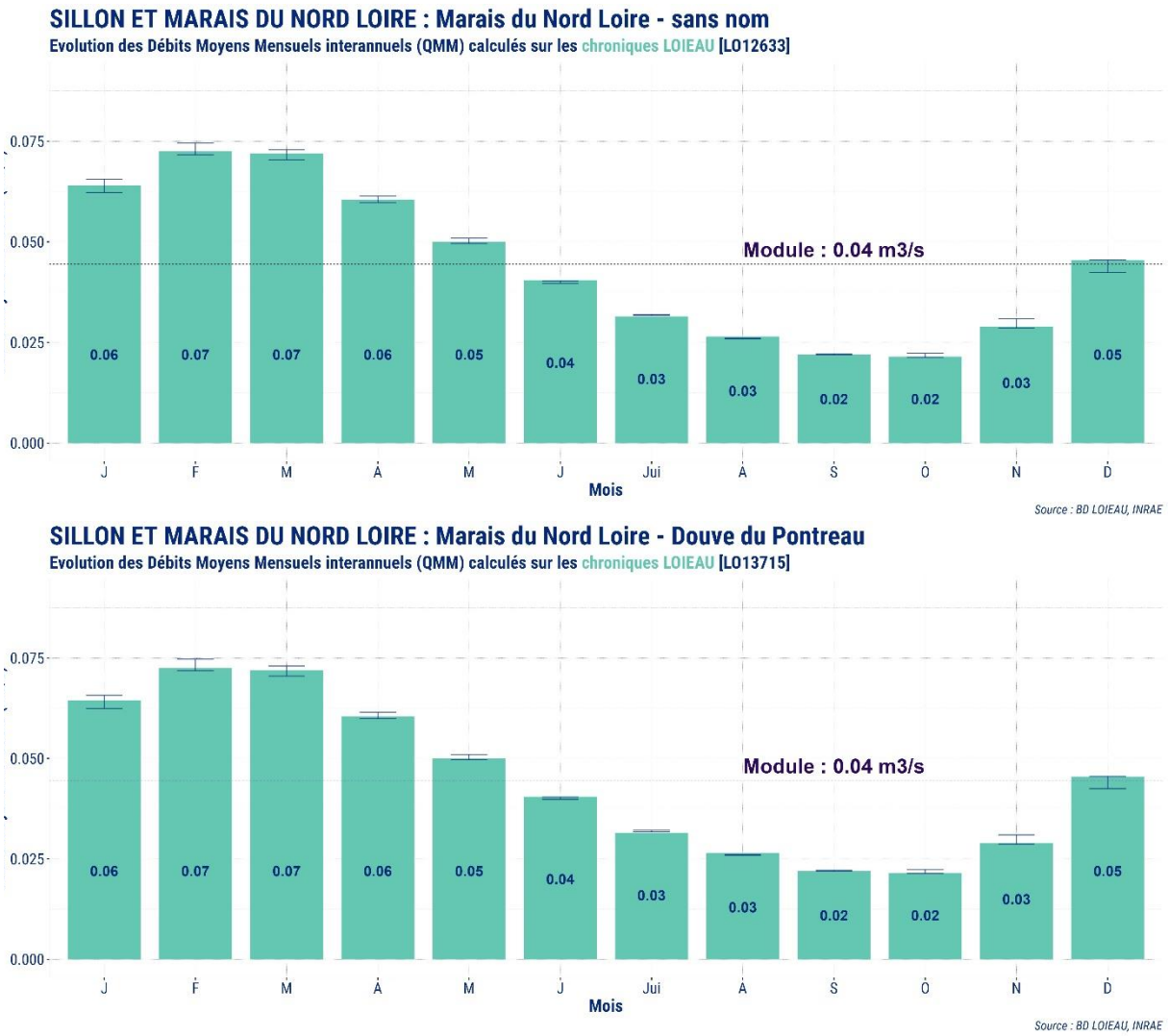


*Figure 91 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur **le ruisseau de la Joncherais** (haut) **et la Douve du Pontreau** (bas)*

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **16,3 L/s** (± 0,3 L/s) au droit des deux points de modélisation LOIEAU.

Sur ces deux points amont, les rapports entre **$QMNA_5$** (0,016 m^3/s) et **module (**QA = 0,04 m^3/s) sont relativement élevés (40 %) et n'indique pas spécialement de situation de tension.

*Tableau 84 : Indicateurs d'étiage calculés sur les points LOIEAU en **amont des marais** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
Joncherais (LO12633)	Normale	19,7 ± 0,3	17,5 ± 0,3	17,1 ±0,3	16,8 ± 0,2	15,2 ± 0,8
	Sèche	16,3± 0,3	14,6 ± 0,3	14,2 ± 0,3	14,1 ± 0,2	13,1± 0,8
	Humide	23,3 ± 0,5	20,6 ± 0,4	20,1 ± 0,4	19,6 ± 2,5	17,5 ± 1,1
Douve du Pontreau (LO13715)	Normale	19,8 ± 0,3	17,6 ± 0,3	17,4 ±0,3	17,2 ± 0,3	15,9 ± 0,5
	Sèche	16,3± 0,3	14,7 ± 0,3	14,2 ± 0,3	14,2 ± 0,3	13,7 ± 0,5
	Humide	23,3 ± 0,5	20,6 ± 0,4	20,5 ± 0,4	20,2 ± 2,5	18,3 ± 0,7

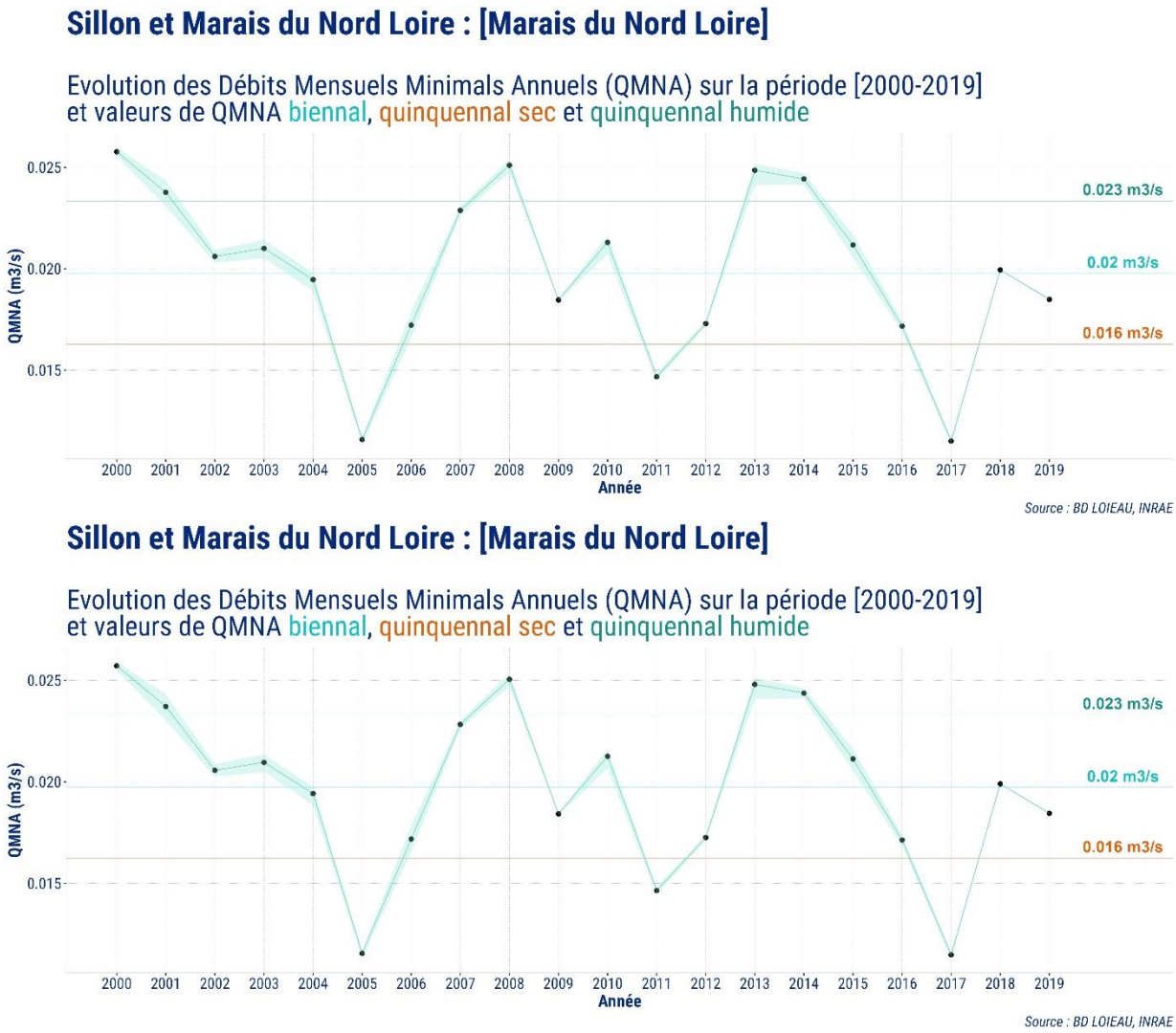


Figure 92 : Evolution des QMNA et incertitudes sur les points LOIEAU localisés en amont des marais [2000 – 2020]. Haut : Douve du Pontreau ; Bas : ruisseau de la Joncherais.

4.9.2 Sous-entité des petits affluents de la Loire

*Tableau 85 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité des **Petits affluents de la Loire des Marais Nord Loire***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	Aucune	-	126

La sous-entité des Petits affluents de la Loire sur le secteur des Marais Nord Loire correspond également aux secteurs de marais estuariens en rive droite de la Loire avec notamment les Marais du Syl et du Pré Neuf à l'Ouest et les Marais de Saint-Etienne et de Couëron (2000 ha) à l'Est. Ces marais sont drainés par un réseau hydraulique important (>80 km pour les Marais de Saint-Etienne et de Couëron) et la gestion des niveaux d'eau est opérée par plus de 80 ouvrages hydrauliques au fonctionnement manuel. Ces secteurs de marais sont alimentés par une dizaine de petits ruisseaux (étiers) et sont fréquemment inondés lors des grandes marées. Dans ce contexte particulier, aucune station de suivi de l'hydrologie n'est implantée sur ce secteur.

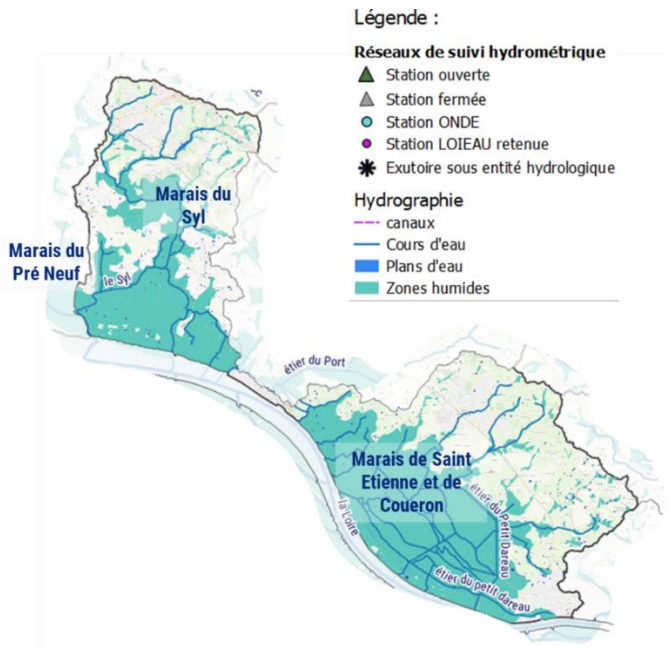


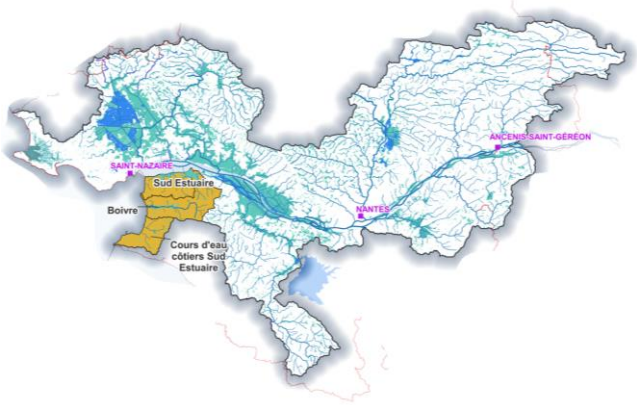
*Figure 93 : Carte de contexte de la sous-entité des **Petits affluents de la Loire des Marais Nord Loire***

Compte tenu du fonctionnement complexe de ce secteur de marais influencé par les marées estuariennes et de l'absence de site de suivi de l'hydrologie, aucune reconstitution des régimes hydrologiques ne sera réalisée sur cette sous-entité.

4.10 ENTITE SUD ESTUAIRE ET COTE DE JADE

L'entité du **Sud Estuaire et Côte de Jade** est composée de 3 sous-entités hydrologiques avec du Nord au Sud :

- Le Sud Estuaire (53 km²)
- Le Boivre (85 km²)
- Les cours d'eau côtiers du Sud de l'Estuaire (48 km²)



4.10.1 Sous-entité Sud Estuaire

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 86 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité **Sud Estuaire***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	Aucune	-	53

La sous-entité du Sud Estuaire correspond au secteur estuarien en rive gauche de la Loire. Les cours d'eau du secteur sont caractérisés par un fonctionnement complexe compte tenu de la présence d'un petit ensemble de marais (1000 ha) séparé de la Loire par la Digue de Corsept : Marais de Greix, de la Guigne et du Plessis et Prairie de Corsept.

La gestion des niveaux d'eau est contrôlée par plusieurs ouvrages hydrauliques sur les étiers transversaux à la Loire.

Aucun site de suivi hydrométrique n'existe sur cette sous-entité.

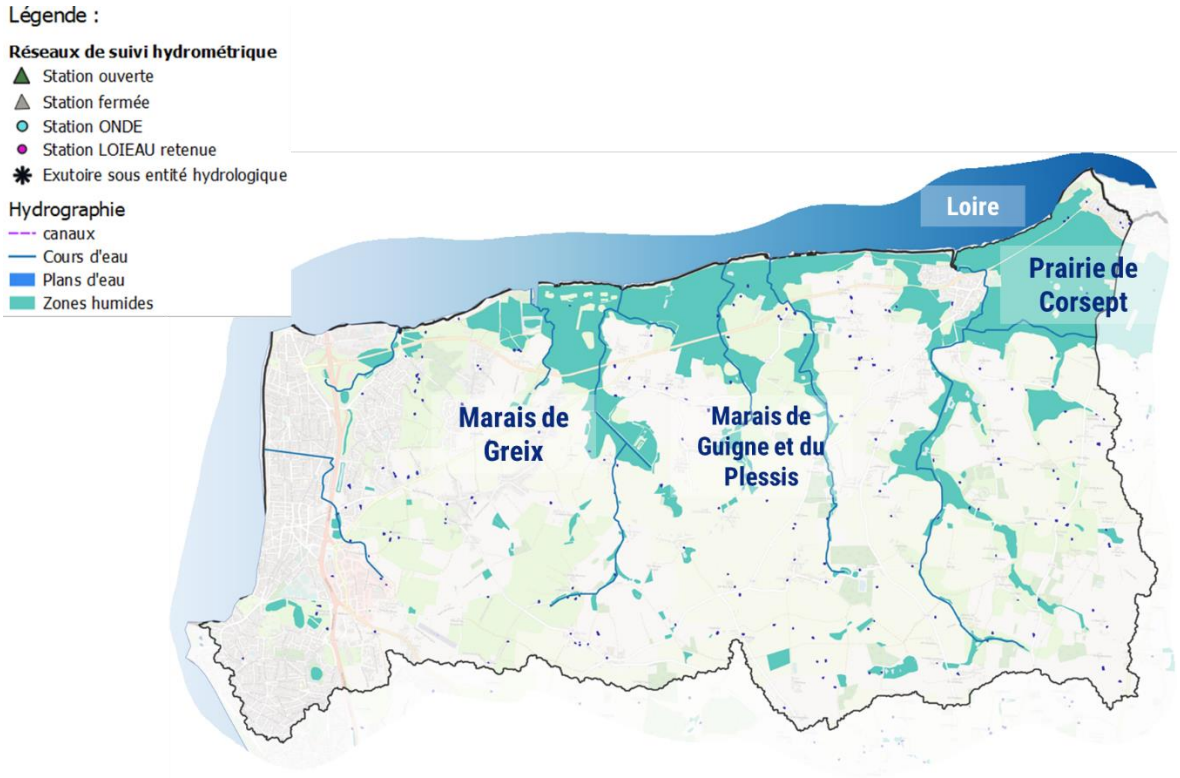


*Figure 94 : Carte de contexte de la sous-entité du **Sud Estuaire***

Compte tenu du fonctionnement hydrologique des cours d'eau très influencés par la présence de marais et leur mode de gestion, et de l'absence de site de suivi de l'hydrologie, les régimes hydrologiques ne seront pas étudiés sur cette sous-entité.

4.10.2 Sous-entité du Boivre

Contexte et méthode de reconstitution retenue

*Tableau 87 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité du **Boivre***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	85

Le Boivre prend sa source sur la commune de Saint-Père-en-Retz et s'écoule sur environ 77 kilomètres avant de rejoindre l'océan Atlantique entre Saint-Michel-Chef-Chef et Saint-Brevin-les-Pins. Le Boivre présente deux faciès distincts :

- Le Boivre amont qui s'écoule à travers les bocages sur environ 7 kilomètres ;
- Le Boivre aval qui traverse les Marais de la Giguenais jusqu'à son embouchure.

À ce réseau hydrographique principal s'ajoute environ 22 km de réseau secondaire et 32 km de douves entre les parcelles.

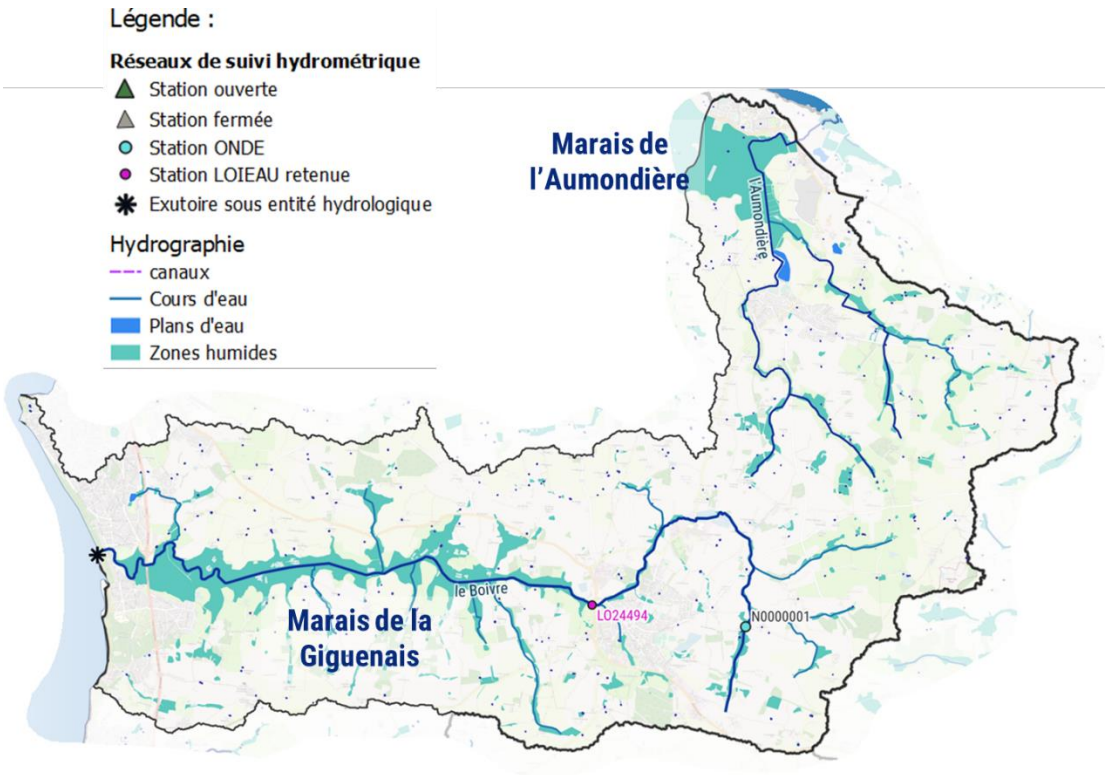


Figure 95 : Carte de contexte de la sous-entité du Boivre

Cette sous-entité intègre également le bassin de l'Aumondière sur la partie Nord.

Sur le cours aval du Boivre, deux ouvrages hydrauliques localisés au niveau de l'Ermitage permettent l'évacuation des eaux excédentaires amenées par les pluies entre novembre et mai.

Ce bassin n'est pas instrumenté pour le suivi du régime hydrologique du Boivre. Néanmoins, une station du réseau ONDE est implantée sur son cours amont et permet de suivre l'évolution des écoulements en période d'étiage.

Le régime hydrologique du Boivre sera analysé à partir du point de modélisation LOIEAU (LO24494) localisé en amont des marais, au Nord-Est de la commune de Saint-Père-en-Retz, qui intègre un bassin versant d'environ 22 km². Le régime hydrologique de l'Aumondière, caractérisé par un fonctionnement influencé par les Marais de l'Aumondière, ne sera pas étudié.

Caractérisation du régime hydrologique

*Tableau 88 : Caractéristiques du régime hydrologique sur le **Boivre** sur la période 2000 - 2020*

Type chronique	Module (m³/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO24494)	0,20 ± 0,003	Juin	Décembre	7 mois

Les débits moyens mensuels LOIEAU calculés sur la période [2000 – 2020] varient entre **0,09 m³/s** (septembre) et **0,33 m³/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,20 m³/s**. L'incertitude sur ces débits moyens mensuels varie entre 0,7 % (août) et 7,7 % (novembre).

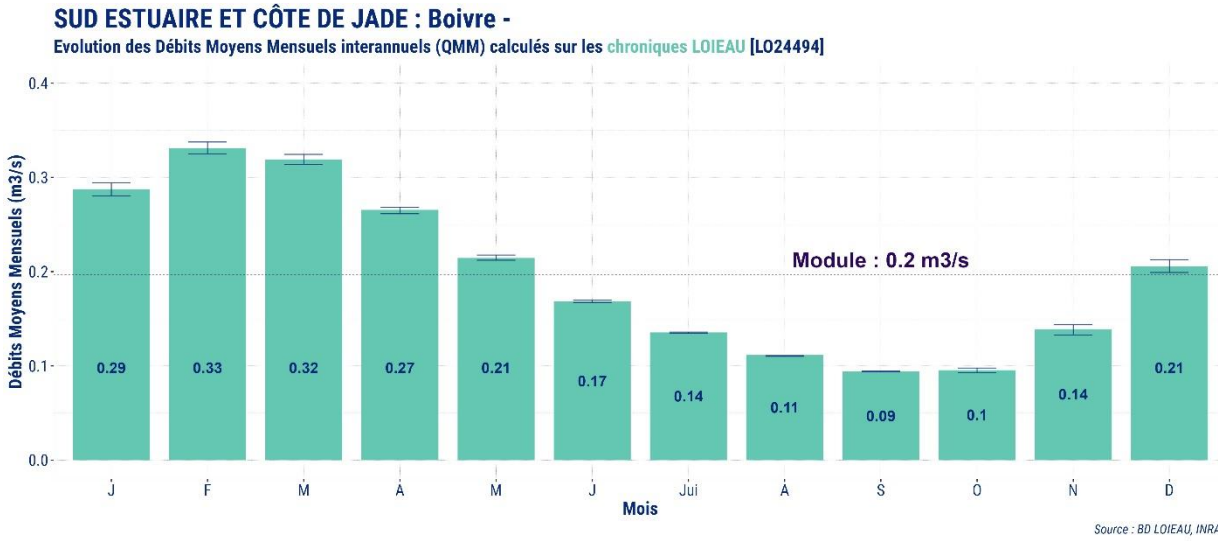


*Figure 96 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur le **Boivre***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **0,070 m³/s** (± 0,0014 m³/s).

*Tableau 89 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU du **Boivre** sur la période 2000 – 2020 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO24494)	Normale	84,5 ± 1,4	76 ± 1,2	72,6 ± 1,3	70,2 ± 1,5	63,2 ± 9,1
	Sèche	70,2 ± 1,4	63,6 ± 1,1	58,5 ±1,3	56,8 ± 1,6	53,3 ± 8,7
	Humide	99,2 ± 1,9	88,6 ± 1,6	87,2 ± 2	84,1 ± 2,2	76 ± 1,1

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,07 m³/s) et module (0,20 m³/s) équivaut à 35 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

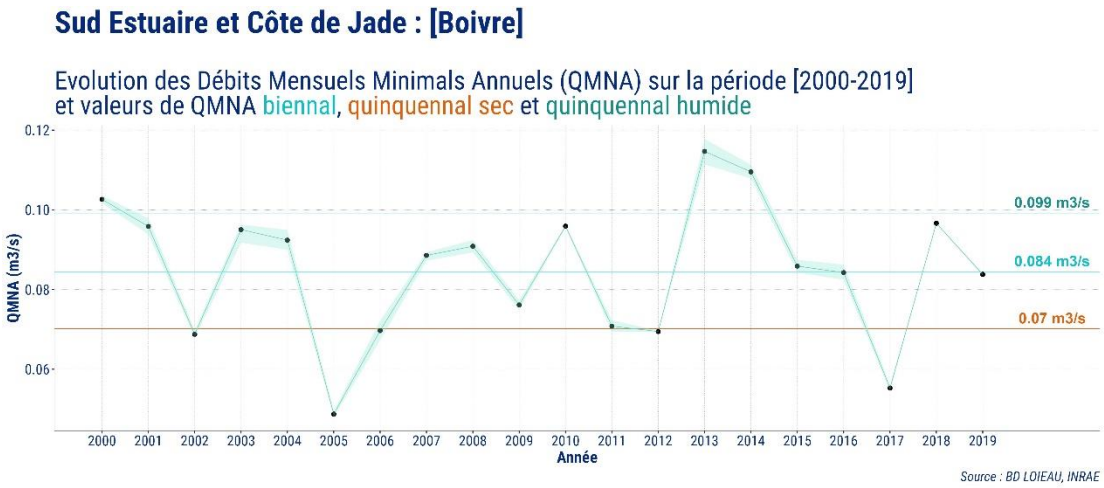


*Figure 97 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO24494) du **Boivre** sur la période [2000 – 2020]*

Analyse des observations ONDE

La station ONDE du Boivre est localisée sur le cours amont du cours d'eau, en amont de la commune de Saint-Père-en-Retz, à 1,3 kilomètres de sa source. Cette station est suivie depuis 2012 et affiche un nombre de suivis complémentaires déclenchés plus importants depuis 2017. Sur cette station, la modalité dominante sur la période étudiée correspond à l'écoulement visible (47,5 %) observée dans les mêmes proportions que l'écoulement visible faible (46,2 %). Les cas d'écoulements non visibles et d'assecs sont très peu fréquents (3 observations non visibles en 2017 et 2018 et 2 assecs en 2016).

L'analyse des évolutions mensuelles (**ANNEXE 14**) montre que ces situations d'écoulements critiques ont été observées sur les mois de juillet, d'août et de septembre.

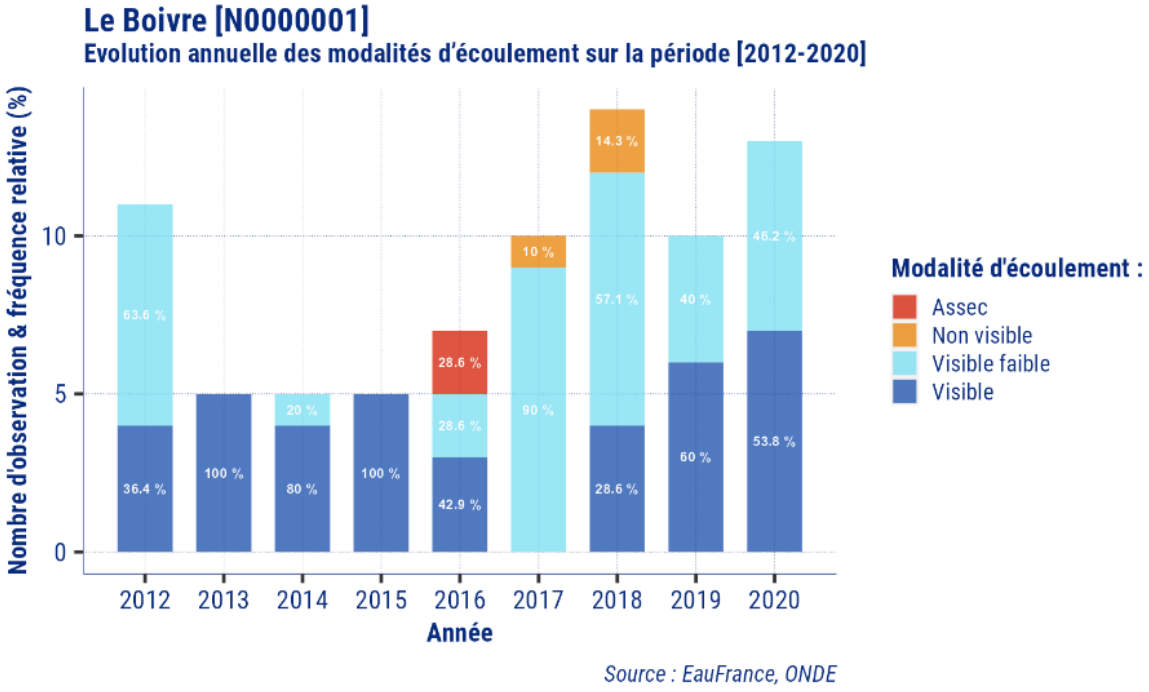


*Figure 98 : Evolution annuelle des modalités d'écoulement observées sur la station ONDE du **Boivre** [N000001]*

4.10.3 Sous-entité Cours d'eau côtiers du Sud de l'estuaire

*Tableau 90 : Caractéristiques de contexte et de méthode sur la sous-entité des **cours d'eau côtiers Sud Estuaire***

Entité cible	Station hydrométrique	Méthode de reconstitution	Type de débit	Surface BV exutoire (km²)
Non	Non	LOIEAU	Pseudo-naturel	48

Deux cours d'eau principaux s'écoulent au sein de cette sous-entité :

- La Tabatière (4,8 km) qui draine un bassin d'environ 13 km² ;
- Le Calais (5,7 km) qui draine un bassin versant d'environ 20 km².

Il n'existe pas de site de suivi permettant de caractériser l'évolution des régimes hydrologiques de ces cours d'eau.

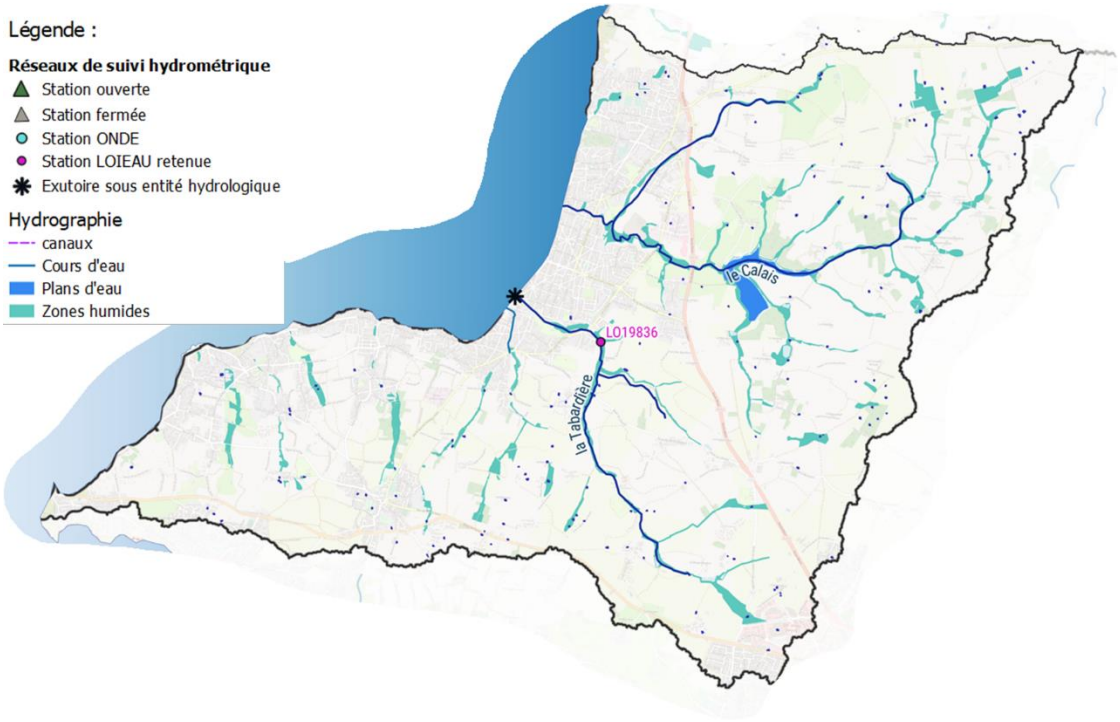


*Figure 99 : Carte de contexte de la sous-entité des **cours d'eau côtiers Sud Estuaire***

> *À titre informatif, le régime hydrologique de la Tabatière sera caractérisé au droit du point de modélisation LOIEAU le plus proche de son exutoire (LO19836). Compte tenu des caractéristiques relativement proches entre les deux bassins, on considèrera, en l'absence d'informations, que le régime du Calais est similaire.*

*Tableau 91 : Caractéristiques du régime hydrologique de la **Tabatière** sur la période 2000 - 2019*[18]

Type chronique	Module (m^3/s)	Début basses eaux	Fin basses eaux	Durée basses eaux
LOIEAU (LO19836)	0,09 ± 0,002	Juin	Décembre	7 mois

Les débits moyens mensuels LOIEAU calculés sur la période [2000 – 2019] varient entre **0,04 m^3/s** (septembre / octobre) et **0,15 m^3/s** (février) pour un débit moyen interannuel de **0,09 m^3/s**. L'incertitude sur ces débits moyens mensuels varie entre 0,6 % (août) et 8,7 % (novembre).

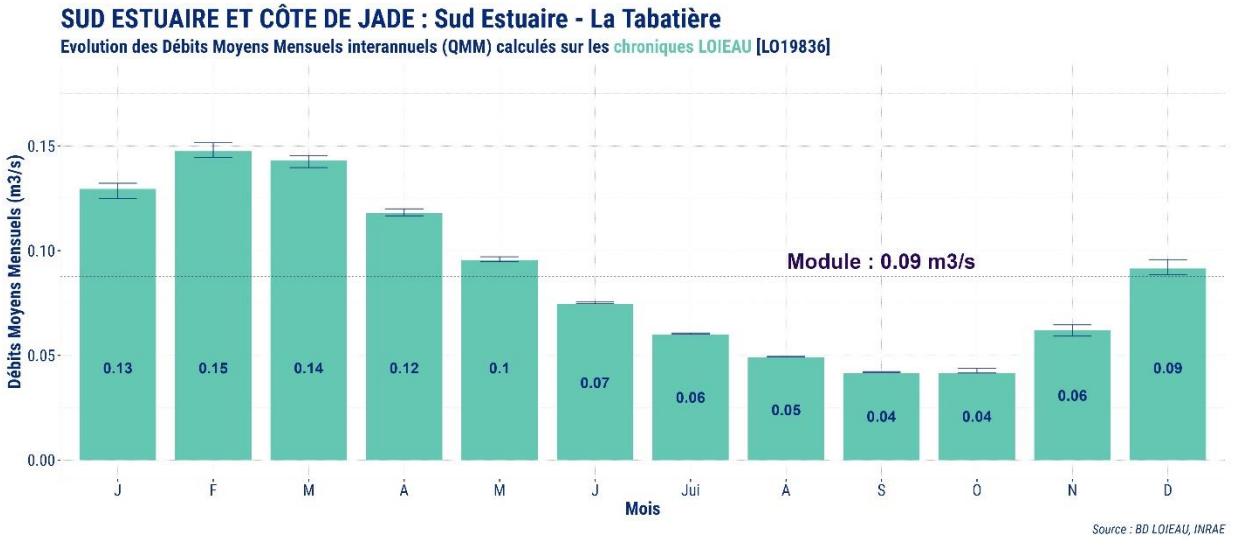


*Figure 100 : Débits Moyens Mensuels (QMM) interannuels et module (QA) sur la **Tabatière***

Les indicateurs caractéristiques d'étiage sont évalués pour trois types d'année (normale, sèche et humide). En année sèche, la valeur calculée du **$QMNA_5$** est de **0,0313 m^3/s** (± 0,006 m^3/s).

*Tableau 92 : Indicateurs d'étiage calculés sur le point LOIEAU de la **Tabatière** sur la période 2000 – 2019 et fréquences de retour*

Chronique	Type d'année	QMNA (l/s)	VCN3 (l/s)	VCN7 (l/s)	VCN10(l/s)	VCN30 (l/s)
LOIEAU (LO19836)	Normale	37,7 ± 0,6	33,7 ± 0,5	33,4 ± 0,5	33,2 ± 0,5	32,8 ± 0,3
	Sèche	31,3 ± 0,6	28,2 ± 0,5	27,9 ± 0,5	27,7 ± 0,5	28,6 ± 0,3
	Humide	44,3 ± 0,9	39,3 ± 0,7	39,1 ± 0,7	38,9 ± 0,7	37,1 ± 0,5

Le ratio entre $QMNA_5$ (0,03 m^3/s) et module (0,09 m^3/s) équivaut à 33 % du module, valeur supérieure au 1/10ème du module (10 %) qui correspond au débit minimal à maintenir dans le lit d'un cours d'eau.

[18] Chroniques LOIEAU incomplètes sur l'année 2020

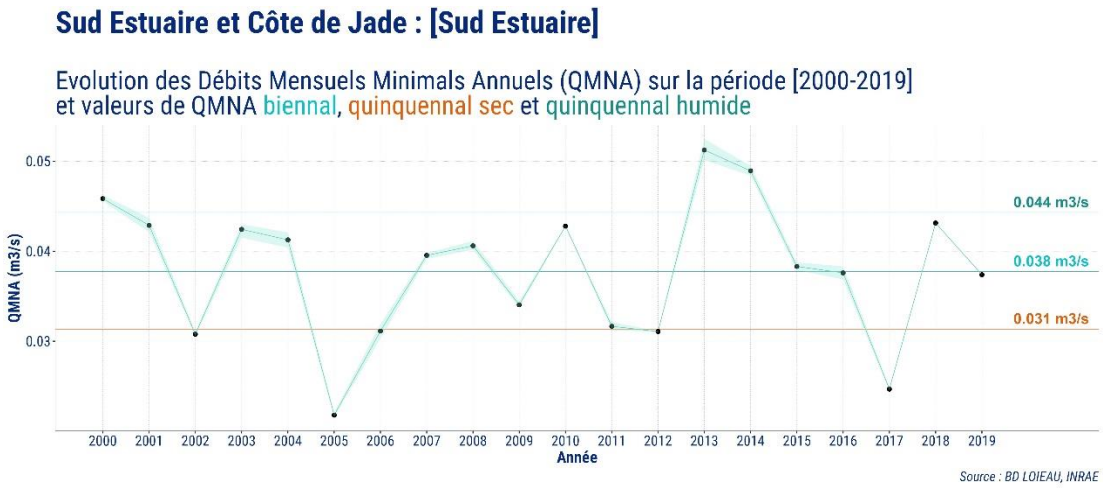


*Figure 101 : Evolution des QMNA et incertitudes du point LOIEAU (LO19836) de la **Tabatière** sur la période [2000 – 2019]*

5 Synthèse

L'estuaire de la Loire est un territoire peu instrumenté pour le suivi hydrométrique. Sur le périmètre d'étude, seulement 4 stations hydrométriques sont en activité aujourd'hui.

Ces stations sont implantées sur 2 entités de gestion (Erdre et Hâvre) et sont également caractérisées pour certaines (Gesvres et Hâvre) par l'absence de données sur la période ciblée pour l'analyse. Des méthodes de reconstitution de l'information (modélisation pluie-débit) ont donc été appliquées afin de mener l'analyse sur une période homogène pour l'ensemble des stations hydrométriques en activité retenus. À titre informatif, les chroniques de débits de la Loire à Montjean-sur-Loire sont également analysées.

Une grande partie du territoire est ainsi caractérisée par l'absence de stations hydrométriques, notamment certaines entités identifiées comme « cibles » dans le cadre de l'étude HMUC (Acheneau – Tenu, Goulaine – Divatte – Robinets).

Cette faible instrumentation du territoire peut s'expliquer par un contexte géographique particulier. En effet, les régimes hydrologiques sont fortement influencés par l'estuaire (marées) et la présence de vastes zones de marais au niveau des principales confluences avec la Loire. Ces zones de marais sont gérées par des systèmes complexes de vannage.

Afin de combler cette absence d'information, des stations hydrométriques localisées en dehors du périmètre d'étude (Logne, Falleron et Sanguèze) mais au sein d'hydrosystèmes présentant des contextes similaires (surface, climat, géologie) ont été exploitées pour estimer les caractéristiques des entités vierges de suivi. La sélection de ces stations a fait l'objet d'une validation par la DREAL.

Pour les 8 stations hydrométriques finalement retenues (4 stations dans le périmètre et 4 stations hors périmètre), les chroniques de débits journaliers ont été analysées et font ressortir que :

***L'axe Loire marque un gradient sur les régimes hydrologiques avec :**

- Des débits moyens (modules) spécifiques plus élevés sur les cours d'eau suivis du Sud de la Loire et une variabilité interannuelle plus importante (élasticité des régimes hydrologiques) ;
- Des débits moyens spécifiques plus faibles sur les cours d'eau du Nord de la Loire avec une variabilité interannuelle relativement moins marquée.

*Les étiages sont plus intenses sur les cours du Sud de la Loire sur lesquels des $QMNA_5$ spécifiques nettement plus faibles sont observés. Ces débits les plus faibles sont généralement observés sur les mois d'août et de septembre.

L'analyse des $QMNA_5$ permet de distinguer les principaux cycles secs et humides sur les cours d'eau suivis :

- Années hydrologiques sèches : 2005 / 2006, 2011 (Loire seulement), 2017 / 2018 / 2019 et 2020 (Loire seulement)
- Années hydrologiques humides : 2000 / 2001/ 2002, 2007/ 2008, 2014 et 2015 sur la Loire seulement.

*Les années sèches identifiées ressortent effectivement lors de l'analyse des franchissements des débits seuils de gestion du point nodal de Nort-sur-Erdre et plus particulièrement les années 2005, 2017 et 2019 au cours desquelles des périodes relativement longues de franchissement des seuils d'alerte (DSA) et de crise (DCR) sont notées.

*Une méthode d'analyse spécifique de la période d'étiage, basée sur une valeur seuil d'étiage (quantile 15), permet à travers le calcul d'indicateurs de saisonnalité et d'impact, de caractériser cette période et son évolution. Sur le territoire, cette période permet de préciser le gradient marqué par l'axe Loire avec :

- Des étiages très fractionnés sur les cours d'eau suivis du Sud (Falleron, Logne, stations servant pour la méthode de transfert, mais également sur l'Erdre) avec en moyenne entre 5 à 10 épisodes annuels ;
- Une durée de l'étiage multipliée par 3 lors des années exceptionnellement sèches observées sur la période cible (2005, 2011 et 2017).

*L'analyse des volumes déficitaires sur la période d'étiage montre que les déficits annuels moyens engendrés par l'étiage sont compris entre 10 000 m^3 sur la Sanguèze et 300 000 m^3 sur l'Erdre. Ces déficits représentent en moyenne moins de 1 % des volumes annuels totaux écoulés. De manière générale, ces déficits sont plus importants sur les années sèches compte tenu de la durée plus importante des étiages. Sur les années exceptionnellement sèches, les déficits peuvent représenter jusqu'à 20 % du volume total écoulé sur l'année.

La saisonnalité des étiages est également caractérisée par un gradient marqué par l'axe Loire avec :

*Des **étiages plus précoces et plus longs sur les cours d'eau du Sud** avec :

- Un début de phénomène compris sur les 10 derniers jours de juillet ;
- Un pic atteint entre mi-août et fin août ;
- Une sortie de l'étiage sur la fin du mois de septembre / début octobre ;
- Une durée moyenne > 55 jours.

Des **étiages plus tardifs et plus courts sur les cours d'eau du Nord** avec :

- Une entrée en étiage sur la première quinzaine d'août ;
- Un pic très variable selon les cours d'eau mais atteint durant le mois de septembre ;
- Une sortie de l'étiage sur la dernière semaine du mois de septembre ;
- Une durée moyenne < 50 jours (seulement sur la station Erdre à Nort-sur-Erdre).

Des tendances d'évolutions significatives sont observées sur 3 des 8 cours d'eau instrumentés du territoire ou qui ont servi à interpoler des débits :

- Le Falleron avec des tendances à la hausse marquées sur les volumes déficitaires, des dates d'entrée en étiage plus précoces et une durée du phénomène plus longue ;
- La Sanguèze avec une augmentation significative des volumes déficitaires ;
- La Loire à Montjean-sur-Loire avec un décalage du pic de l'étiage vers la fin août.

*L'analyse des observations sur les 15 sites du réseau ONDE, répartis de manière plus homogène sur le territoire, apportent une information complémentaire sur la période d'étiage des secteurs amont, notamment sur les secteurs non instrumentés.

L'analyse permet de distinguer 3 types de secteurs :

- Les secteurs sur lesquels la proportion d'écoulements critiques (assecs + écoulement non visibles) est majoritaire (> 50 %). Il s'agit des secteurs du Brivet, du Grée et de la Divatte ;
- Les secteurs sur lesquels les écoulements critiques ne sont pas majoritaires mais significatifs : l'Erdre amont, le Brivet canalisé (canal de la Fleur), le Hâvre et les cours d'eau de l'Erdre aval (Gesvres, Cens) ;
- Les secteurs sur lesquels les écoulements critiques sont très rares et l'écoulement visible y est prépondérant. C'est notamment le cas de sites localisés sur l'Erdre amont (Erdre, Guinelière), l'Erdre aval (Hocmard) et le Boivre (Sud Estuaire).

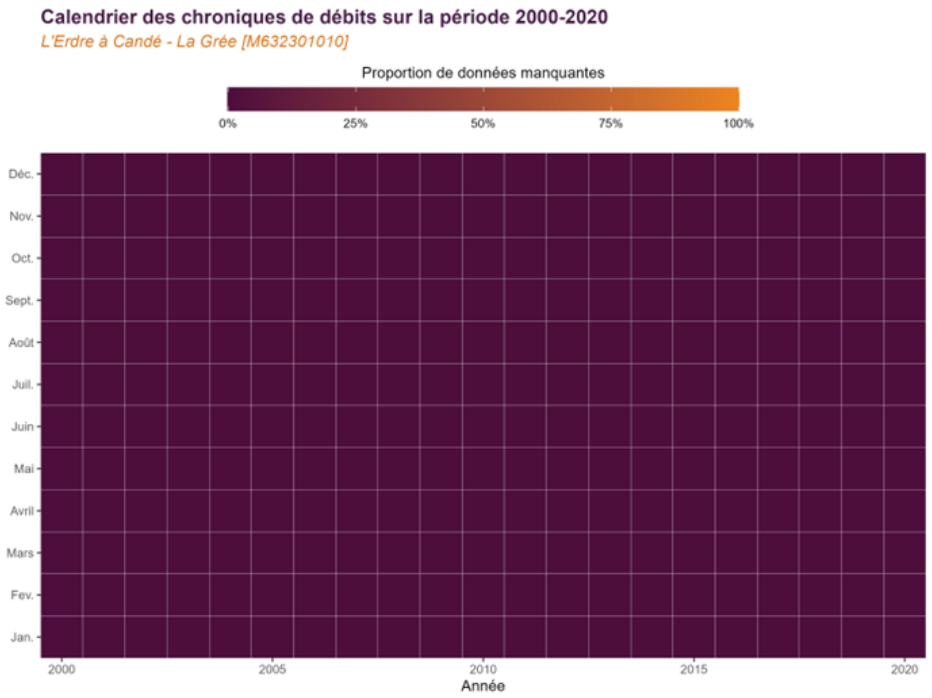
ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE OU ETUDIEES DANS LE CADRE DE L'ETUDE

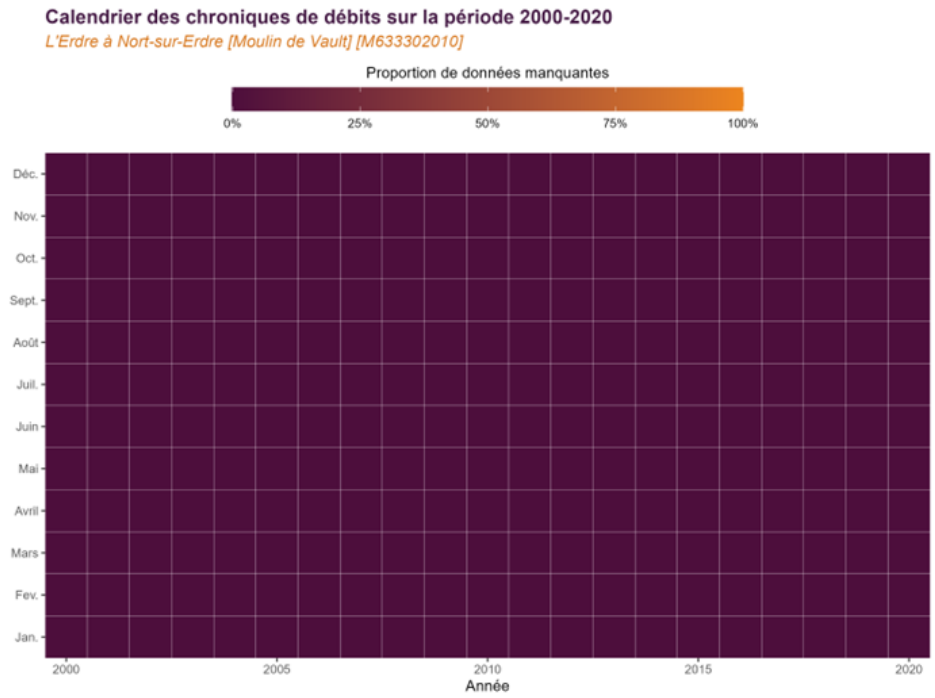
Code station	Libellé station	Surface du bassin (km^2)	Date de mise en service	Date de fermeture	Influence
M635701010	Le Cens à Orvault	35	1969-12-01	1977-01-01	Nulle
M635702010	Le Cens à Orvault [Pont du Cens]	57	1968-12-01	1977-01-01	Nulle
M632501010	Le Croissel à Saint-Mars-la-Jaille	51	1975-05-01	1980-10-01	Nulle à faible
M630431010	Le Pont Ménard à la Cornuaille [La Giraudaie]	37	1975-05-01	1980-10-01	Nulle
M850301010	Le Brivet à Pontchâteau	256	1971-12-01	1981-01-01	Nulle
M632301020	L'Erdre à Saint-Mars-la-Jaille [La Grée]	215	1968-03-01	1981-02-01	Nulle à faible
M621401010	La Divatte à Landemont	61	1973-10-01	1998-04-14	Nulle
M631561010	[Les Grands Gués] à Angrie [Les Tuyas]	50	1975-05-01	1998-05-04	Nulle à faible
M800001020	La Loire à Nantes - Saint Félix [Ancienne]		1996-01-01	2010-03-01	Nulle à faible
M633301010	L'Erdre à Bonnœuvre [Les Basses Provostières]	297	1996-11-04	2017-06-30	Nulle
M620401010	Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault]	80	1972-10-01	-	Nulle
M612001010	La Loire à Ancenis	111	1992-01-01	-	Marée
M622001010	La Loire à Mauves-sur-Loire	112	1996-06-01	-	Marée
M800001010	La Loire à Nantes - Pont Anne de Bretagne		1996-01-01	-	Marée
M612001020	La Loire à Oudon		2005-01-01	-	Marée
M622001030	La Loire à Sainte-Luce-sur-Loire - Pont de Bellevue		1995-01-01	-	Marée
M622001020	La Loire à Thouaré-sur-Loire		1996-01-01	-	Marée

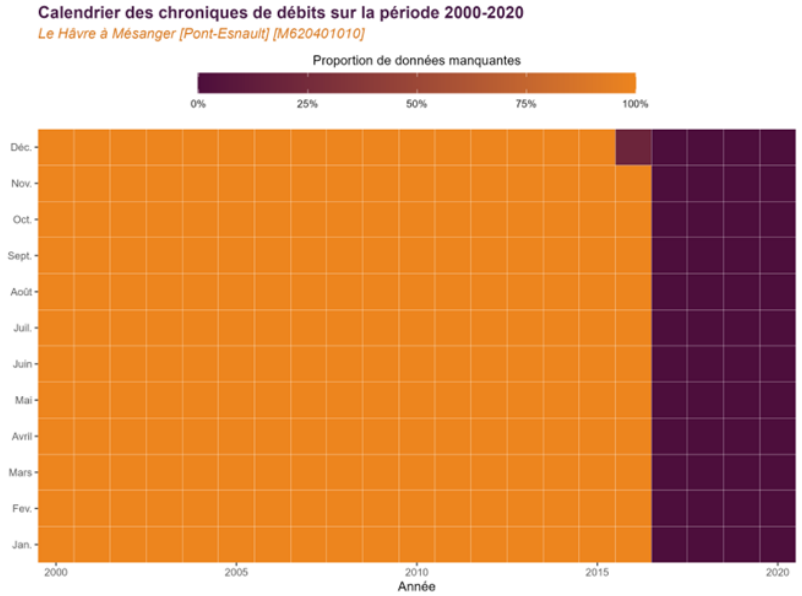
Code station	Libellé station	Surface du bassin (km^2)	Date de mise en service	Date de fermeture	Influence
M635702301	Le Gesvres à Treillières	51	2015-04-01	-	Nulle à faible
M632301010	L'Erdre à Candé [La Grée]	171	1968-03-01	-	Nulle
M633302010	L'Erdre à Nort-sur-Erdre [Moulin de Vault]	464	1967-10-01	-	Nulle à faible
M530001010	La Loire à Montjean-sur-Loire		1994-01-01	-	Influence faible du soutien d'étiage des barrages de Villerest et Naussac
M814401010	La Logne à Saint-Colomban	131	1981-07-01	-	Nulle à faible
N011301010	Le Falleron à Saint-Etienne-de-Mer-Morte	97	1994-09-01	-	Nulle à faible
M731401010	La Sanguèze à Tillières [Moulin Pichon]	93	1982-09-01	-	Nulle à faible

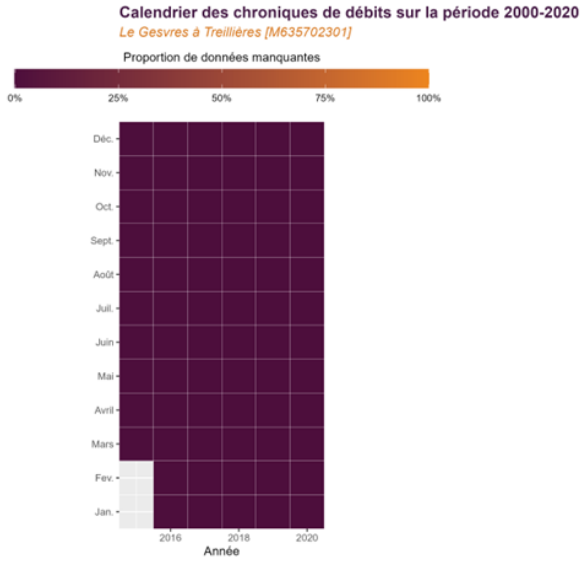
En vert, les stations hydrométriques valorisées dans le cadre de l'étude.

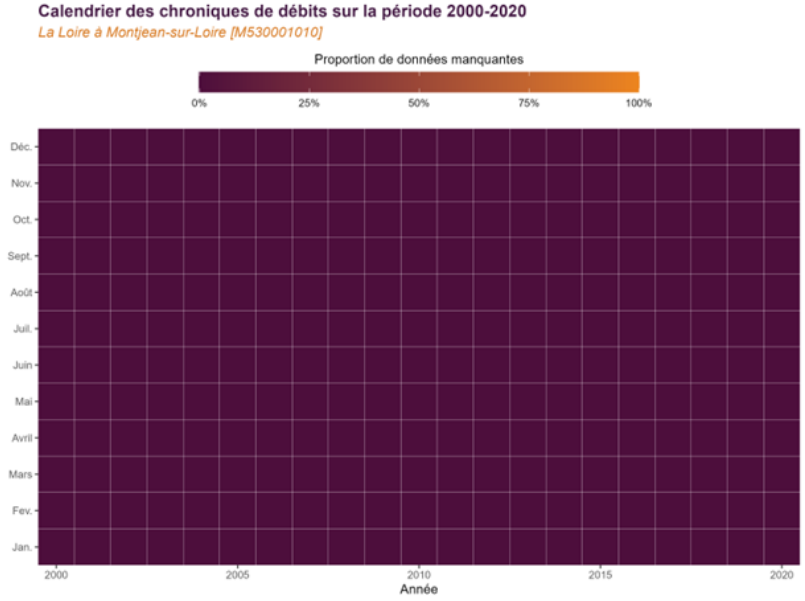
ANNEXE 2 : CALENDRIER DES CHRONIQUES DE DEBITS DISPONIBLES SUR LA PERIODE [2000 – 2020] SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES RETENUES

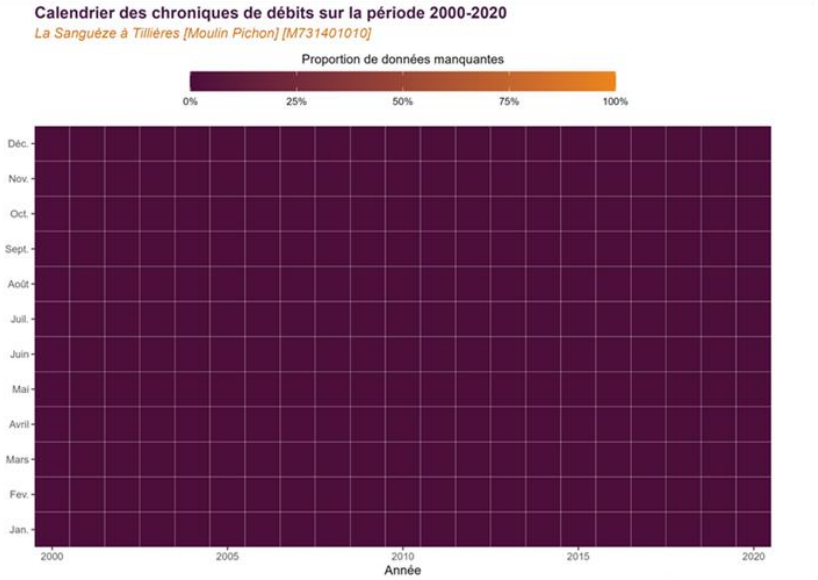


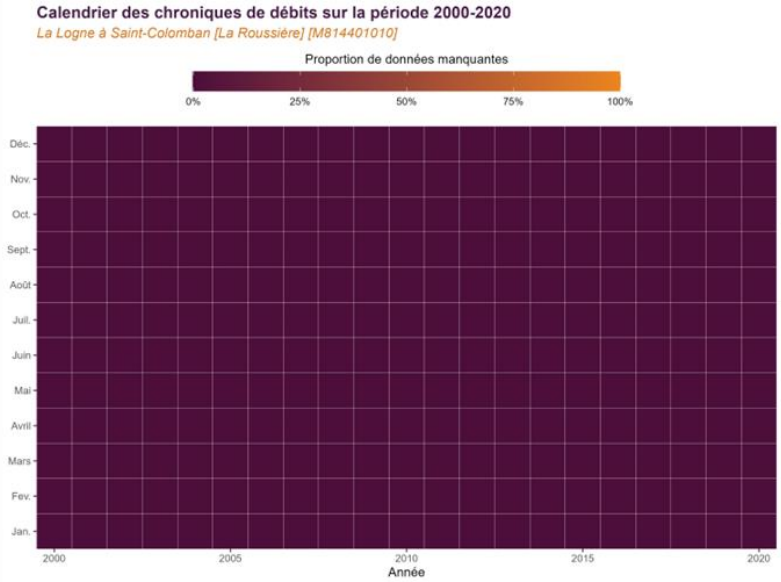


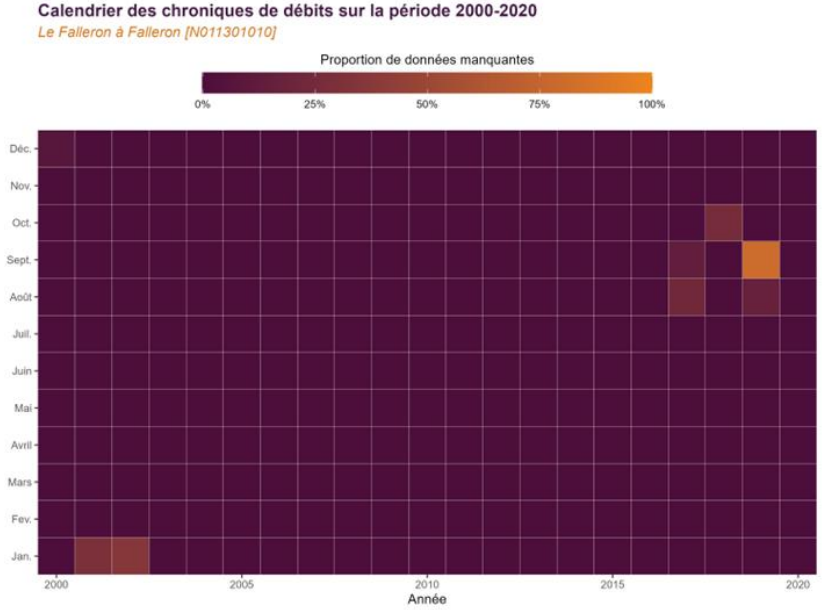

Calendrier des chroniques de débits sur la période 2000-2020
Le Hâvre à Mésanger [Pont-Esnault] [M620401010]
Proportion de données manquantes
0%
25%
50%
75%
100%
Déc.
Nov.
Oct.
Sept.
Août
Juil.
Juin
Mai
Avril
Mars
Fev.
Jan.
2000
2005
2010
2015
2020
Année


Calendrier des chroniques de débits sur la période 2000-2020
Le Gesvres à Treillières [M635702301]
Proportion de données manquantes
0%
25%
50%
75%
100%
Déc.
Nov.
Oct.
Sept.
Août
Juil.
Juin
Mai
Avril
Mars
Fev.
Jan.
2016
2018
2020
Année


Calendrier des chroniques de débits sur la période 2000-2020
La Loire à Montjean-sur-Loire [M530001010]
Proportion de données manquantes
0%
25%
50%
75%
100%
Déc.
Nov.
Oct.
Sept.
Août
Juil.
Juin
Mai
Avril
Mars
Fev.
Jan.
2000
2005
2010
2015
2020
Année

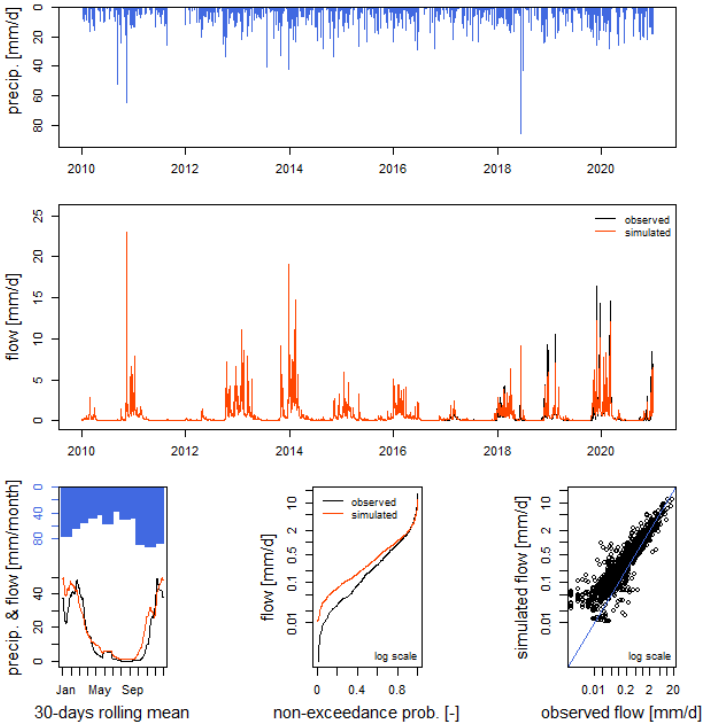

Calendrier des chroniques de débits sur la période 2000-2020
La Sanguéze à Tilliéres [Moulin Pichon] [M731401010]
Proportion de données manquantes
0%
25%
50%
75%
100%
Déc.
Nov.
Oct.
Sept.
Août
Juil.
Juin
Mai
Avril
Mars
Fev.
Jan.
2000
2005
2010
2015
2020
Année


Calendrier des chroniques de débits sur la période 2000-2020
La Logne à Saint-Colomban [La Roussière] [M814401010]
Proportion de données manquantes
0%
25%
50%
75%
100%
Déc.
Nov.
Oct.
Sept.
Août
Juil.
Juin
Mai
Avril
Mars
Fev.
Jan.
2000
2005
2010
2015
2020
Année

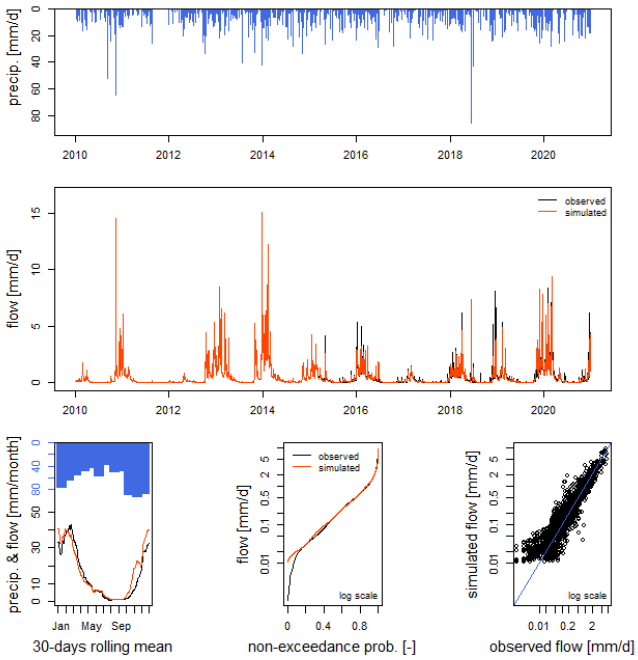

Calendrier des chroniques de débits sur la période 2000-2020
Le Falleron à Falleron [N011301010]
Proportion de données manquantes
0%
25%
50%
75%
100%
Déc.
Nov.
Oct.
Sept.
Août
Juil.
Juin
Mai
Avril
Mars
Fev.
Jan.
2000
2005
2010
2015
2020
Année

ANNEXE 3 : RESULTATS DES MODELISATIONS PLUIE-DEBIT SUR LES STATIONS DU GESVRES [M635702301] ET DU HAVRE [M620401010]

Chroniques modélisées sur le Hâvre [M620401010]

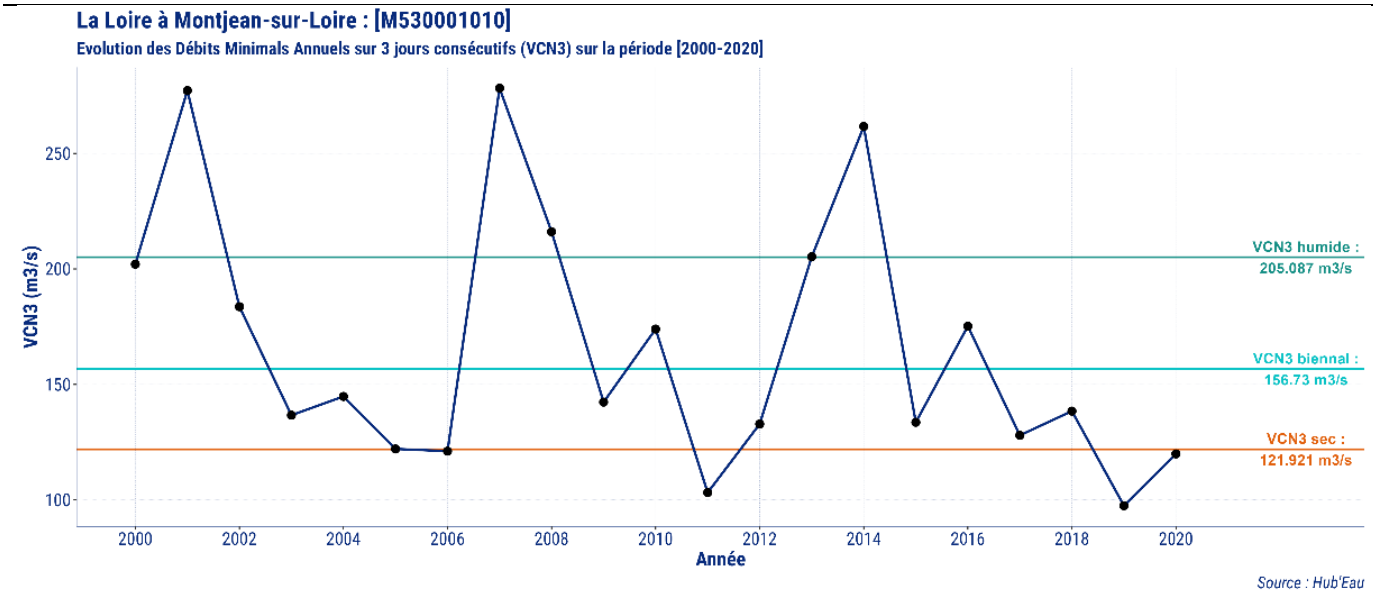


Chroniques modélisées sur le Gesvres [M635702301]

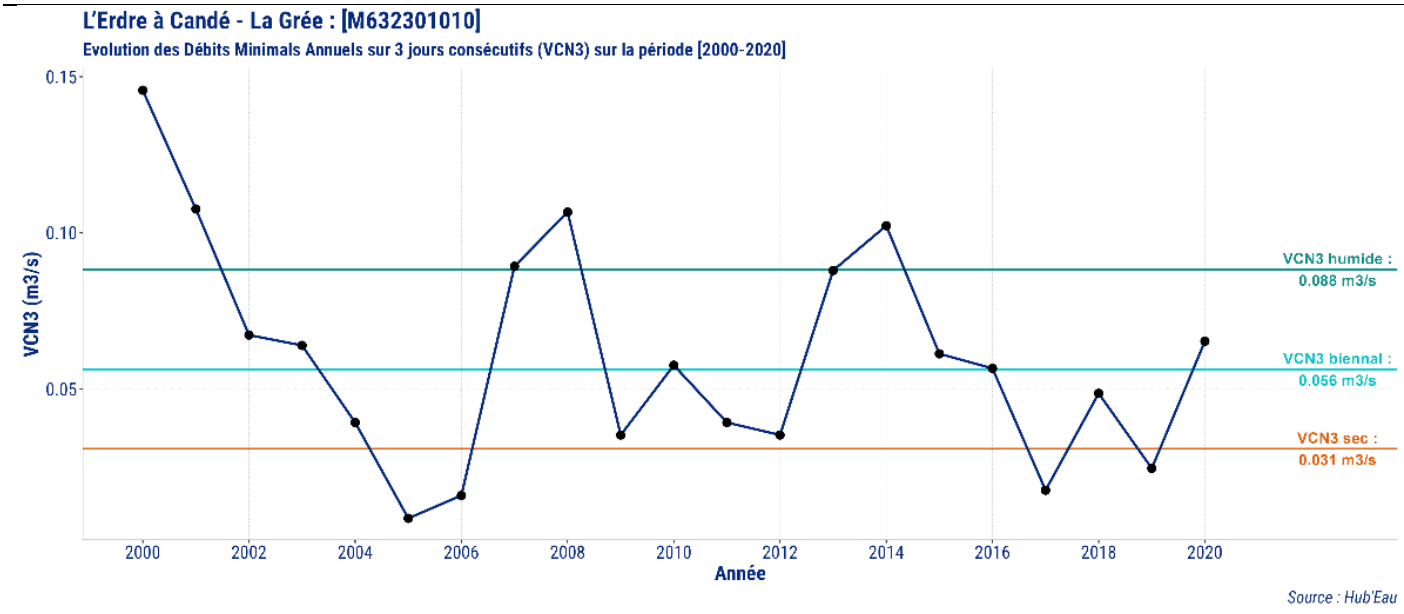


ANNEXE 4 : EVOLUTION DES VCN_3 SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

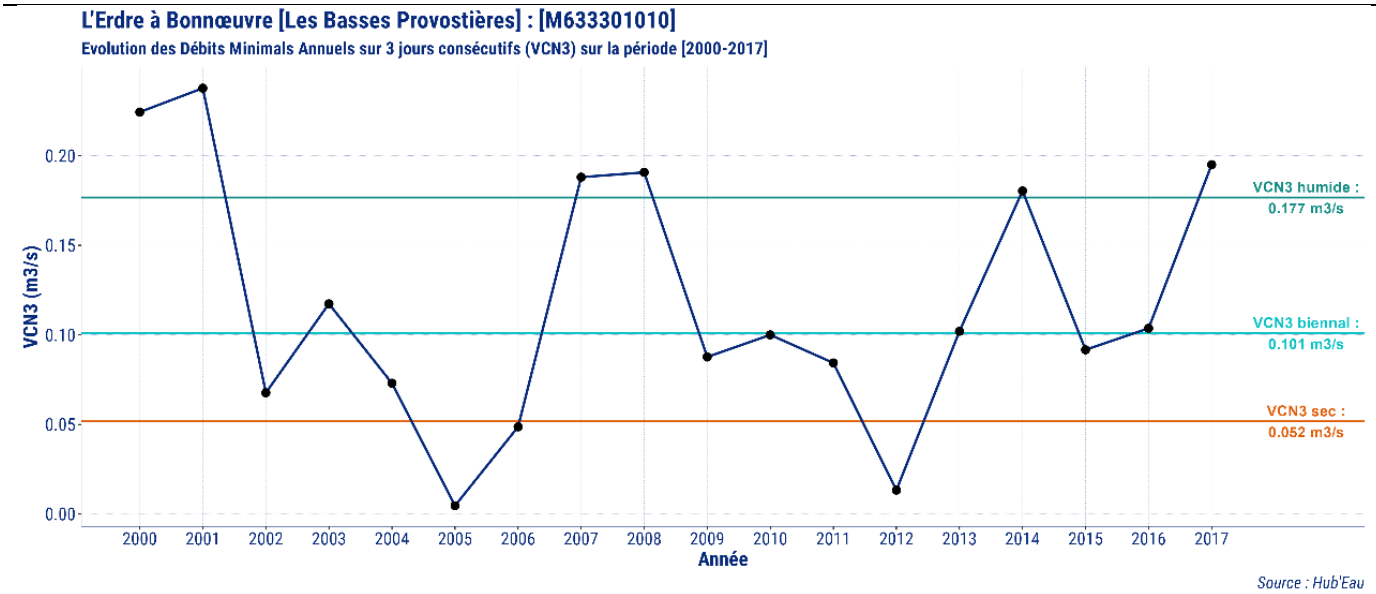
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



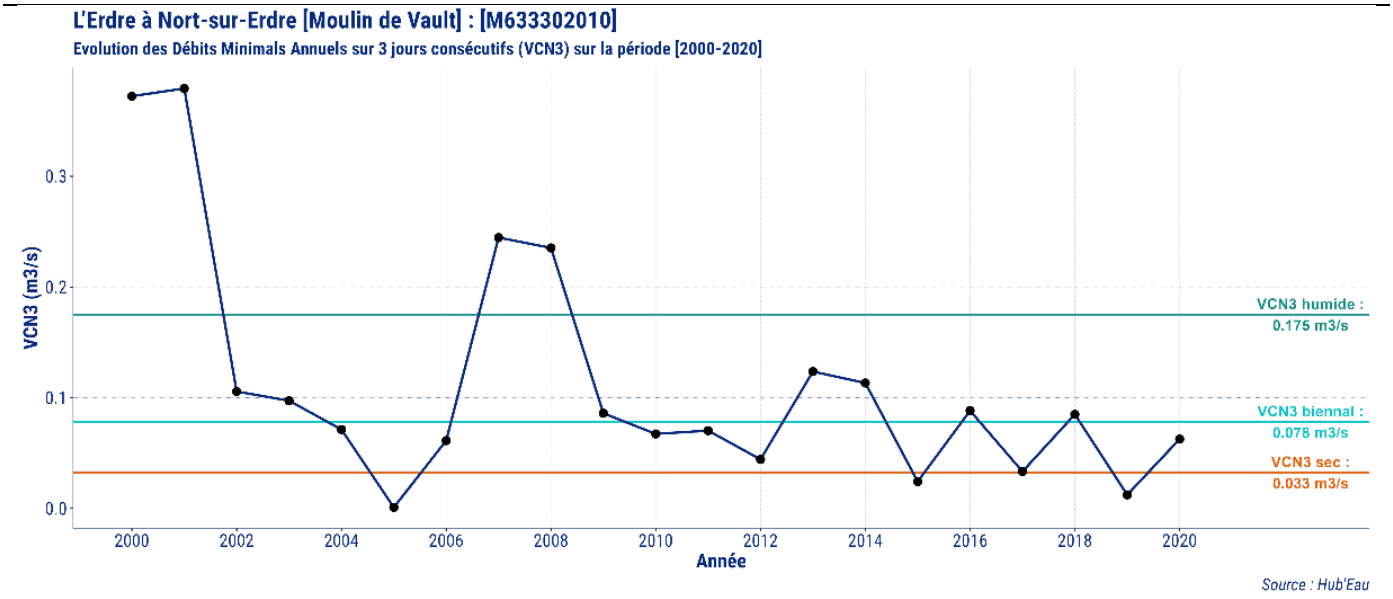
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



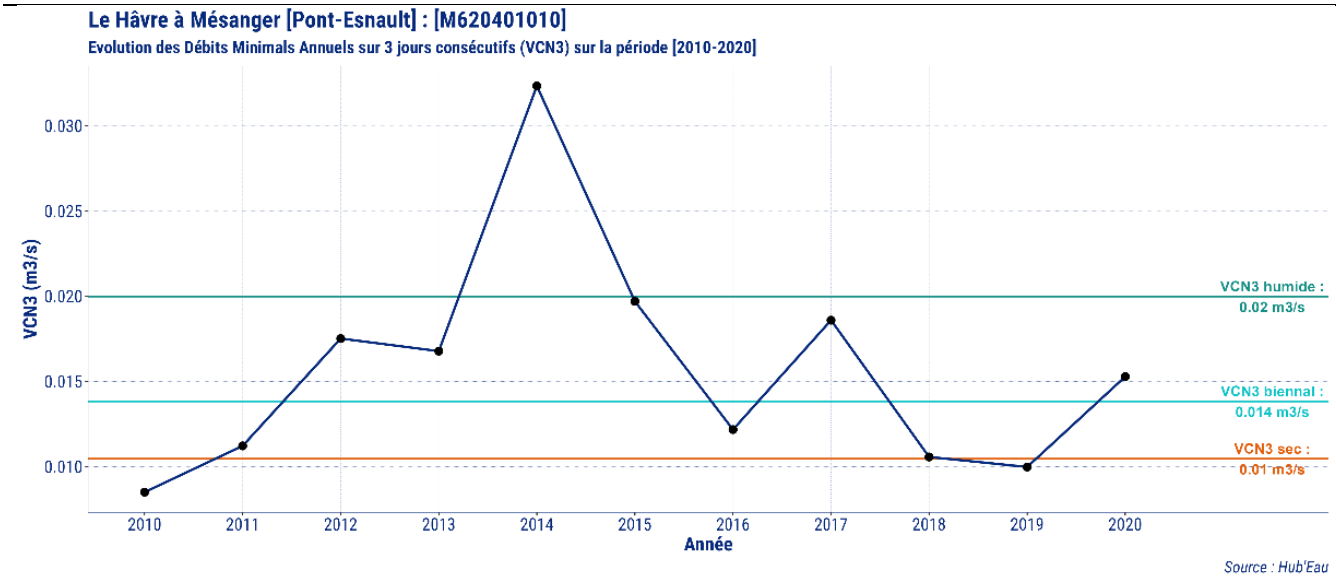
L'ERDRE A BONNOEUVRE [LES BASSES PROVOSTIERES] : [M633301010]



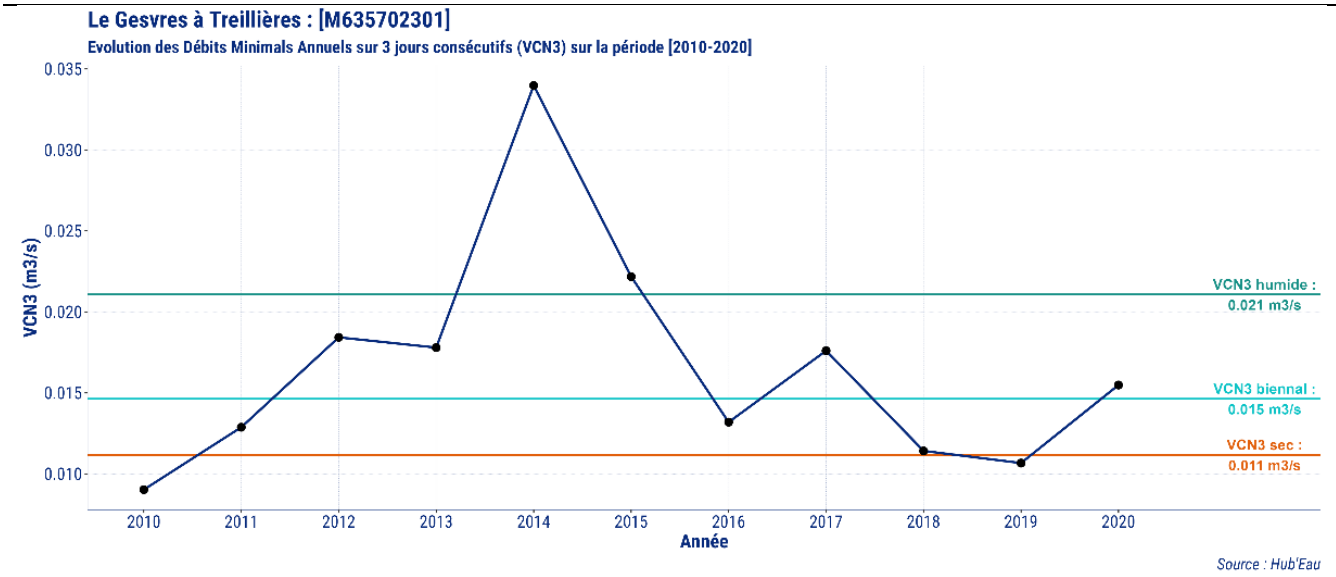
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



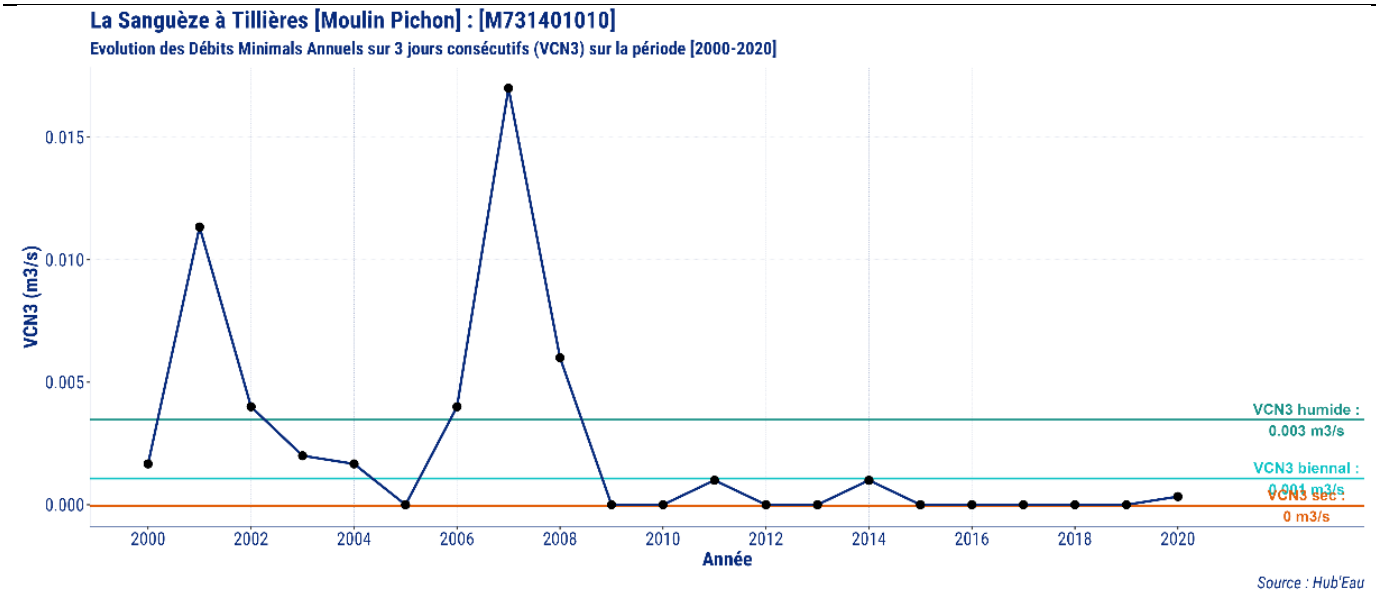
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



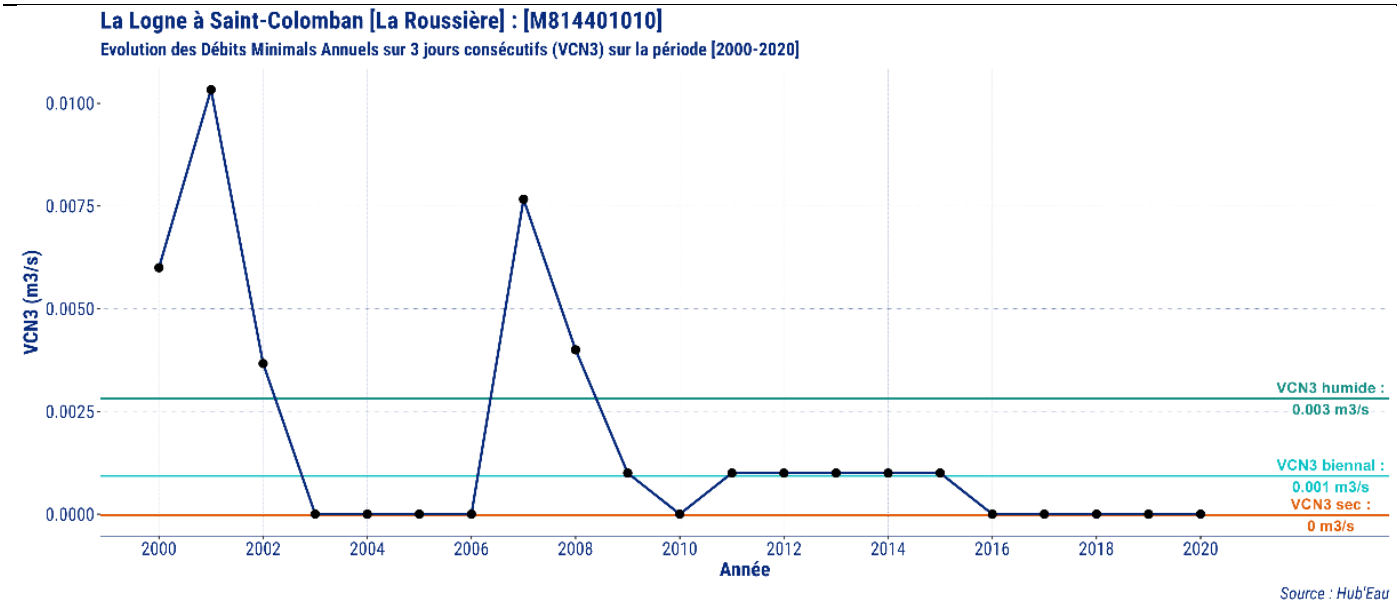
LE GESVRES A TREILLERES : [M635702301]



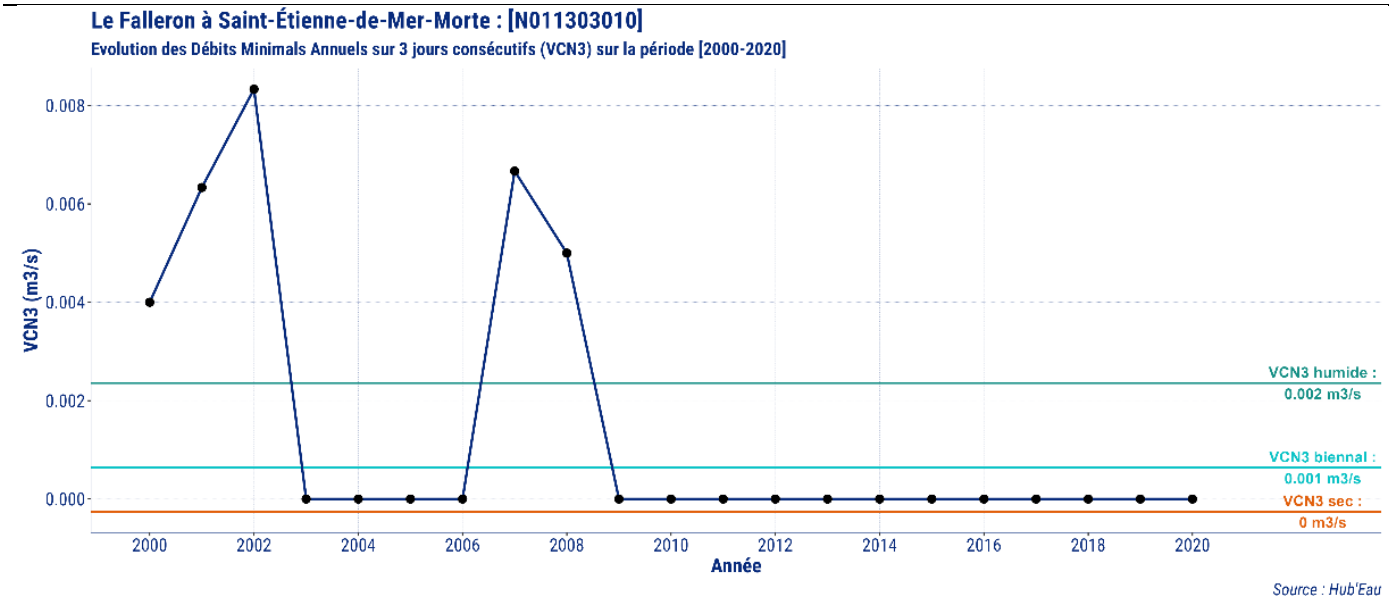
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]

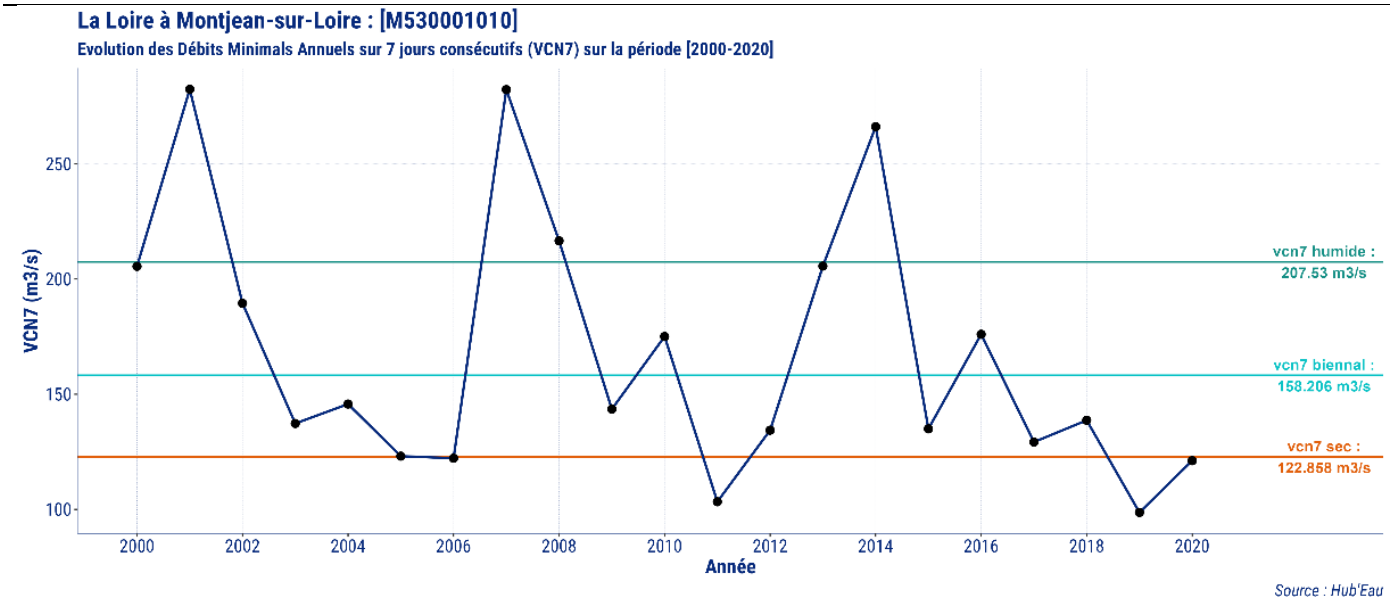


LE FALLERON A SAINT-ETIENNE-DE-MER-MORTE : [N011303010]

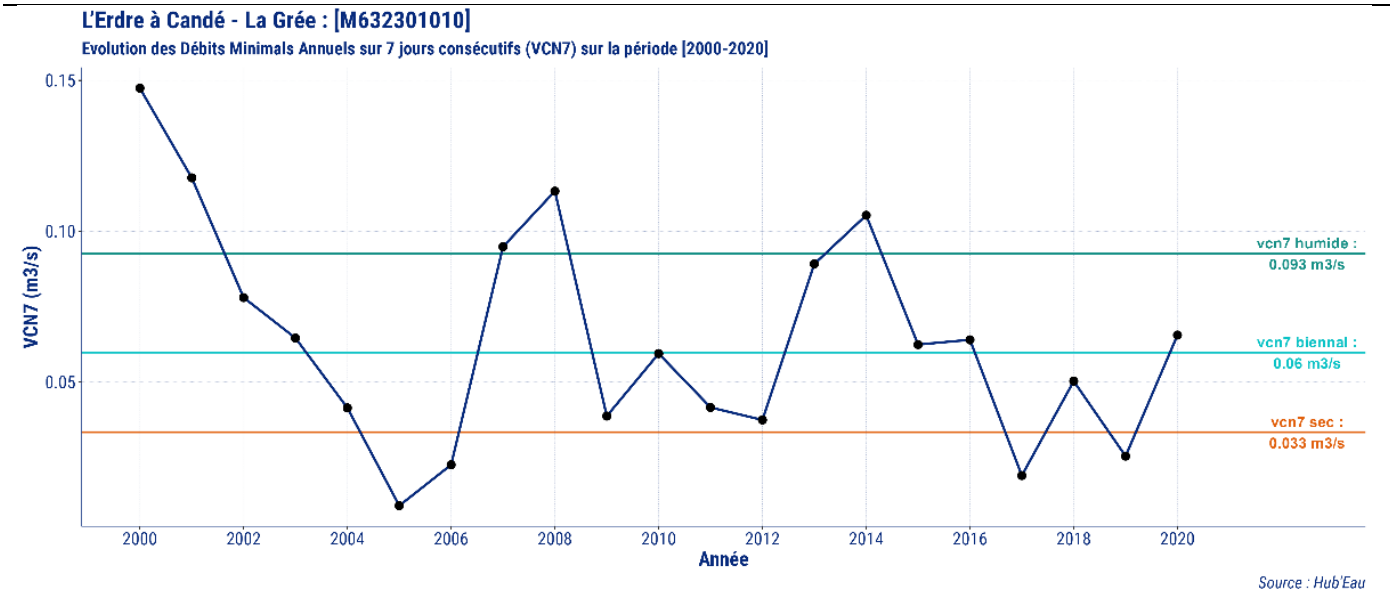


ANNEXE 5 : EVOLUTION DES VCN_7 SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

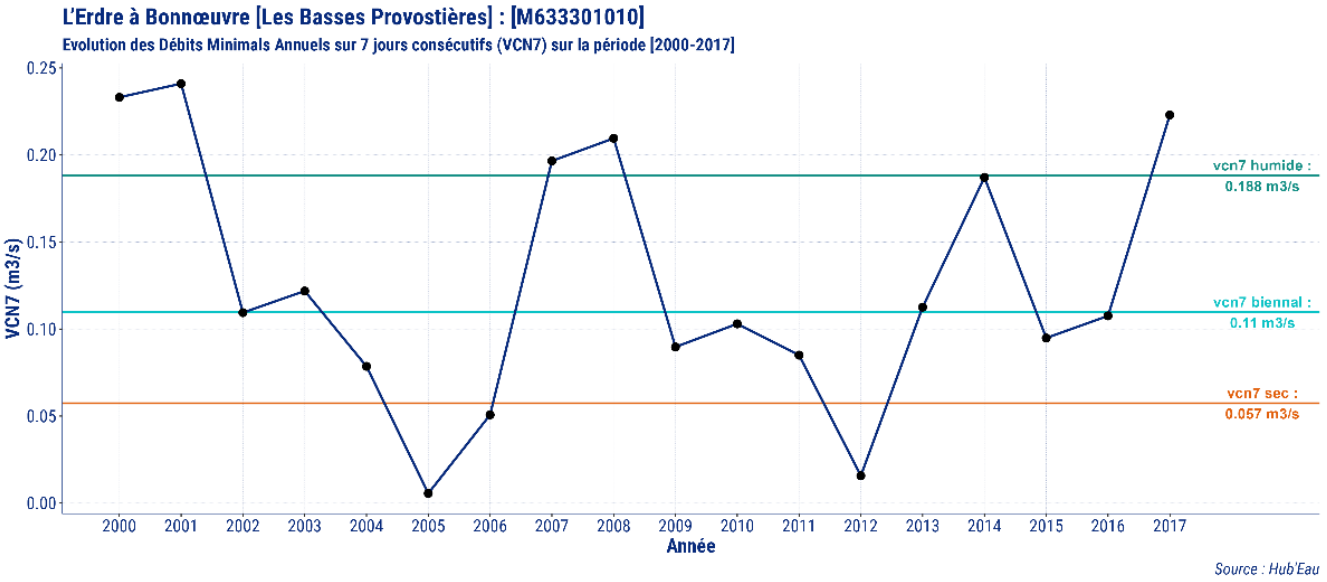
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



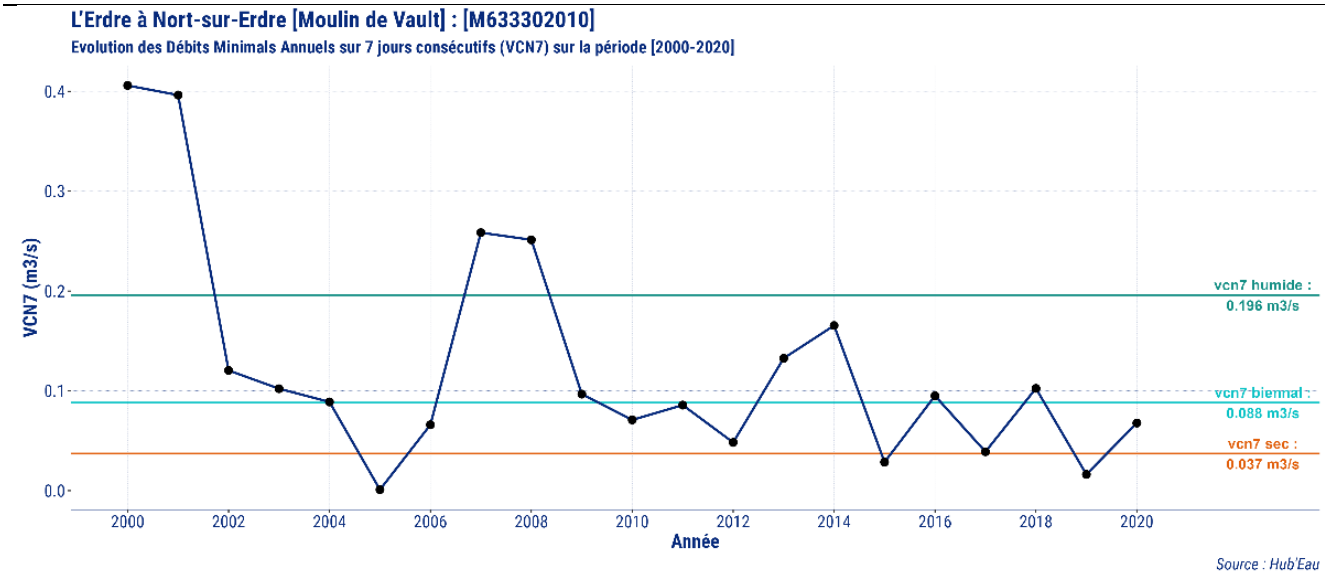
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



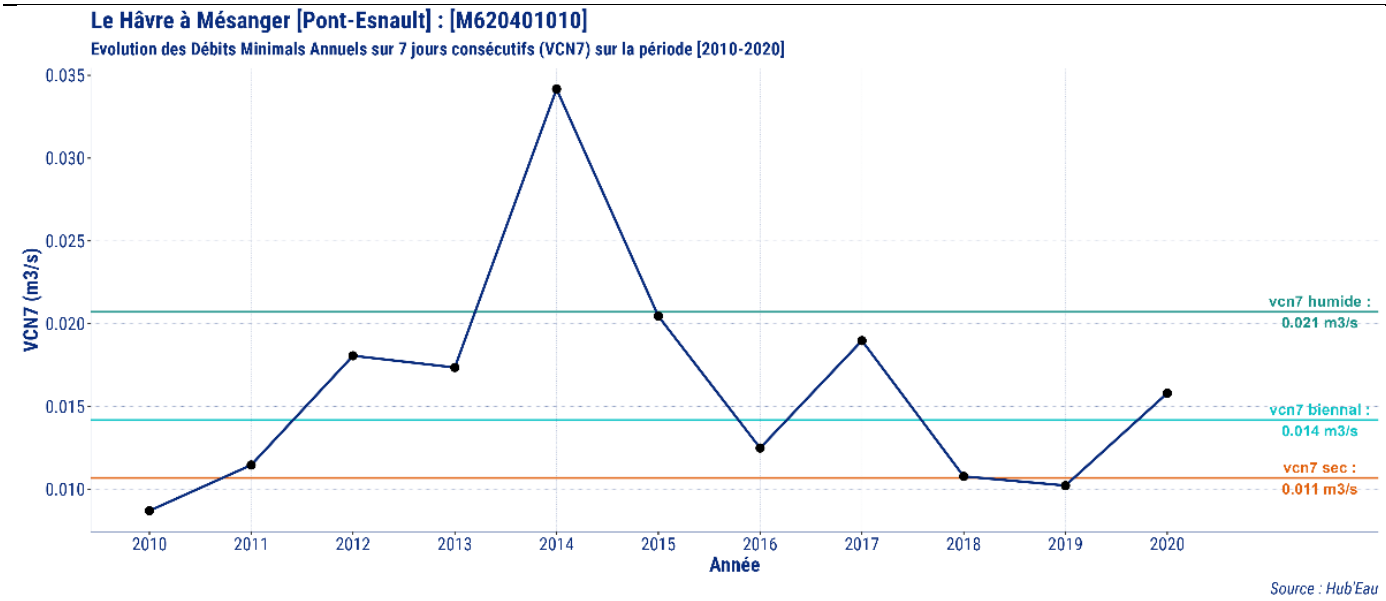
L'ERDRE A BONNOEUVRE [LES BASSES PROVOSTIERES] : [M633301010]



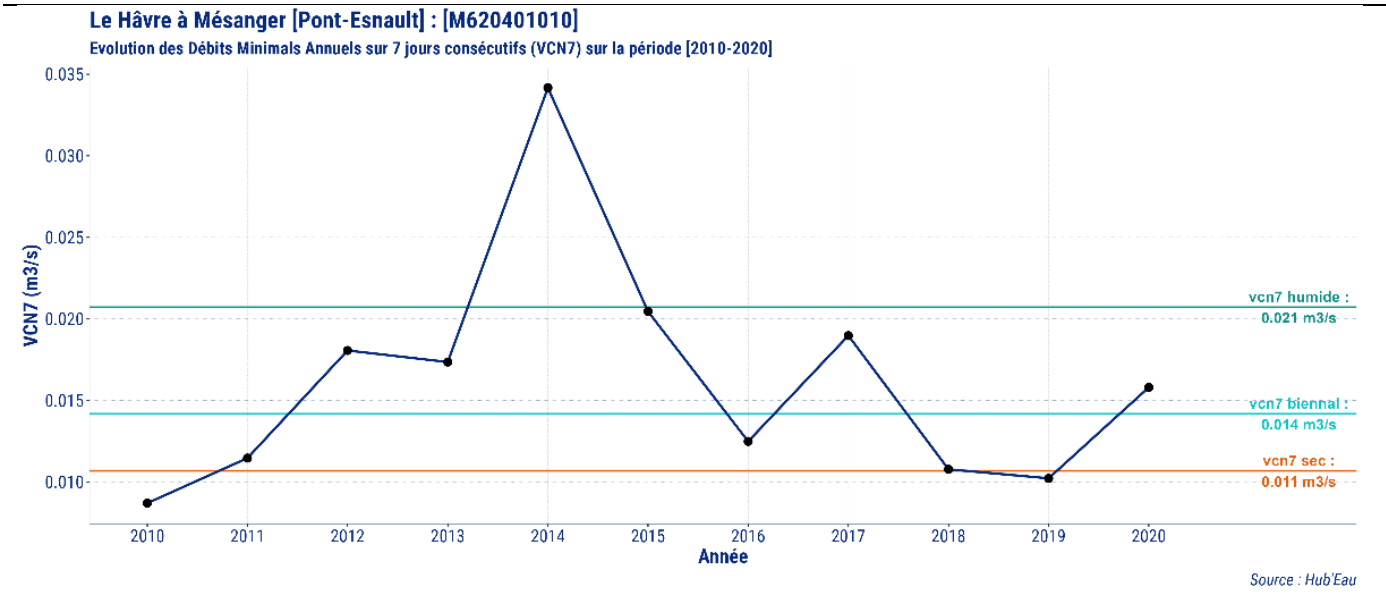
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



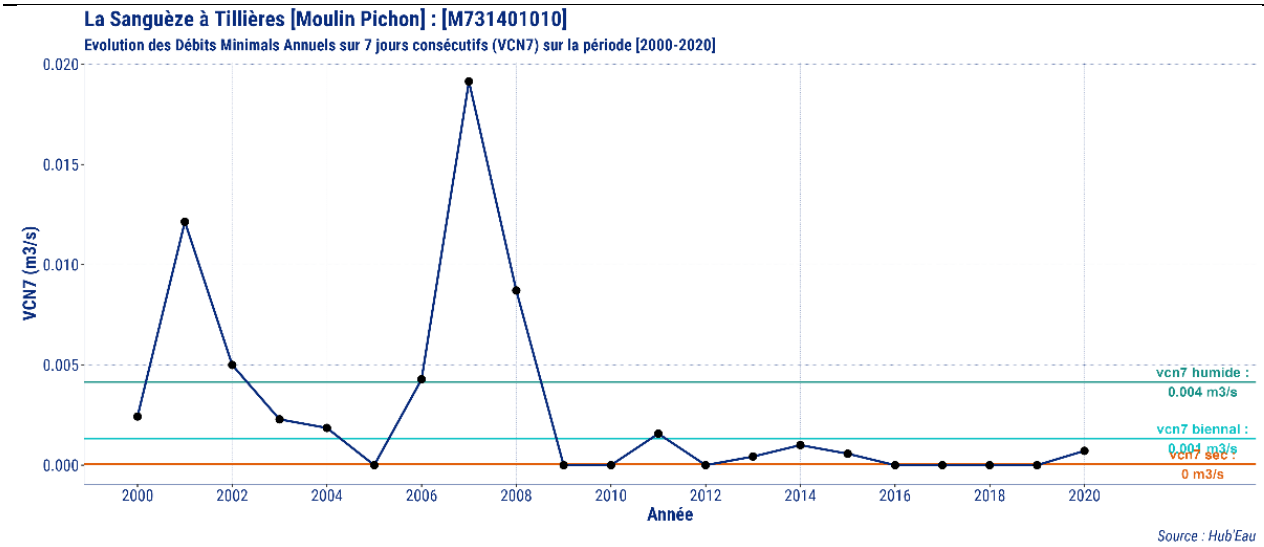
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



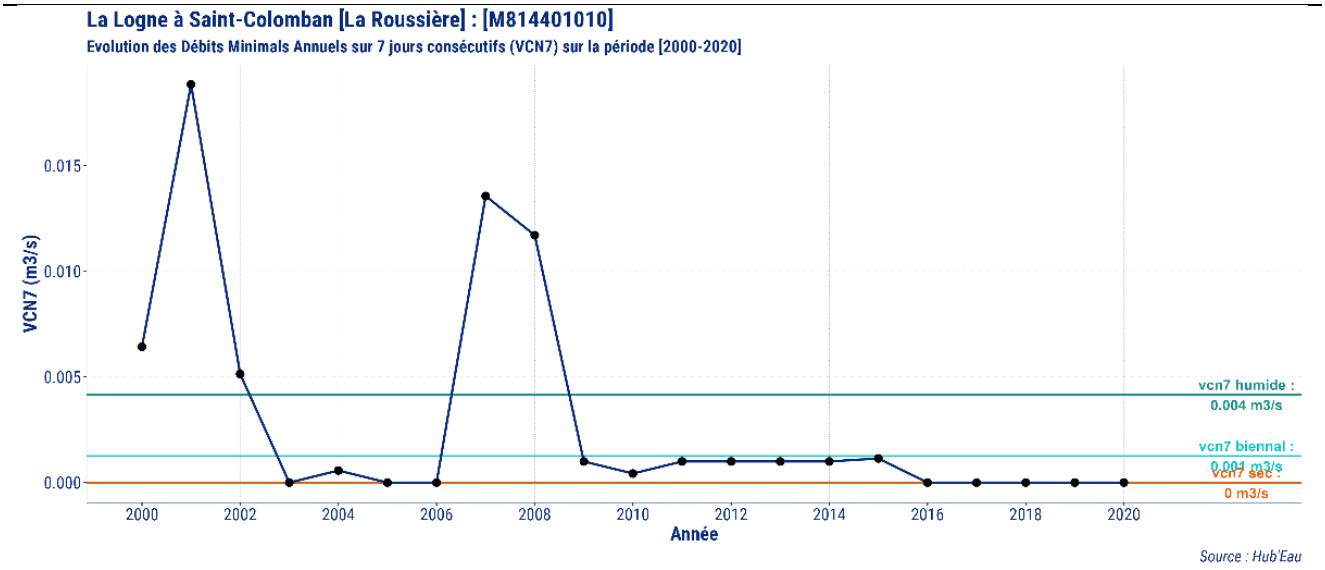
LE GESVRES A TREILLERES : [M635702301]



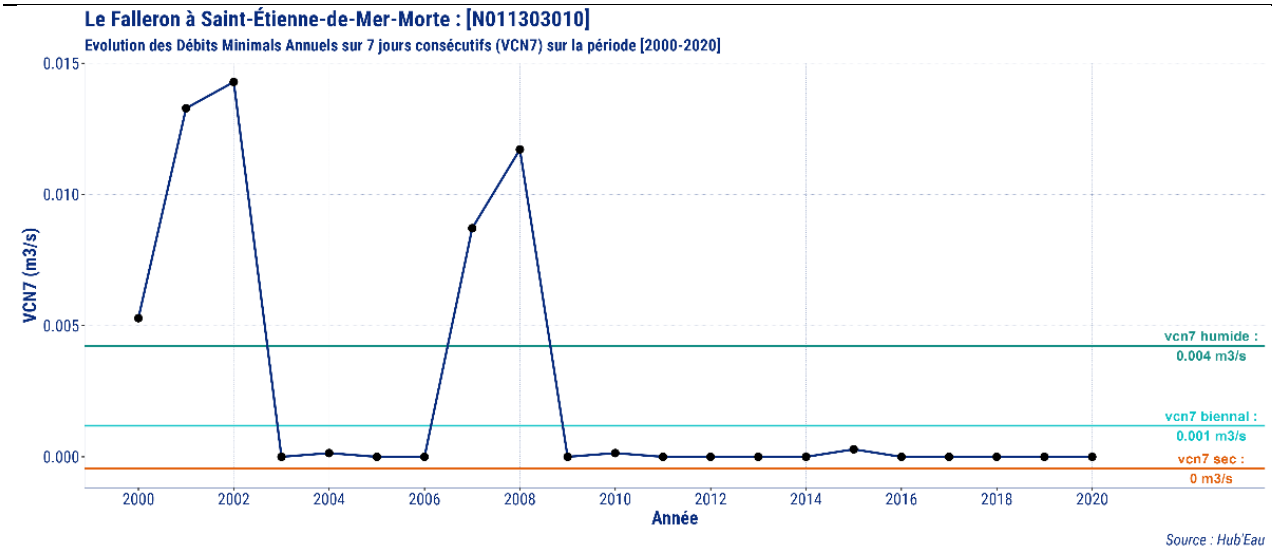
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]

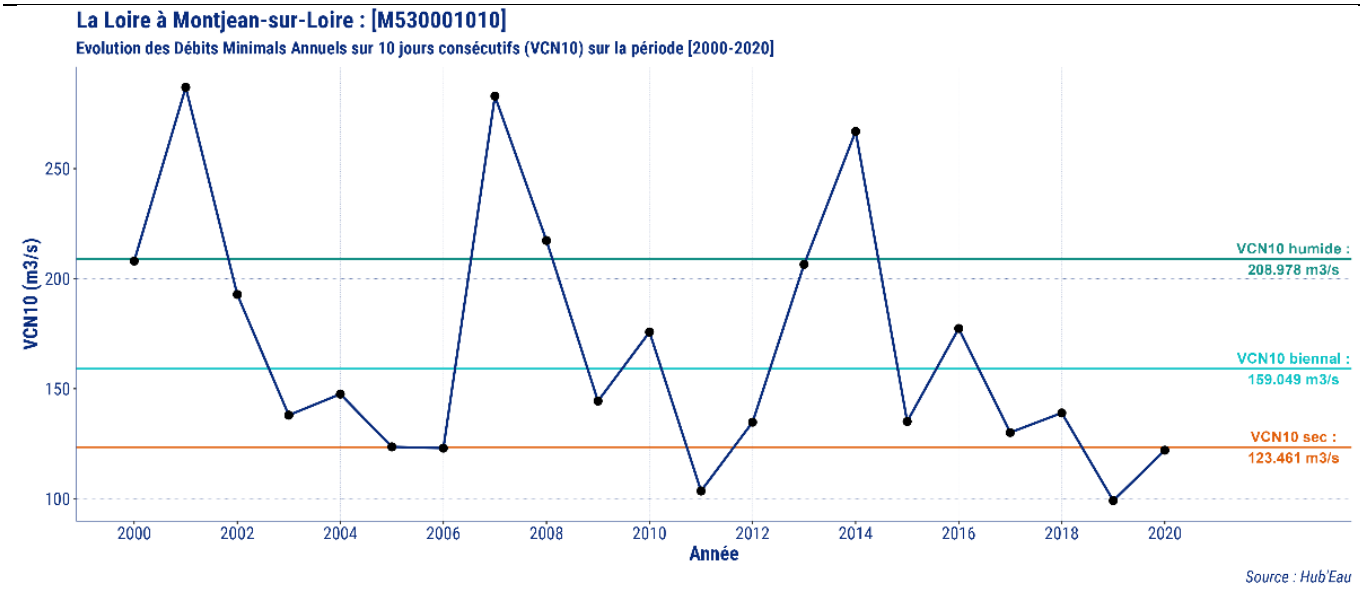


LE FALLERON A SAINT-ETIENNE-DE-MER-MORTE : [N011303010]

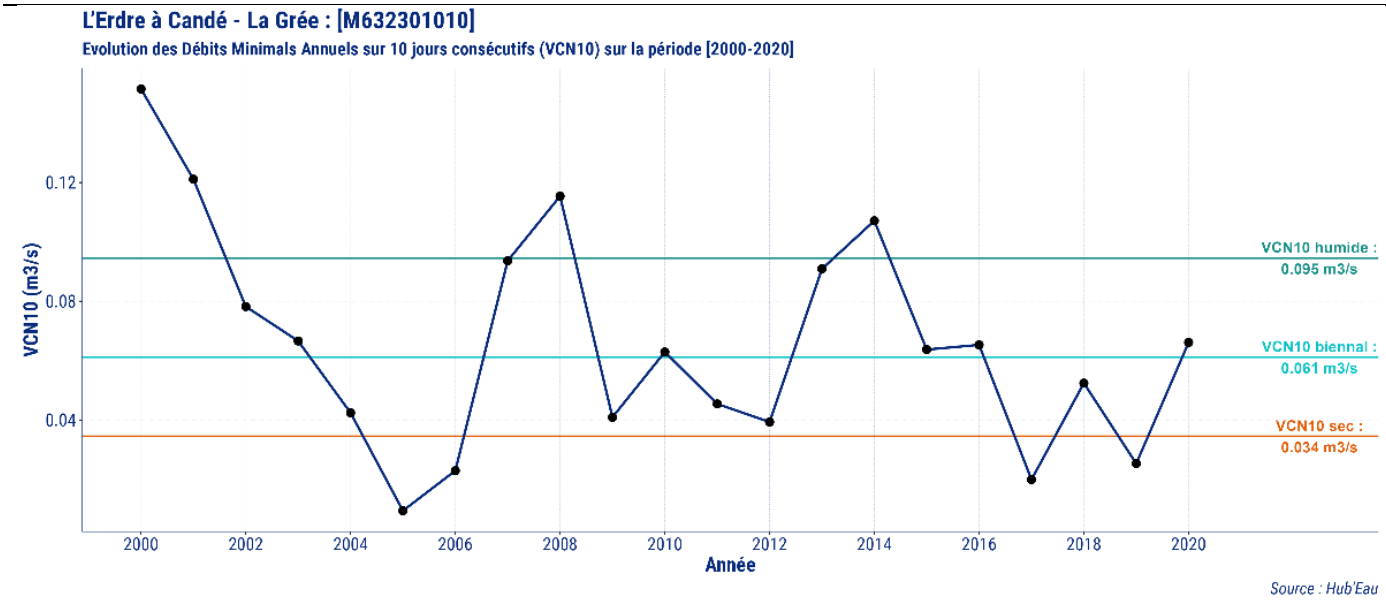


ANNEXE 6 : EVOLUTION DES VCN_{10} SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

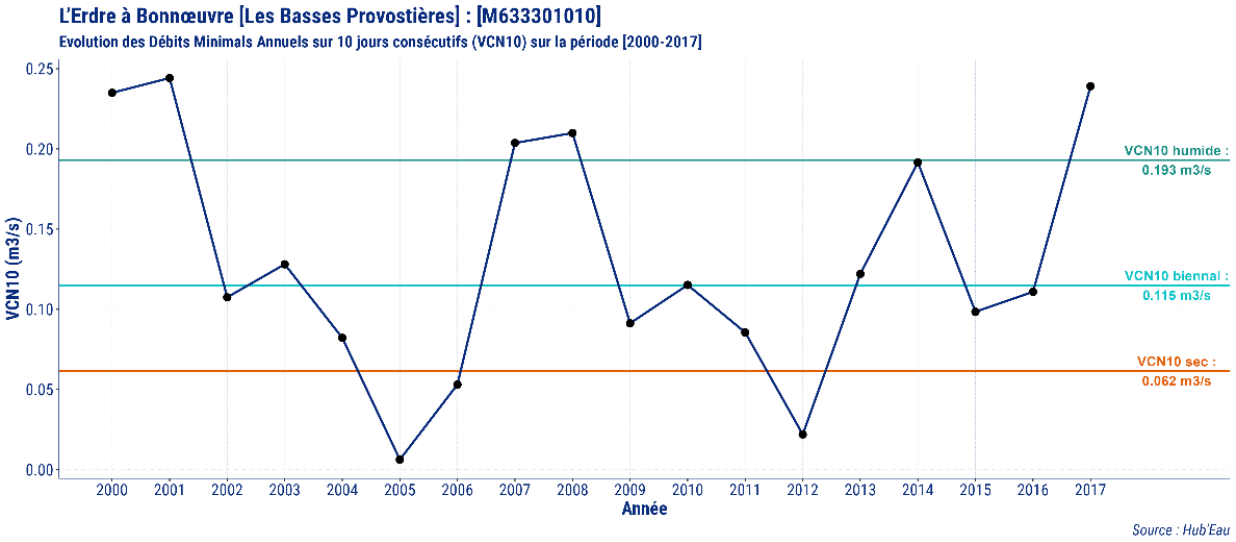
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



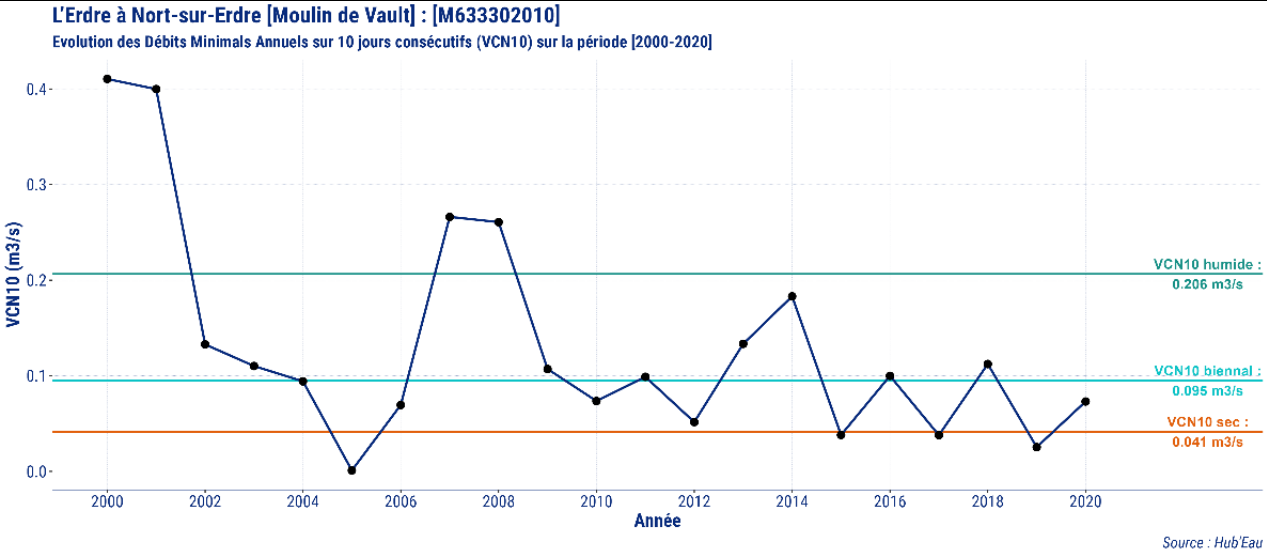
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



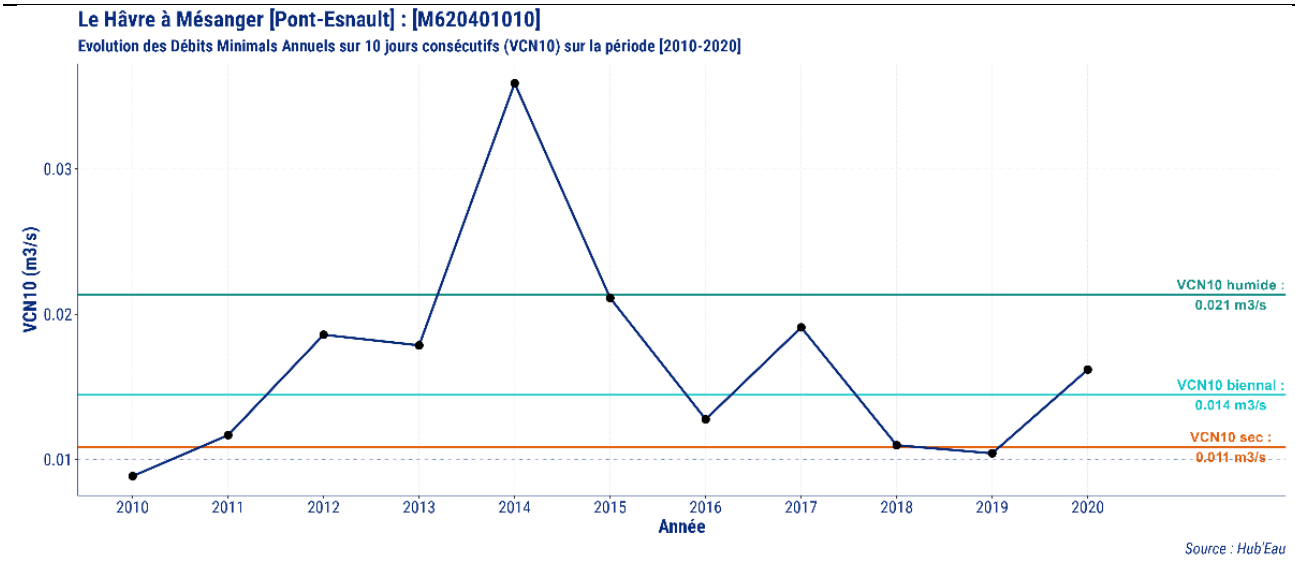
L'ERDRE A BONNOEUVRE [LES BASSES PROVOSTIERES] : [M633301010]



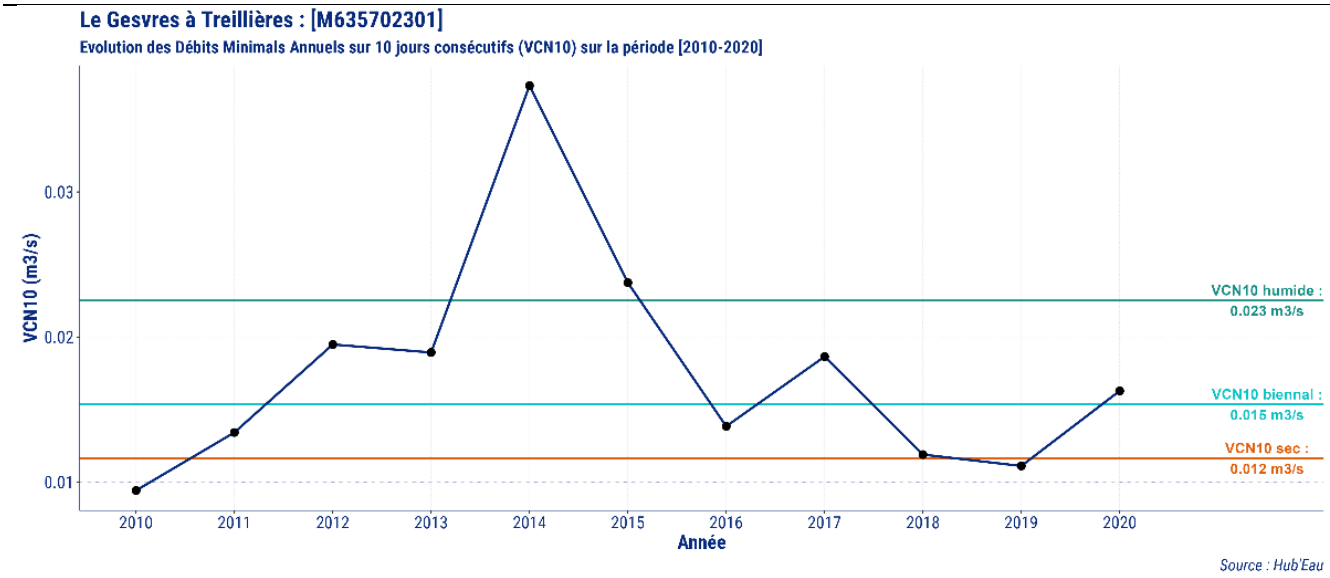
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



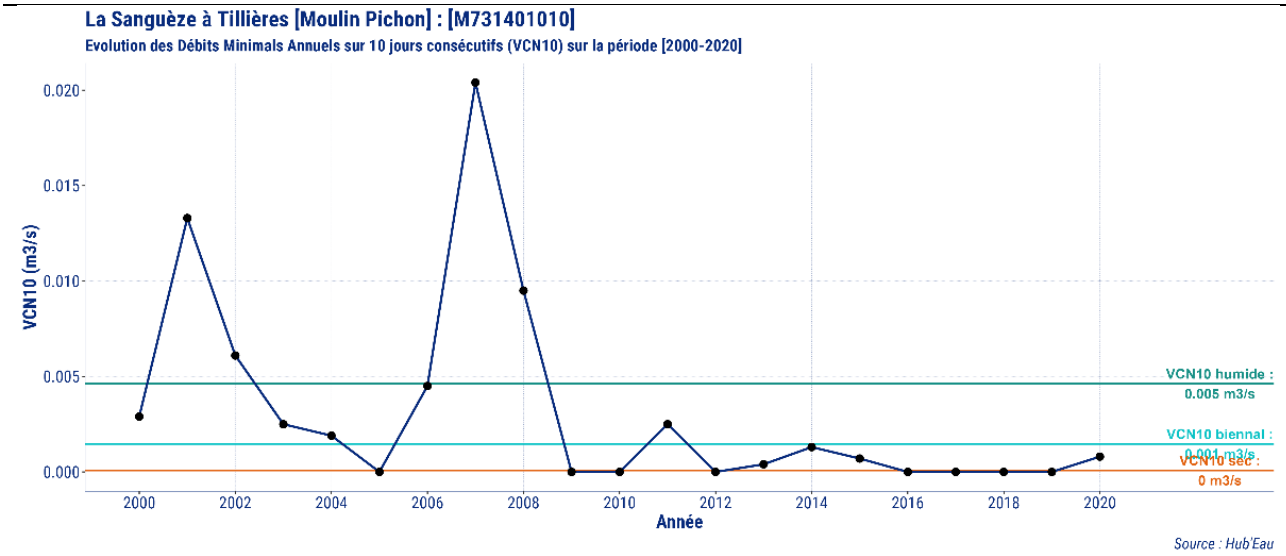
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



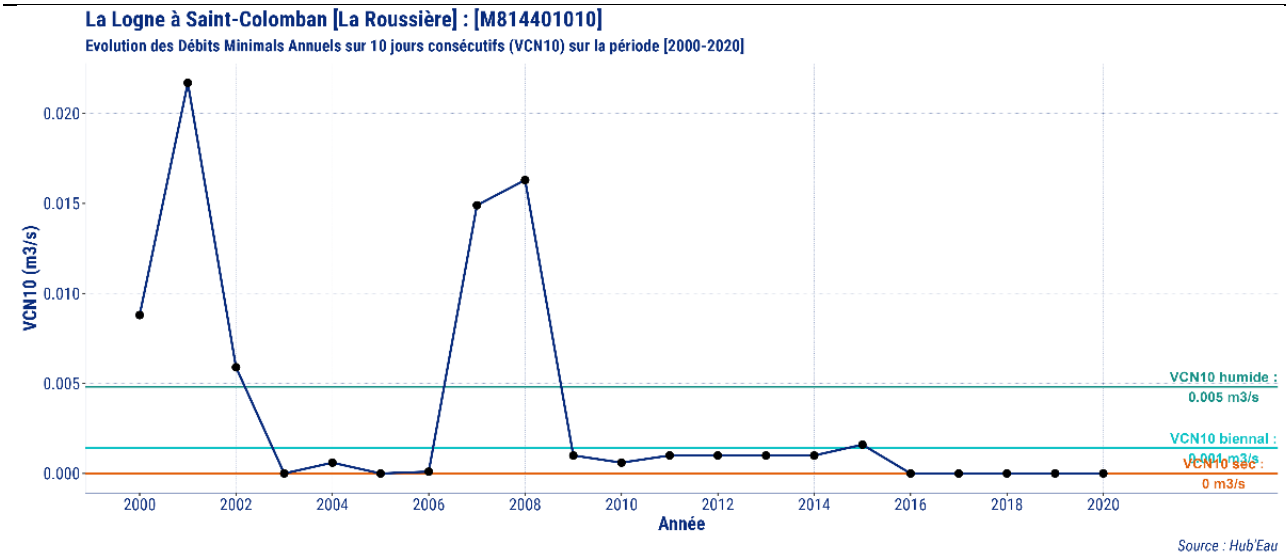
LE GESVRES A TREILLERES : [M635702301]



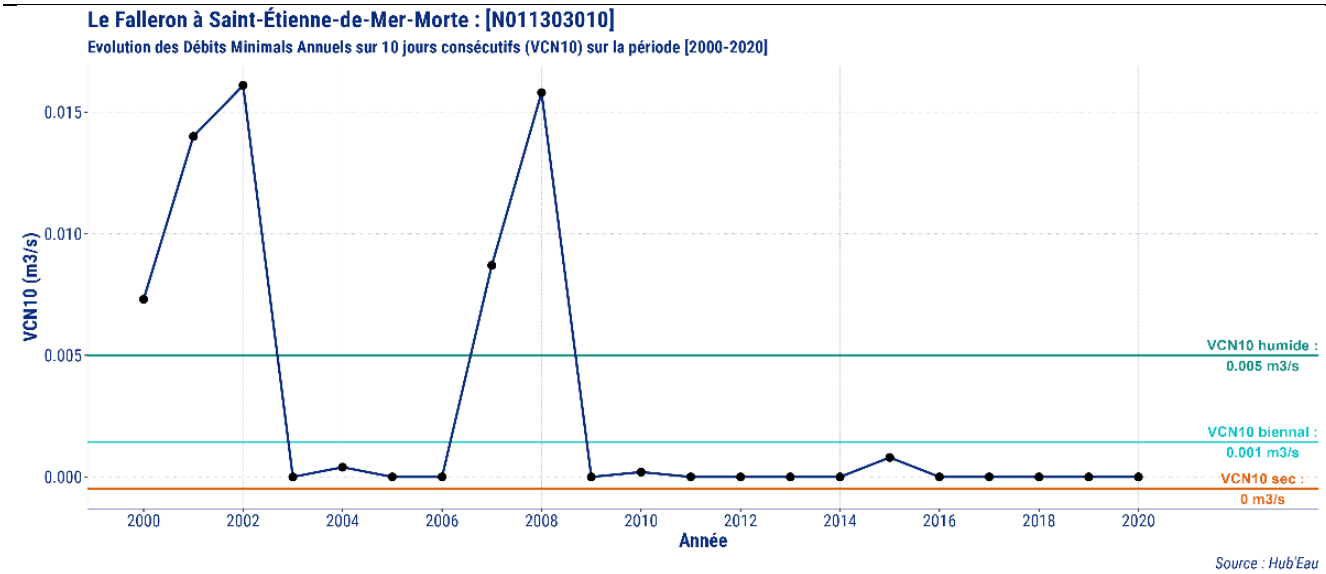
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]

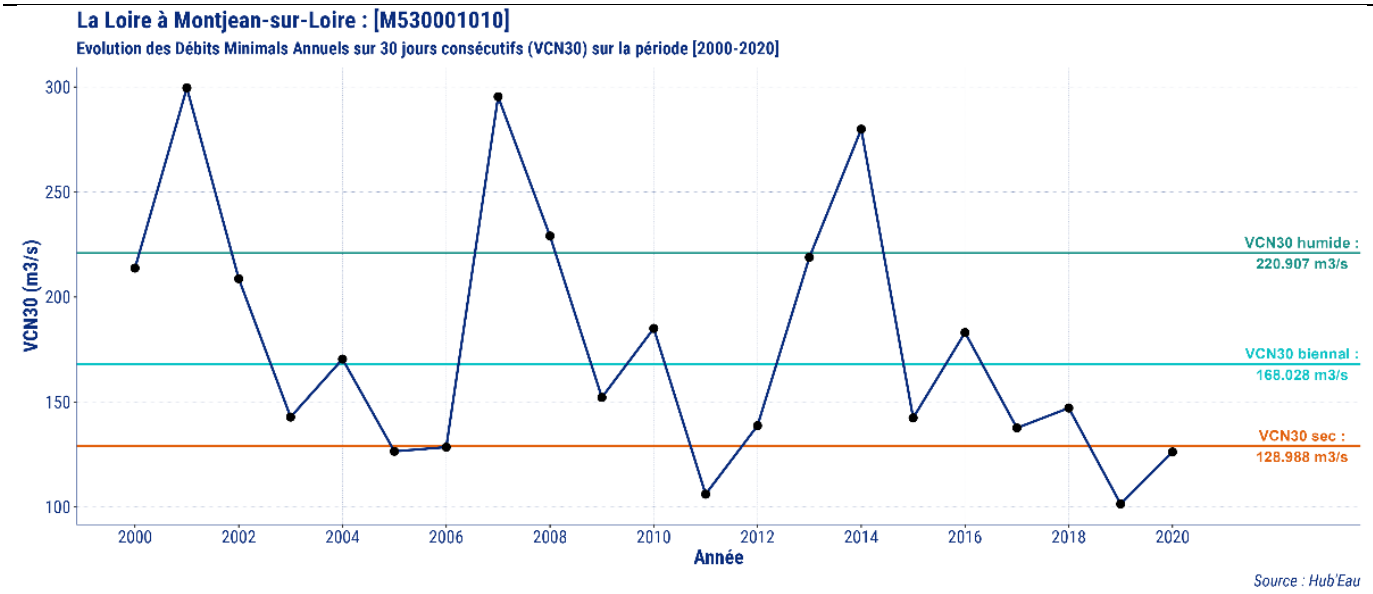


LE FALLERON A SAINT-ETIENNE-DE-MER-MORTE : [N011303010]

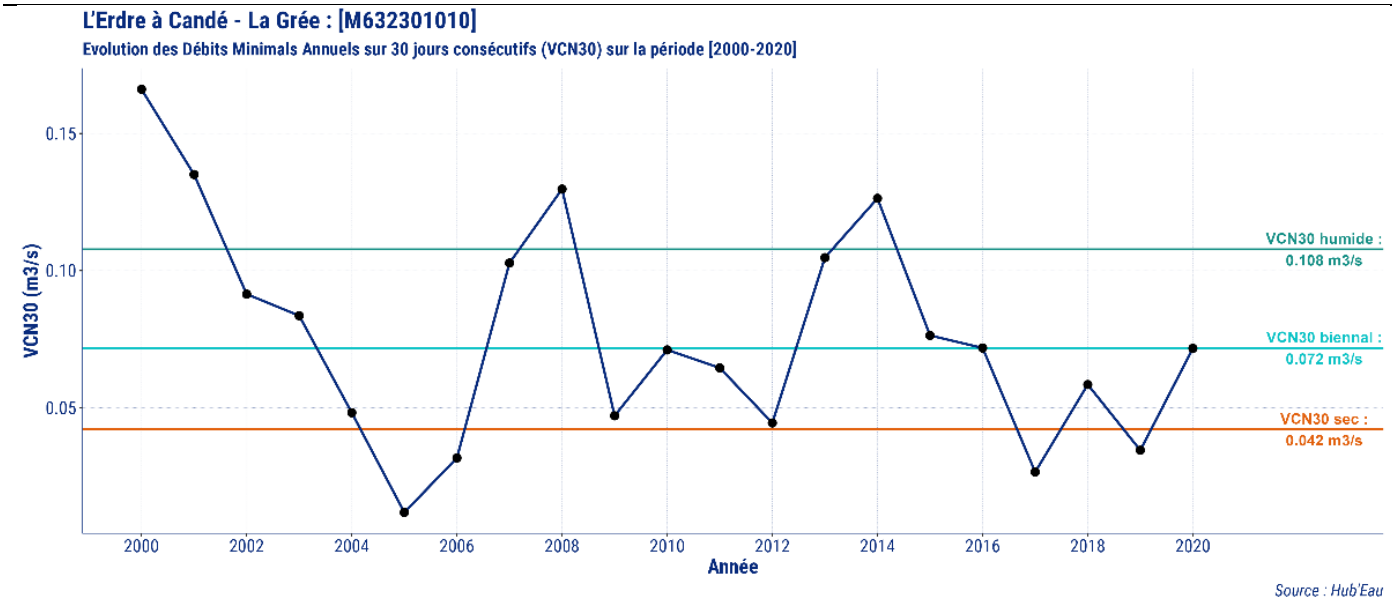


ANNEXE 7 : EVOLUTION DES VCN30 SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

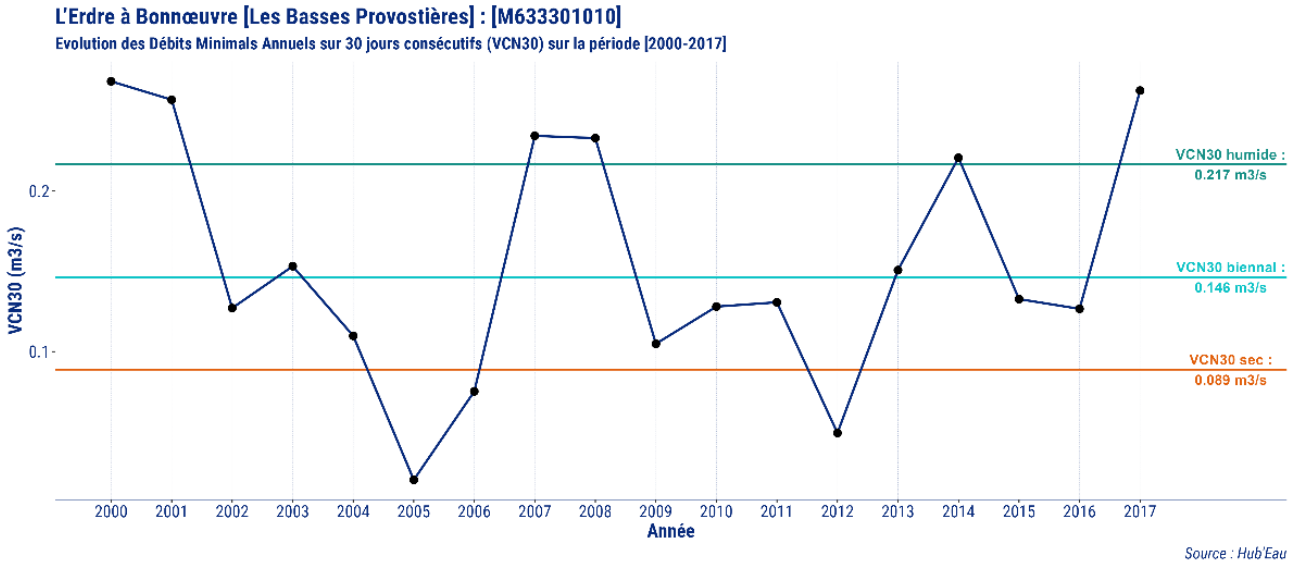
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



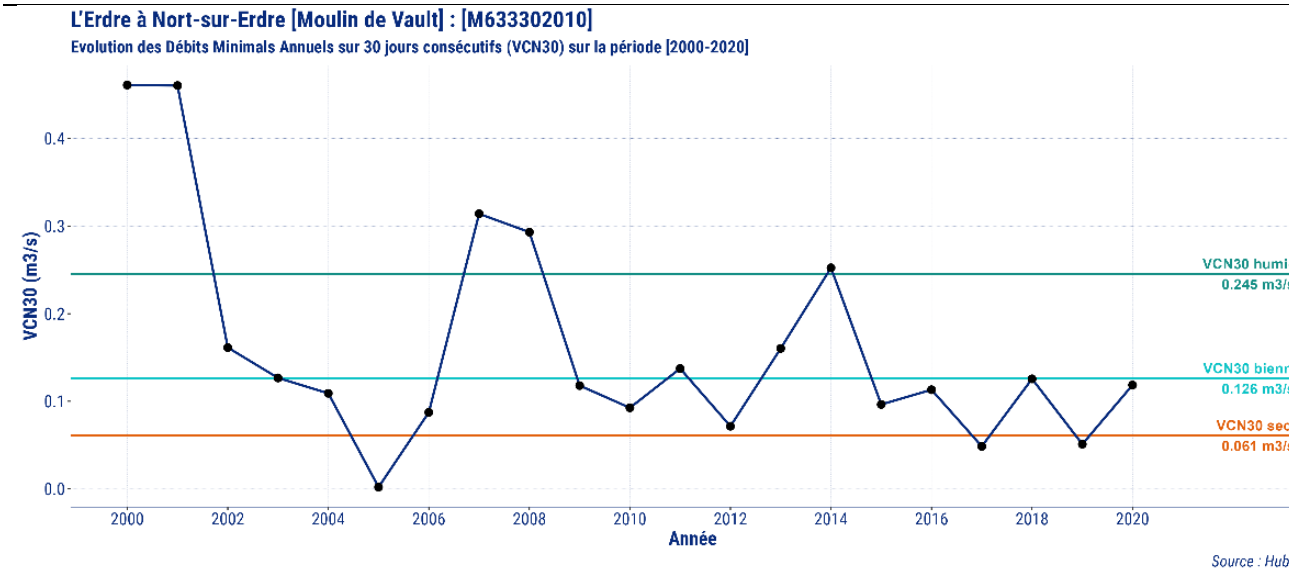
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



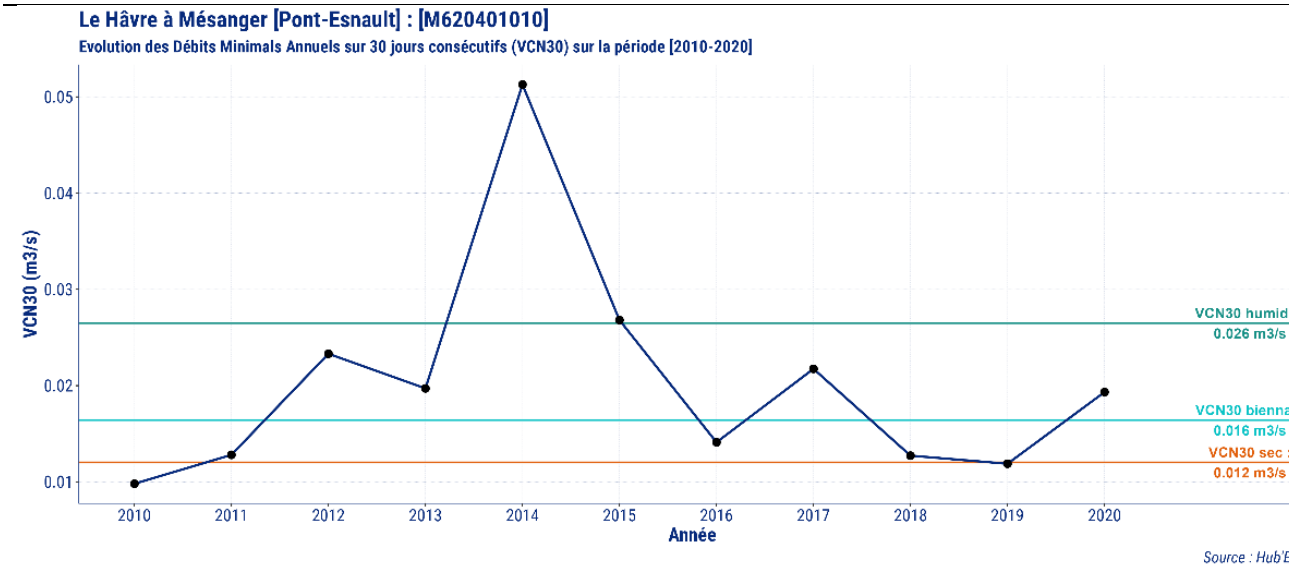
L'ERDRE A BONNOEUVRE [LES BASSES PROVOSTIERES] : [M633301010]



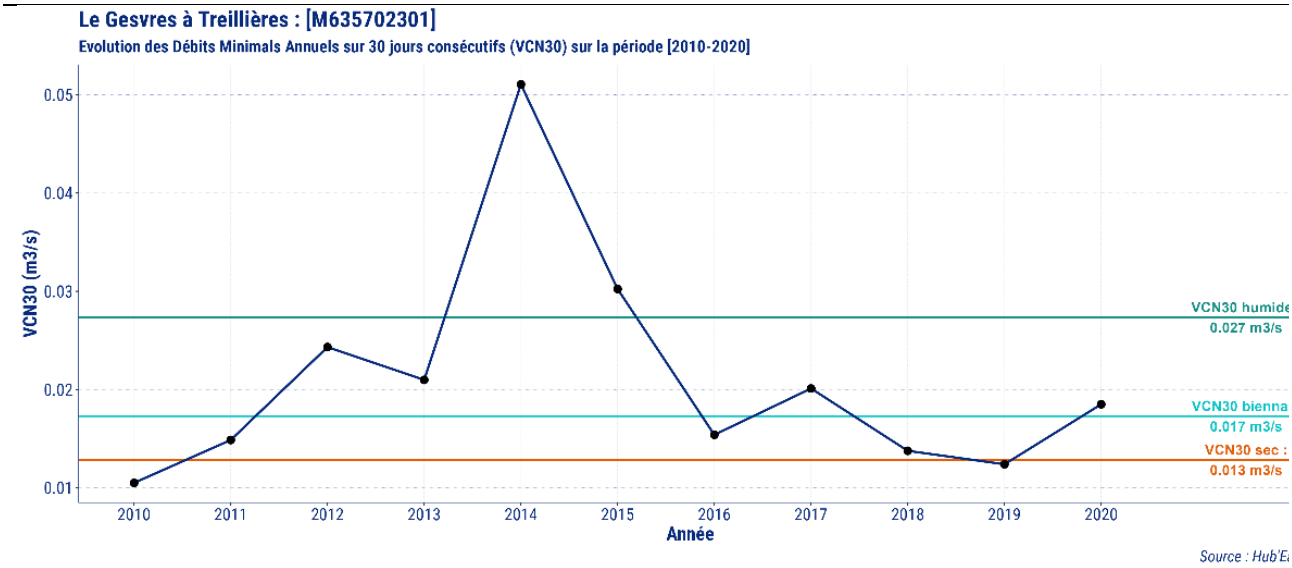
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



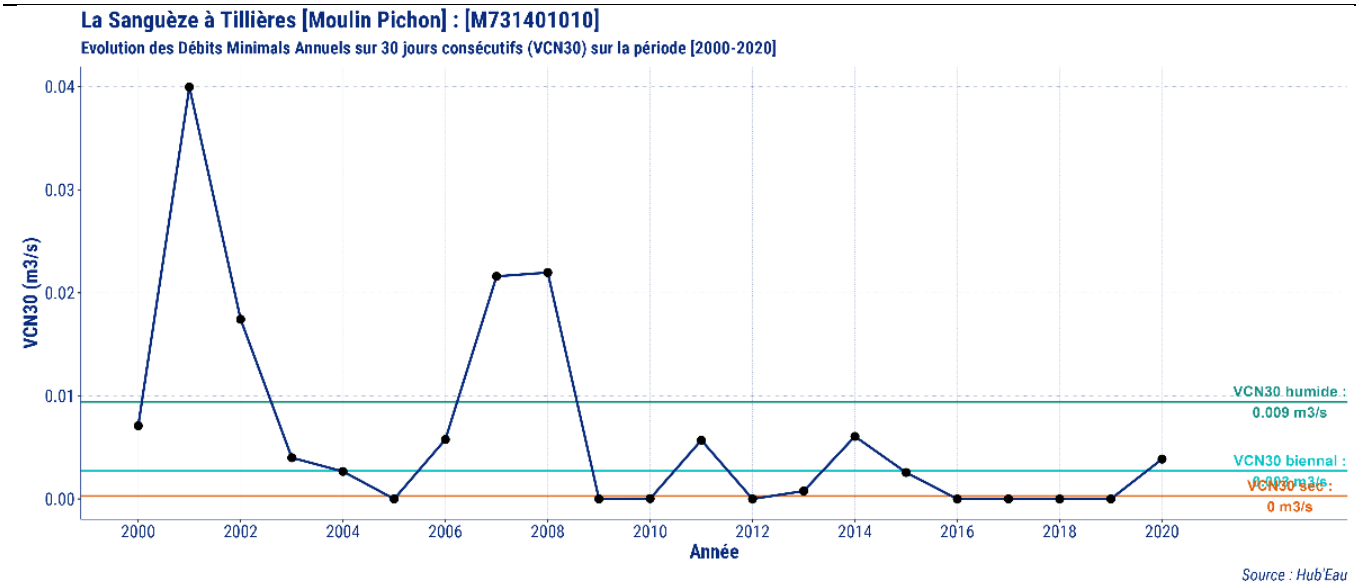
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



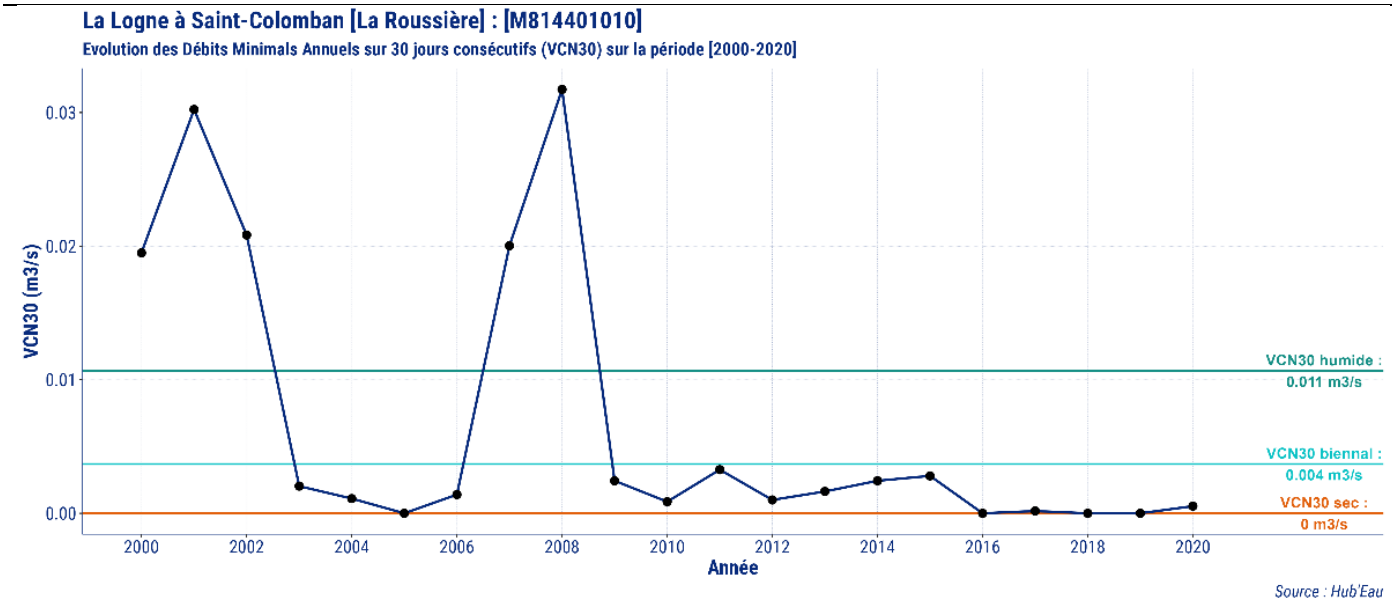
LE GESVRES A TREILLERES : [M635702301]



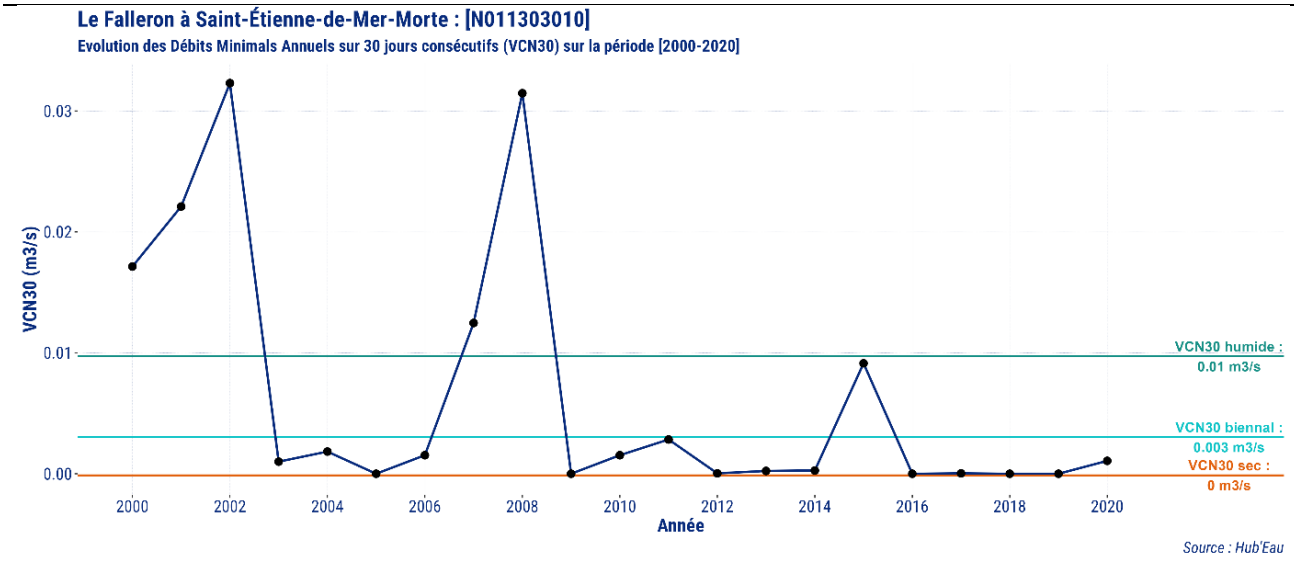
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]

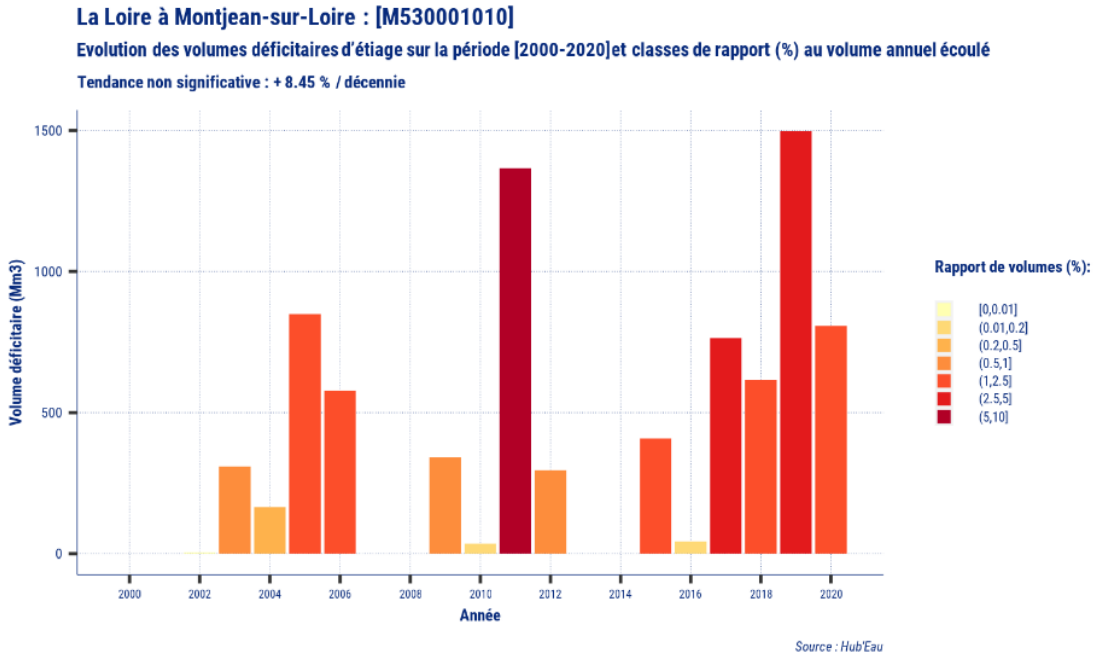


LE FALLERON A SAINT-ETIENNE-DE-MER-MORTE : [N011303010]

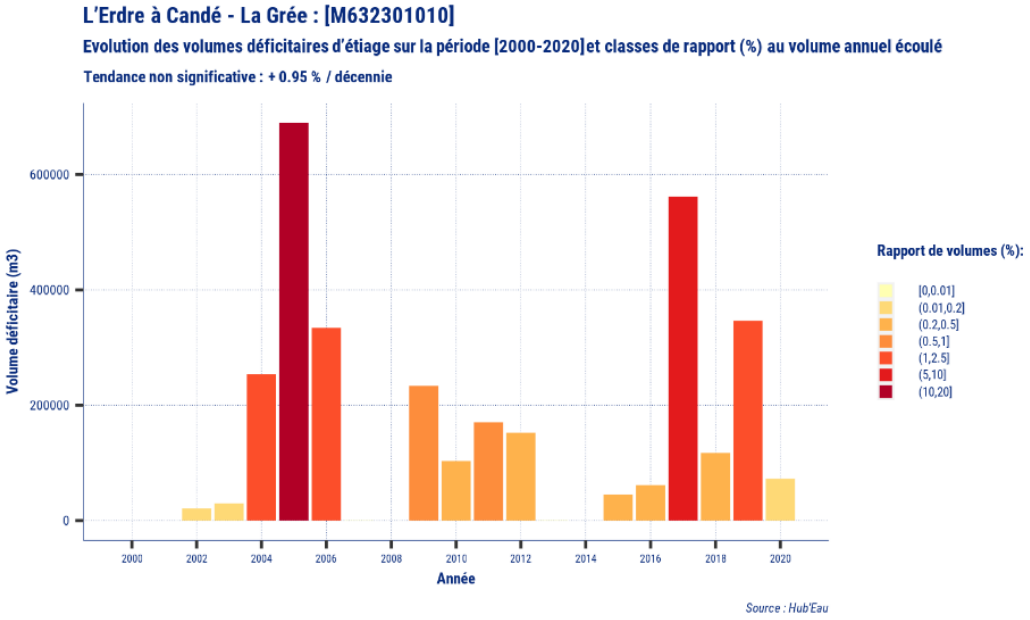


ANNEXE 8 : EVOLUTION DES VOLUMES DEFICITAIRES D'ETIAGE SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

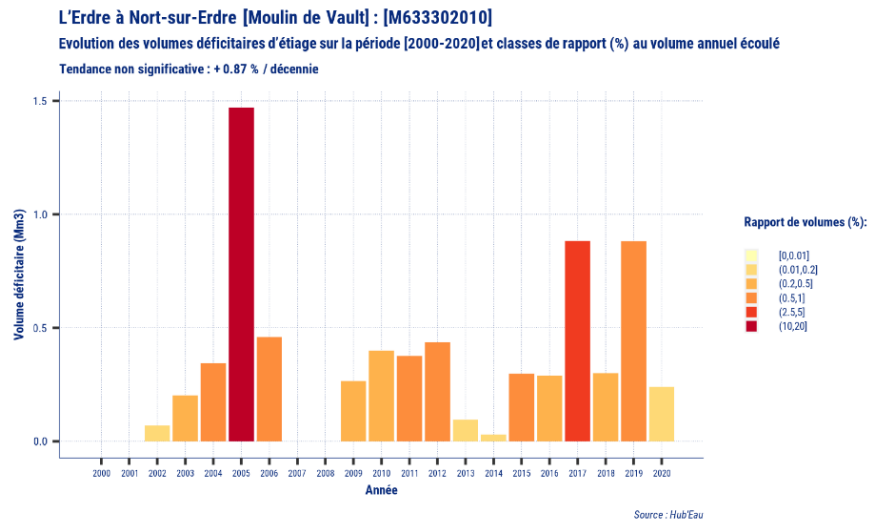
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



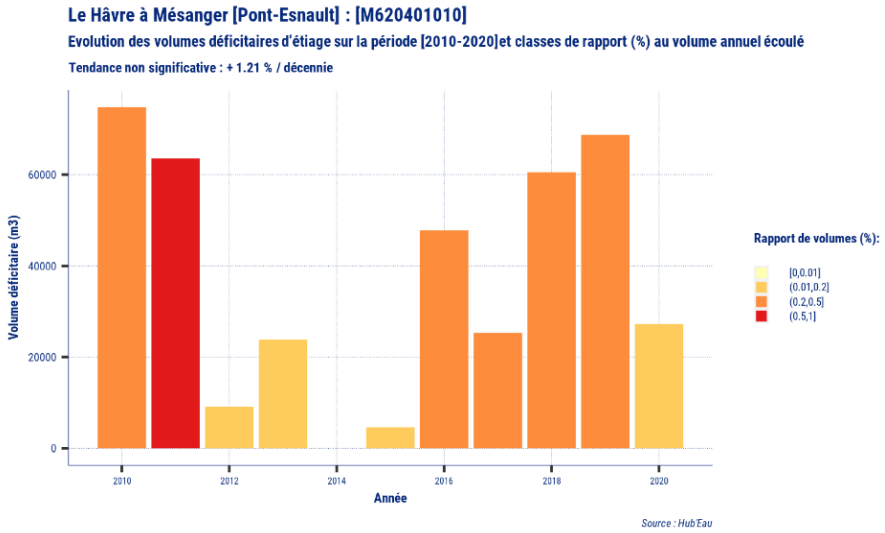
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



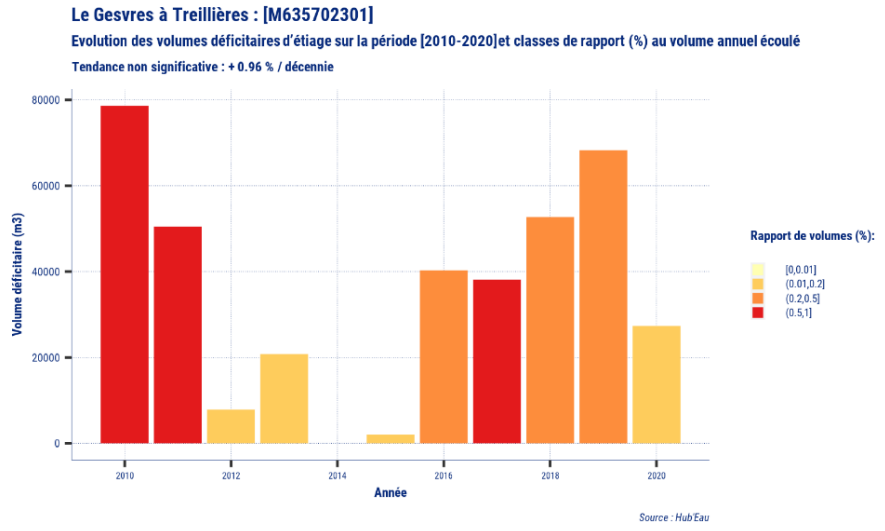
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



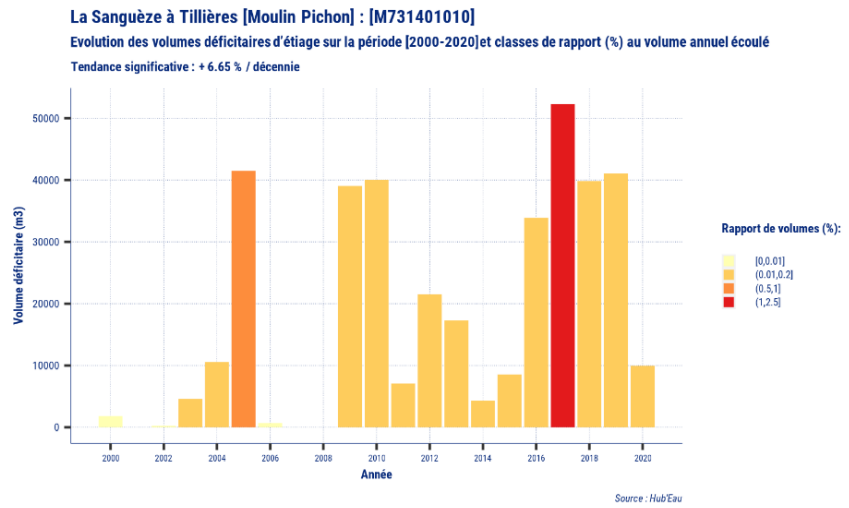
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



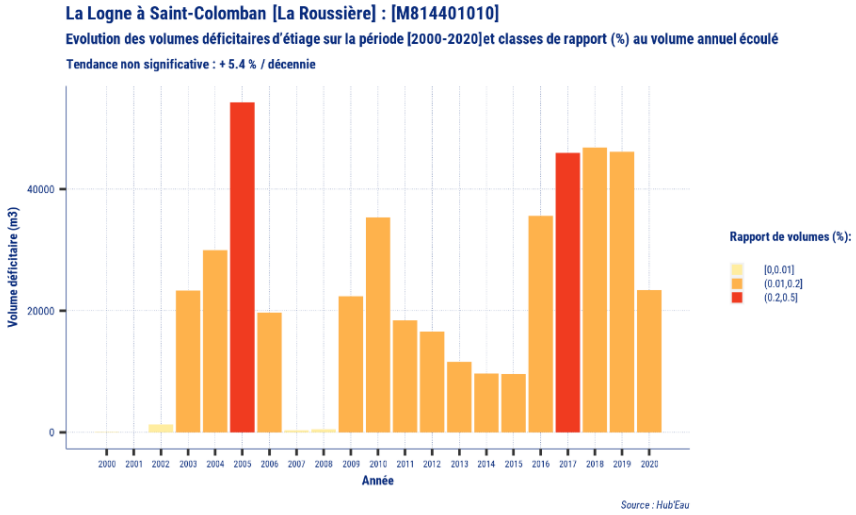
LE GESVRES A TREILLIERES : [M635702301]



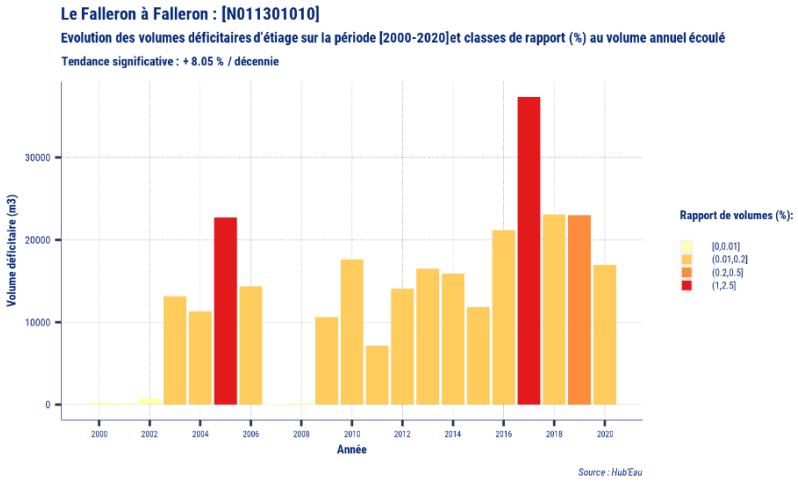
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]

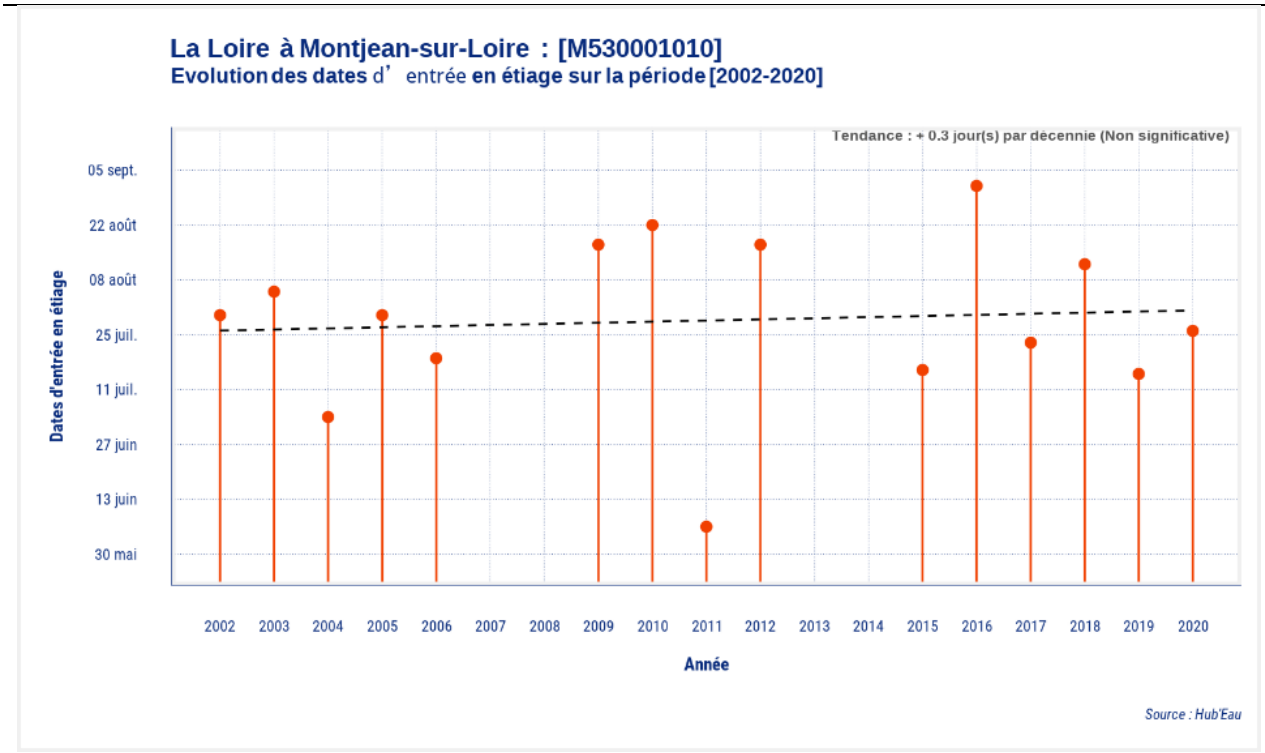


LE FALLERON A FALLERON : [N011303010]

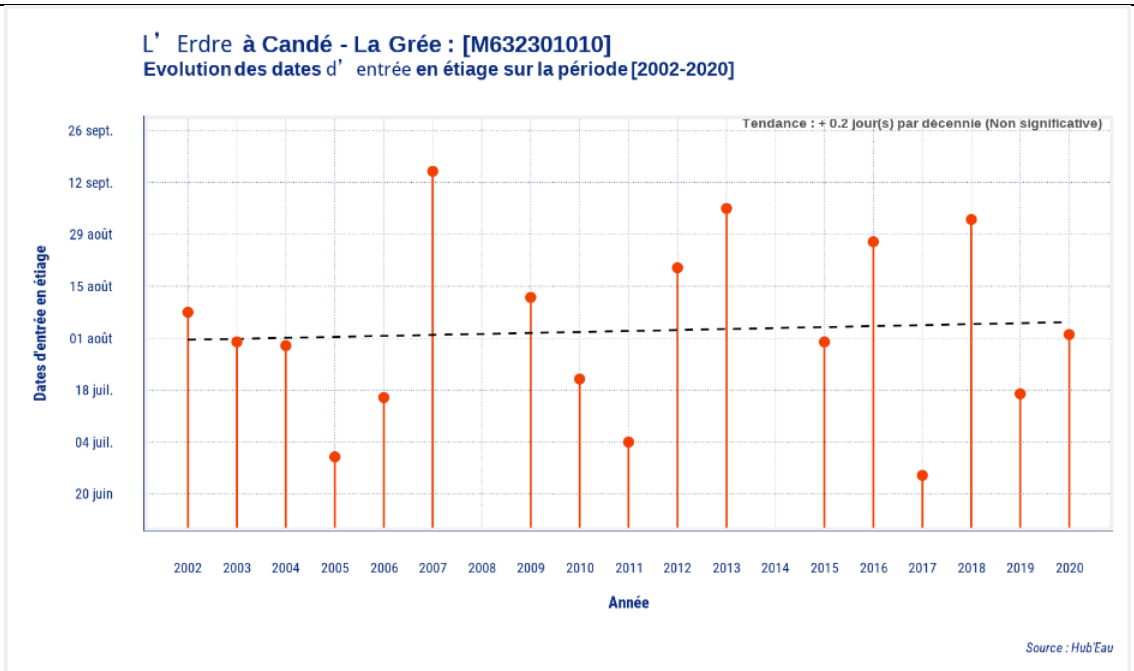


ANNEXE 9 : EVOLUTION DES DATES D'ENTREE EN ETIAGE SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

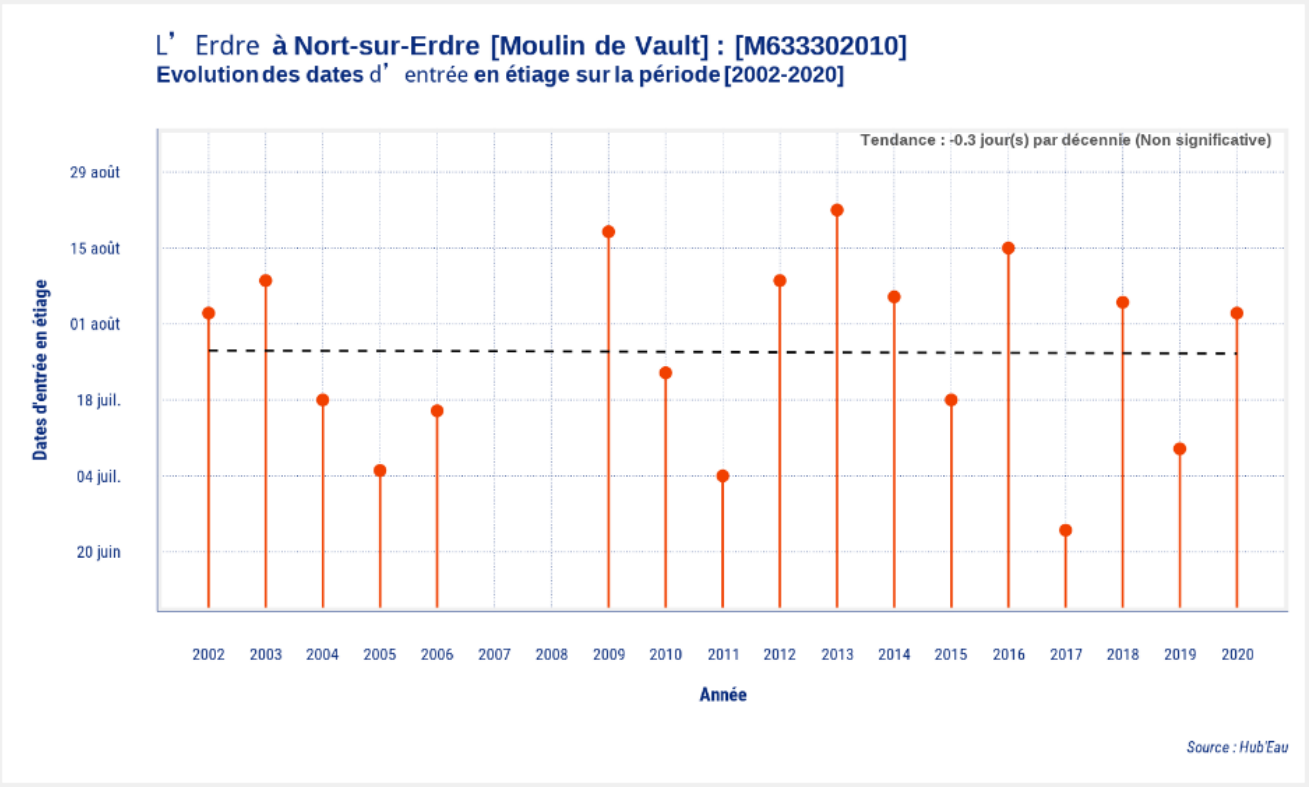
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



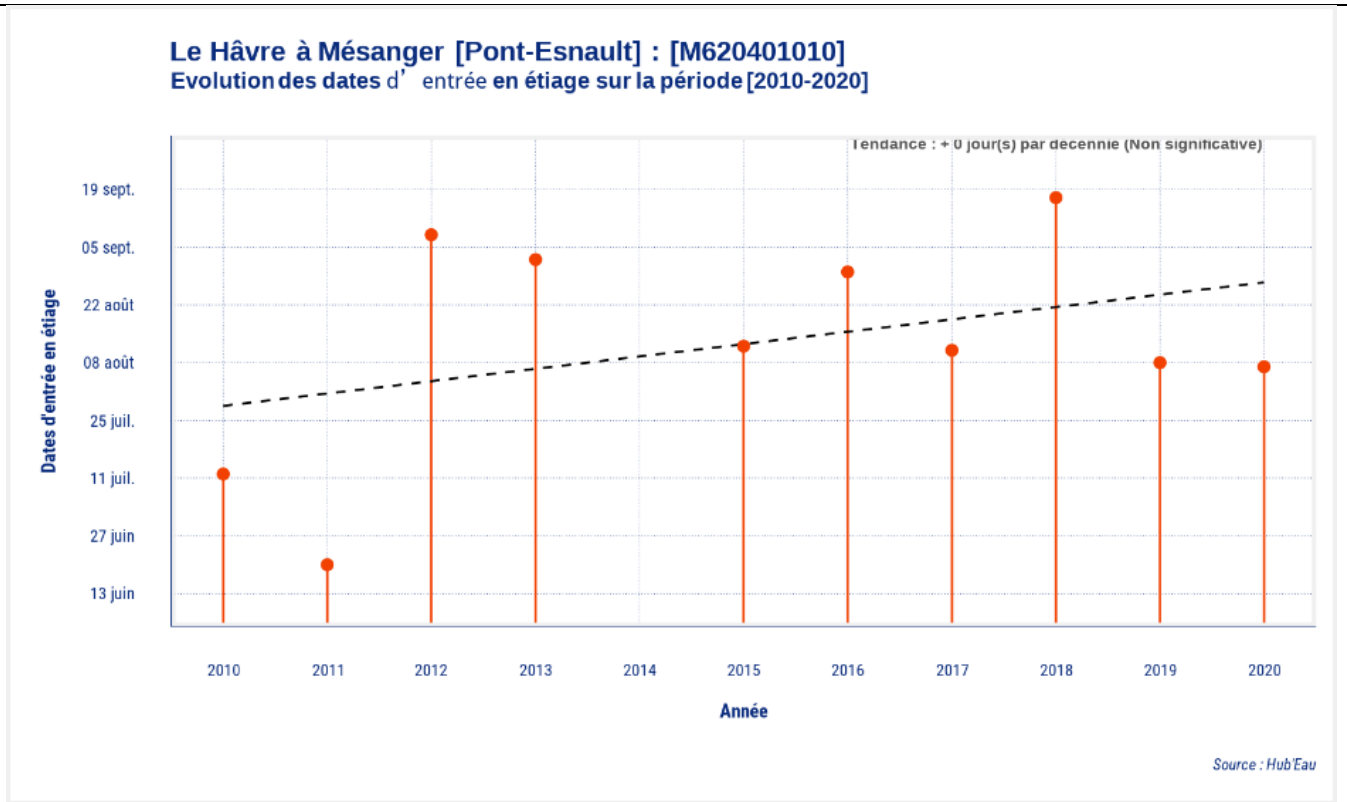
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



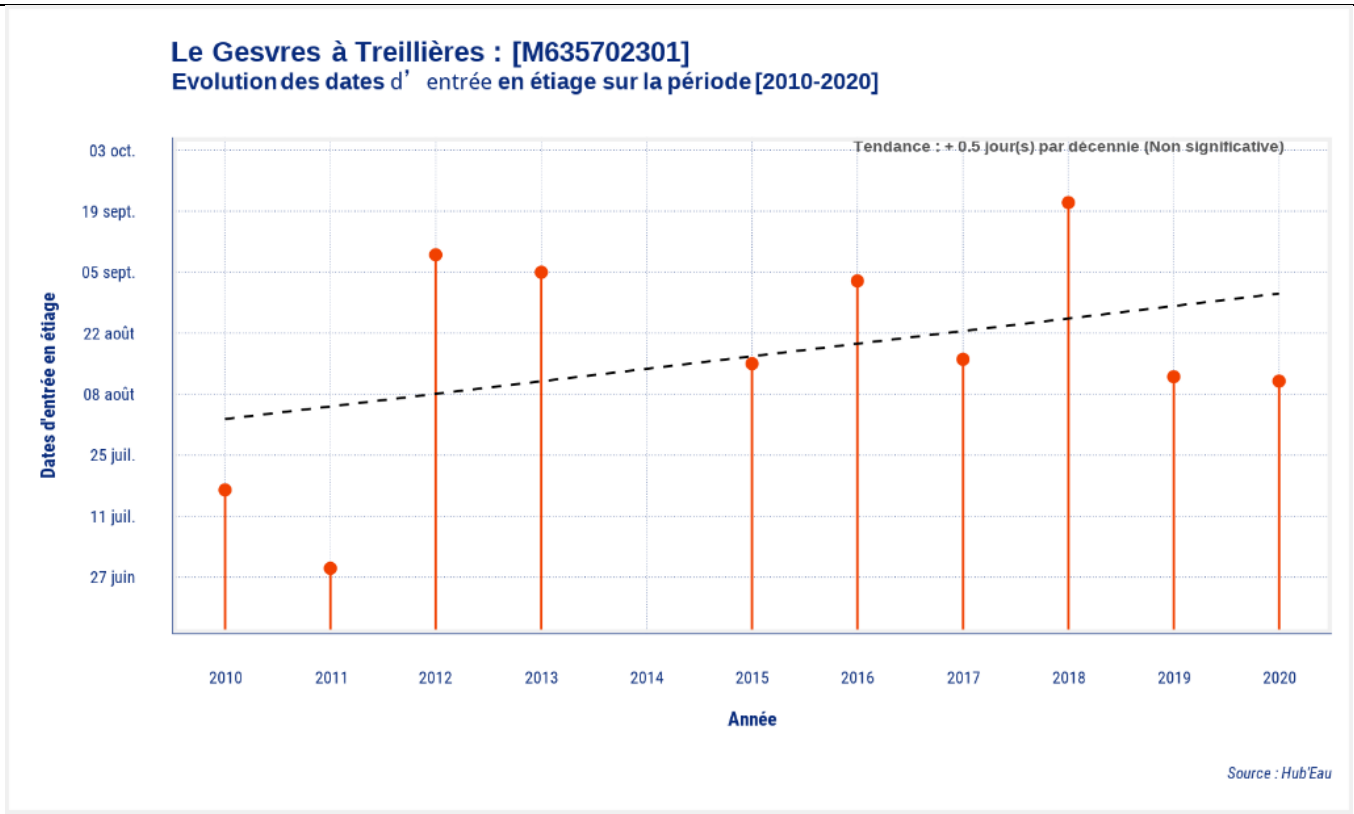
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



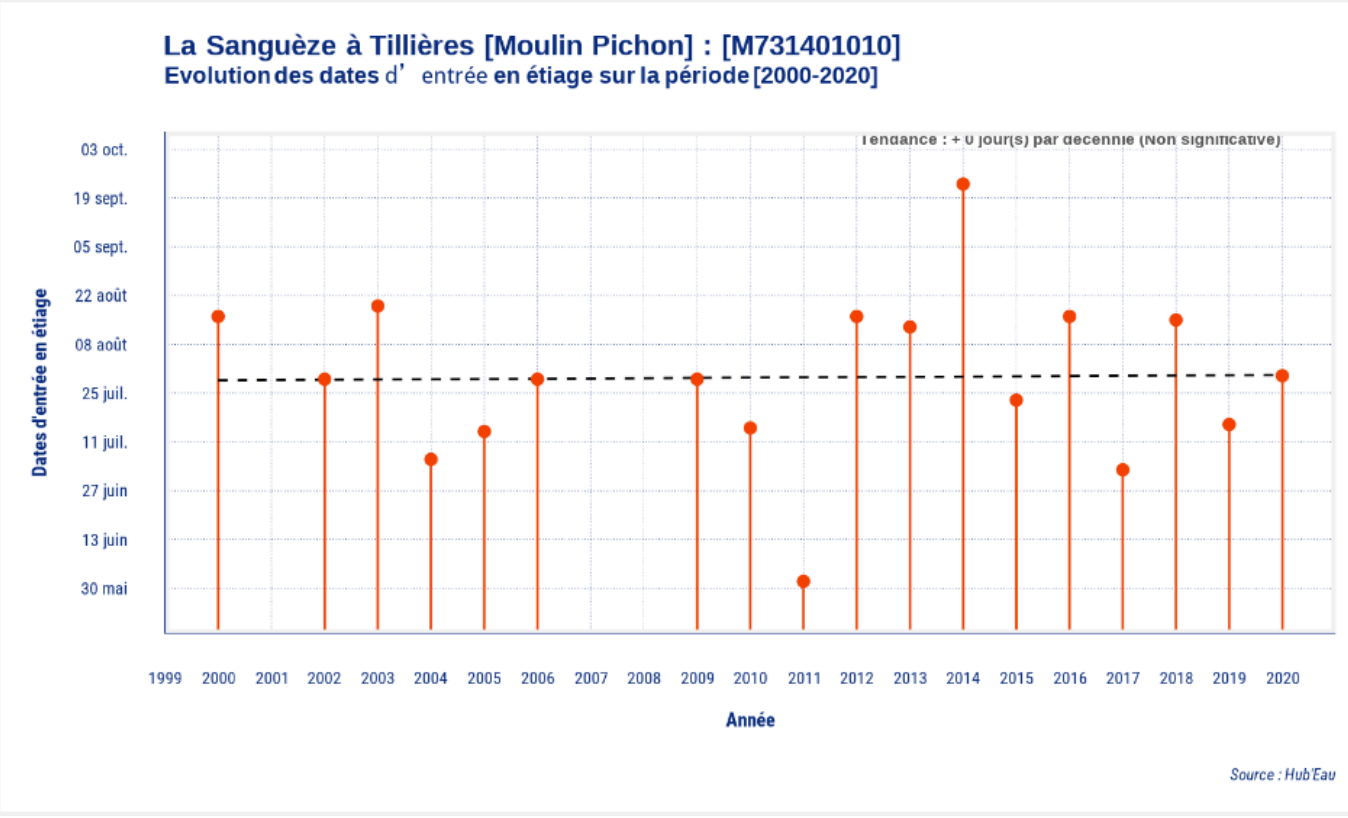
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



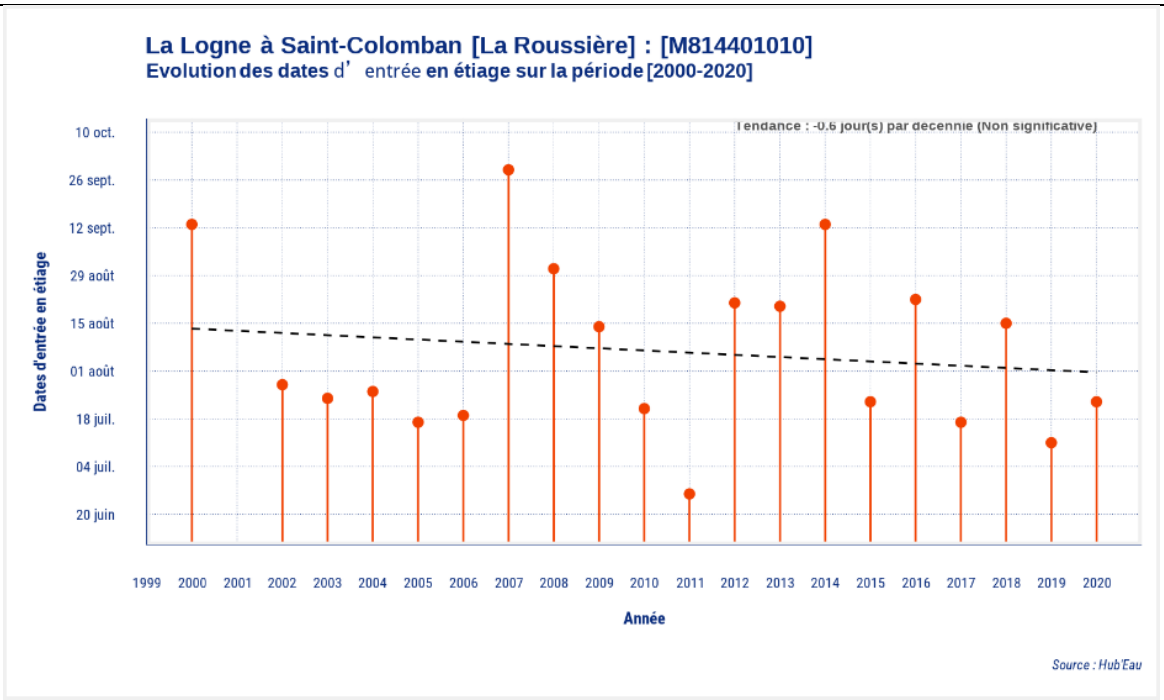
LE GESVRES A TREILLIERES : [M635702301]



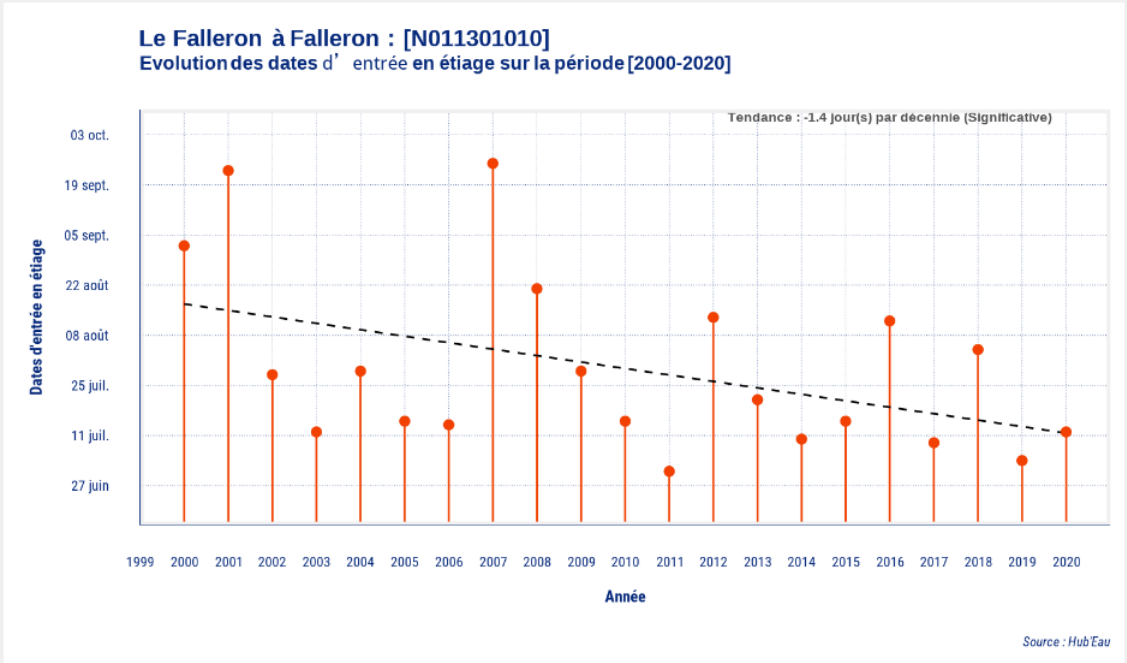
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]

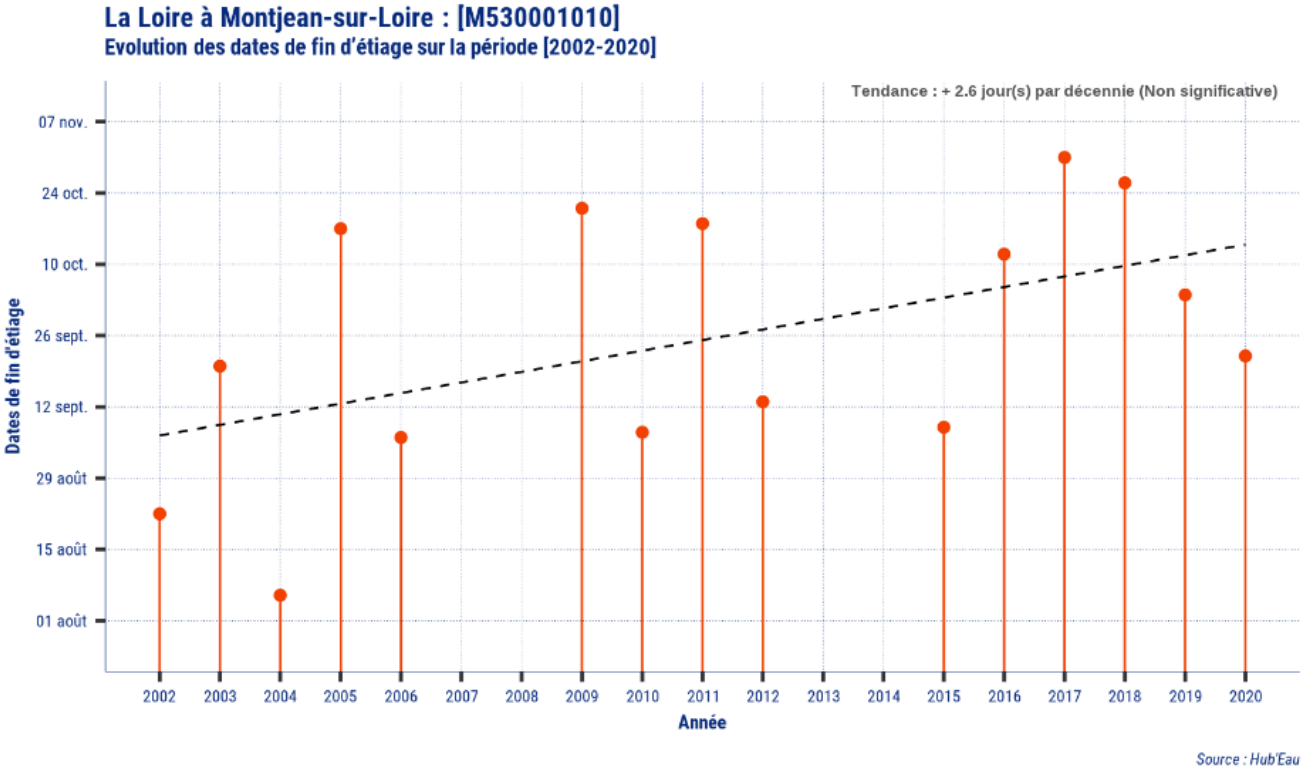


LE FALLERON A FALLERON : [N011303010]

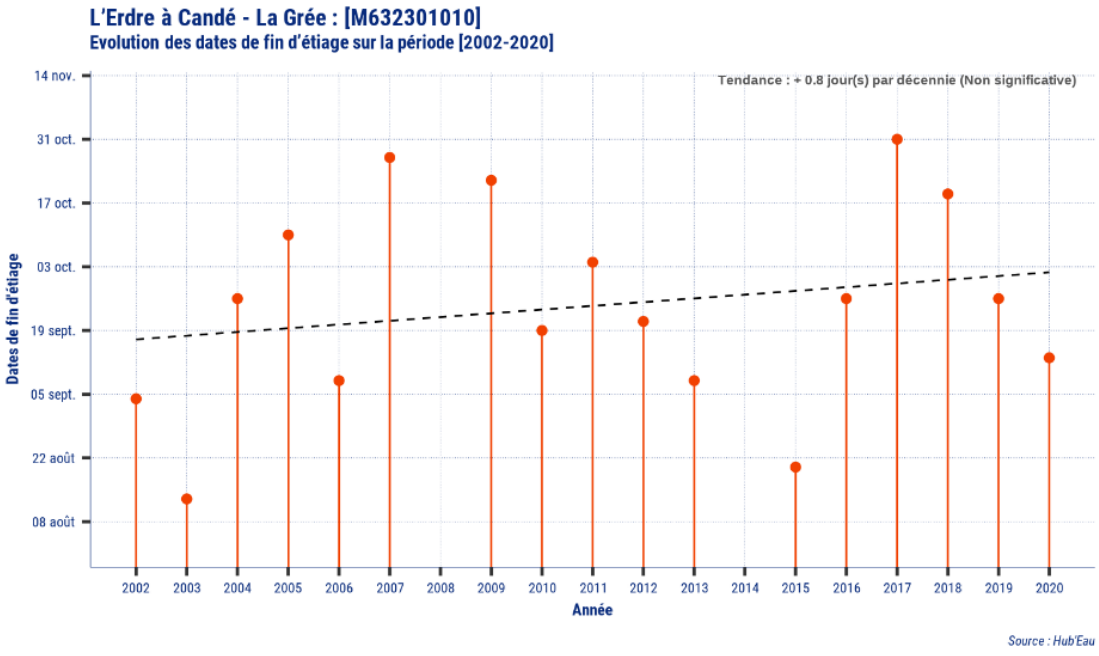


ANNEXE 10 : EVOLUTION DES DATES DE SORTIE D'ETIAGE SUR LES STATIONS HYDROMETRIQUES DU TERRITOIRE

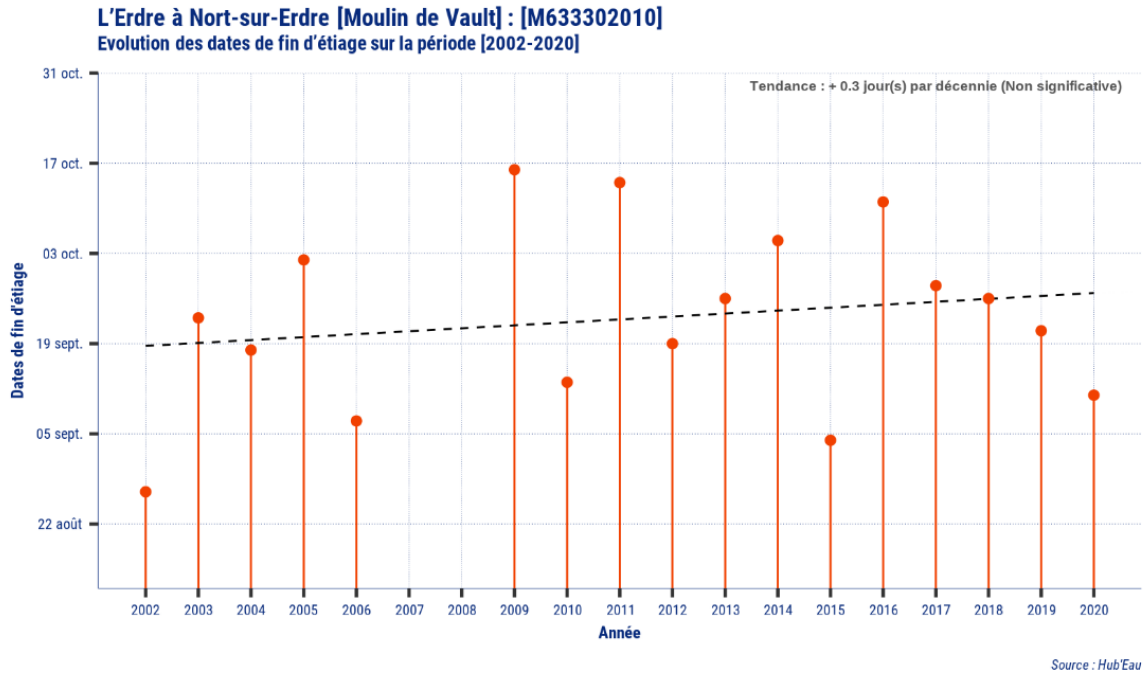
LA LOIRE A MONTJEAN-SUR-LOIRE : [M530001010]



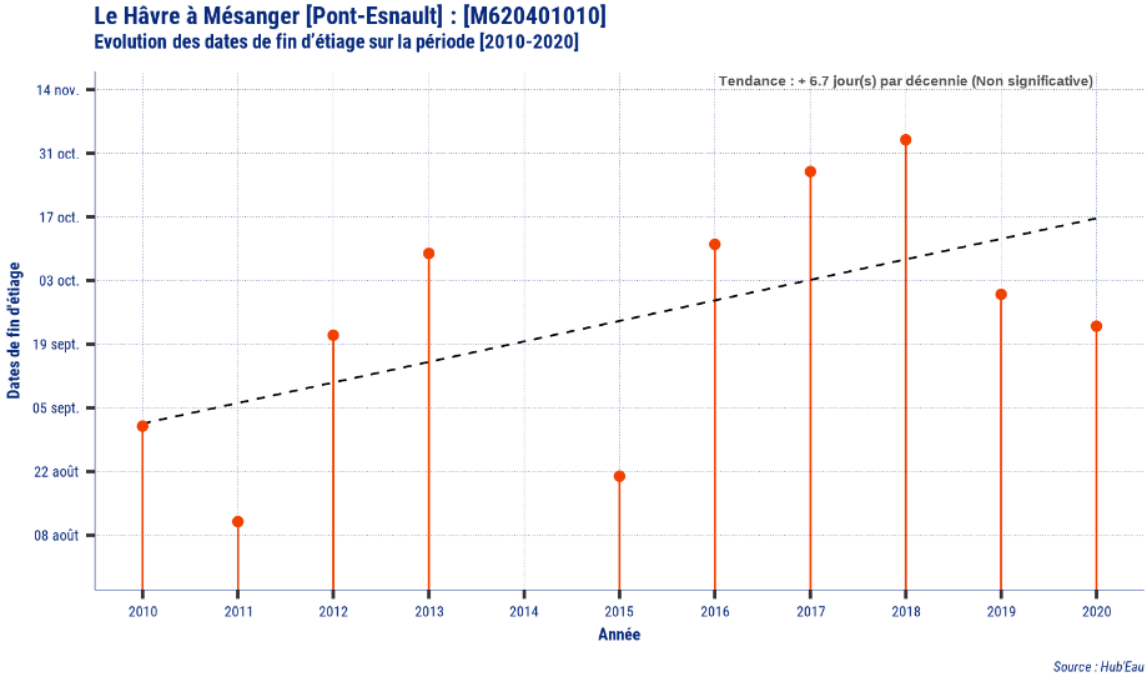
L'ERDRE A CANDE [LA GREE] : [M632301010]



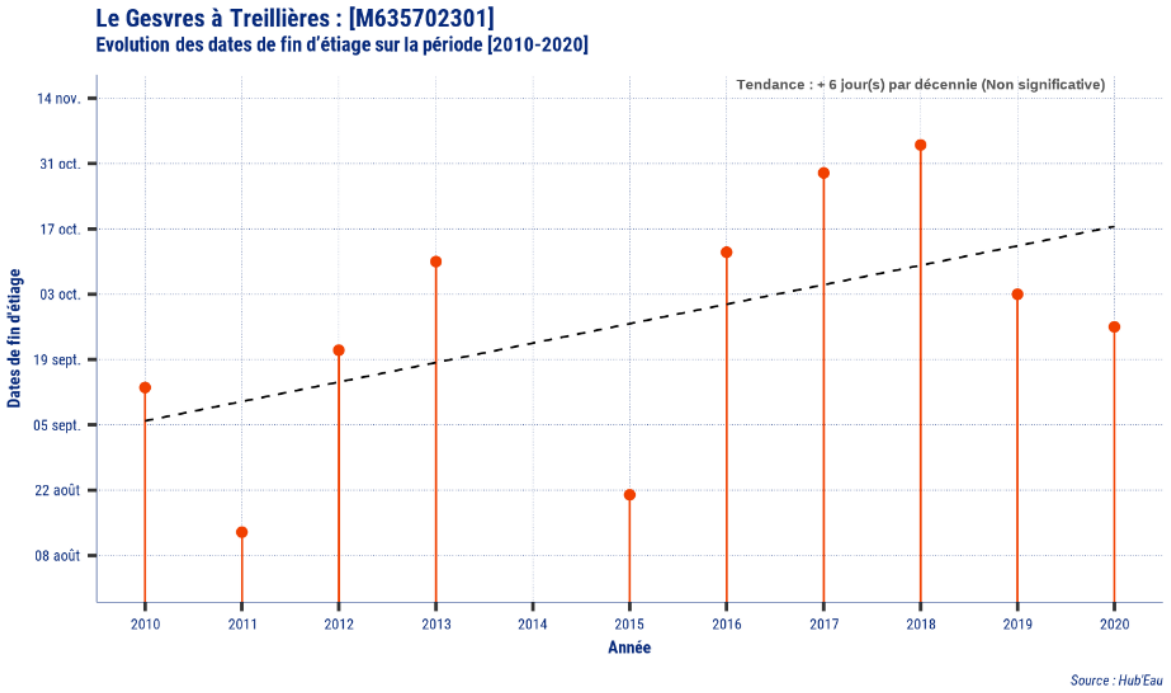
L'ERDRE A NORT-SUR-ERDRE [MOULIN DE VAULT] : [M633302010]



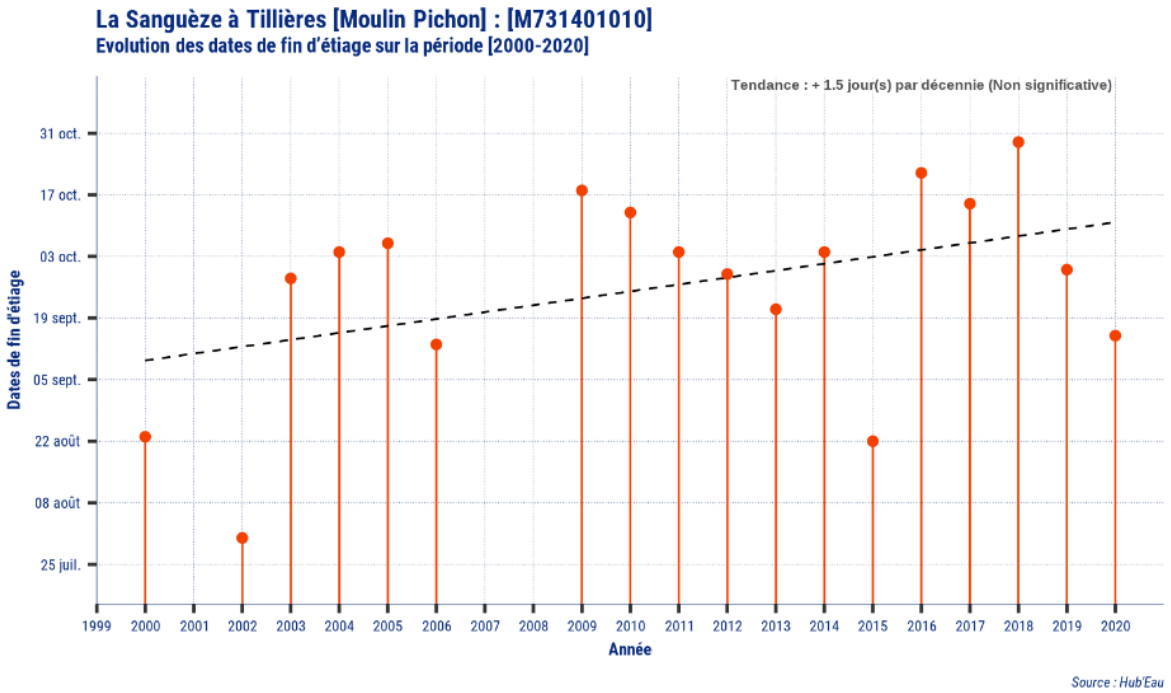
LE HAVRE A MESANGER [PONT-ESNAULT] : [M620401010]



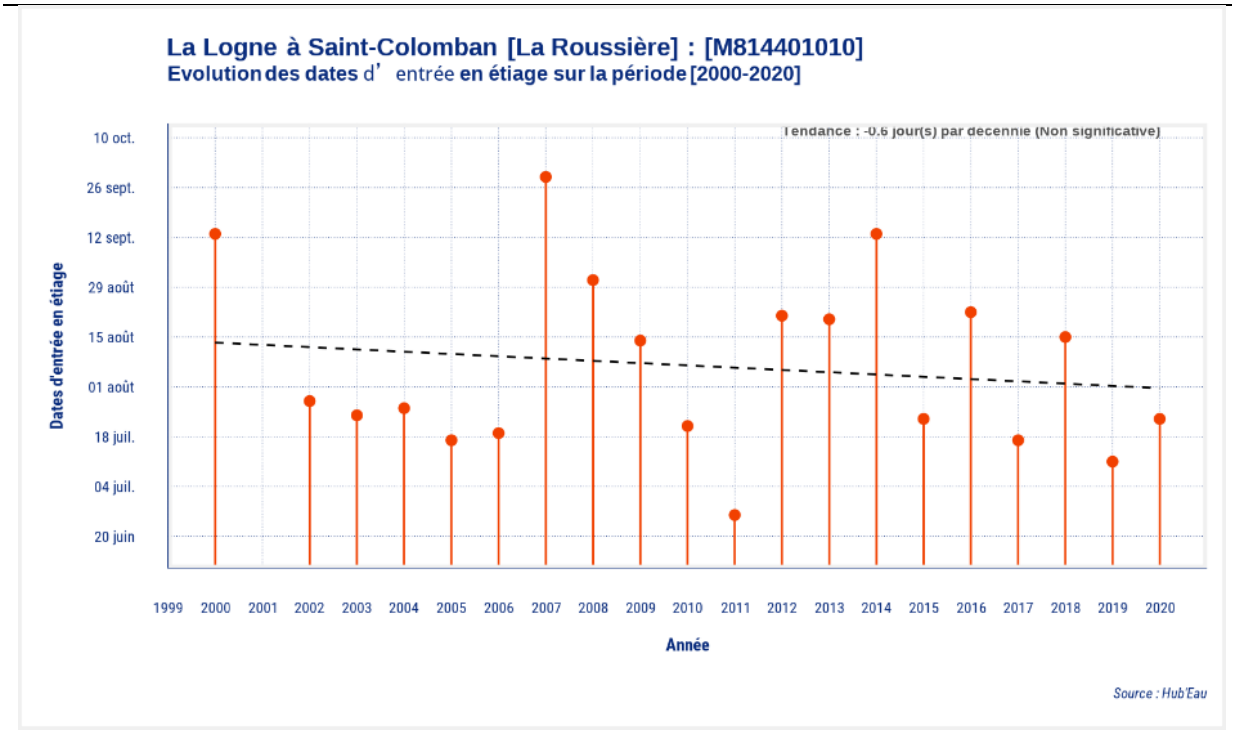
LE GESVRES A TREILLERES : [M635702301]



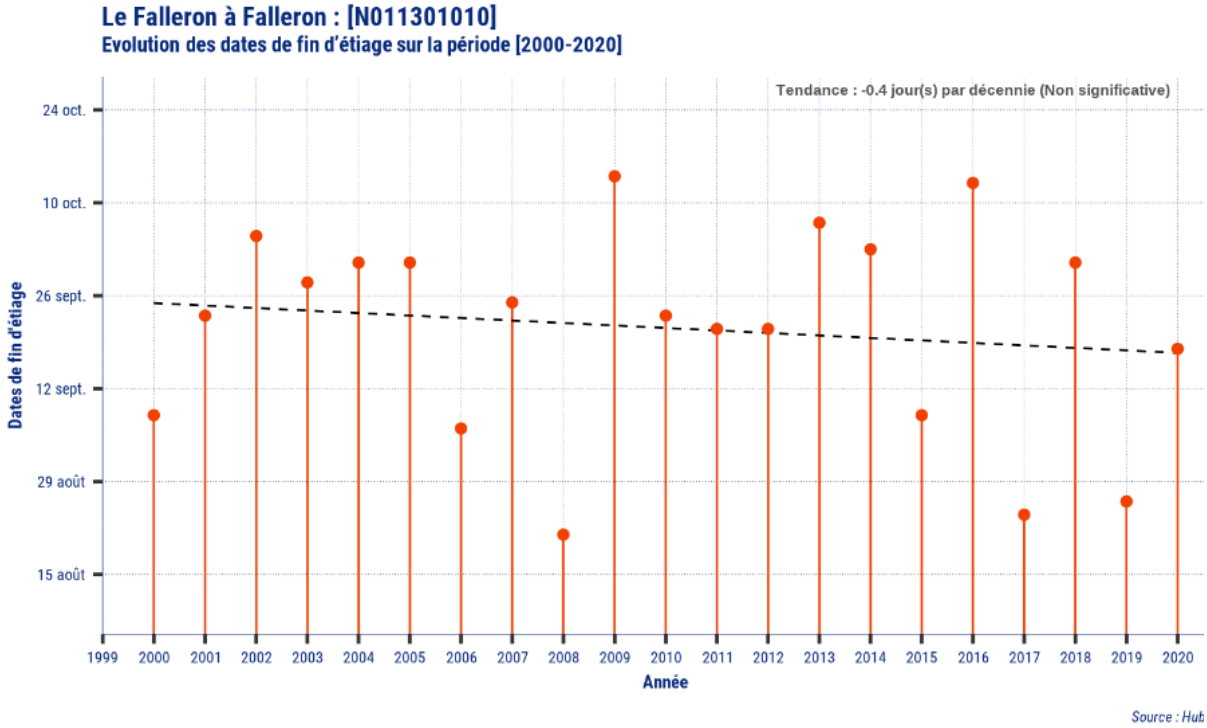
LA SANGUEZE A TILLIERES : [M731401010]



LA LOGNE A SAINT-COLOMBAN : [M814401010]



LE FALLERON A FALLERON : [N011303010]



ANNEXE 11 : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES CHRONIQUES MODÉLISÉES DE LA BASE LOIEAU

Les indicateurs statistiques d'étiages LoiEau

• Le Contexte

Dans le cadre de ses missions de recherche et d'appui aux politiques publiques, l'INRAE avec l'aide de financements de l'OFB a développé une méthode visant à caractériser **des indices statistiques d'étiage**, **de bilan et de saisonnalité** sur l'ensemble du réseau hydrographique métropolitain.
Les résultats obtenus sont mis à disposition dans une base de données informatique (**BD LoiEau**) sous la forme d'une interface WEB. Cette base propose une estimation des indices statistiques sur des territoires dépourvus d'information à destination des DREAL, sollicités par les services de Police de l'Eau pour la mise en application de la réglementation sur les débits réservés.

Références consultées
- Folton N. AMELIORATIONS DE LA CONNAISSANCE SPATIO- TEMPORELLE DE LA RESSOURCE EN EAU- Notice utilisateur de la Base de données LOIEAU : Méthode – Performances – Limite Version V1, Décembre 2018
-Folton N, Arnaud P. 2020. *Indicateurs sur la ressource en eau estimés par une modélisation pluie-débit régionalisée : la base de données Web LoiEau*. La Houille Blanche : 22–29
-Nathalie Folton, Patrick Arnaud. *Indicateurs sur la ressource en eau estimés par une modélisation pluie-débit régionalisée : la base de données Web LoiEau*. La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2020, pp.22-29. .10.1051/lhb/2020034.. .hal-03169645.

• La Méthode

Description des principaux éléments de construction	
Date de parution des résultats	2018
Données d'entrée nécessaires	Chroniques de Pluies et d'Evapotranspiration SAFRAN [1958—2004] Chroniques hydrologiques sur bassins « donneurs »
Période de référence [hydro]	690 bassins instrumentés sur la période 1970—2013
Stratégie de modélisation	Modèle Pluie –Débit GRLoieau2
Méthode de spatialisation	Transfert de paramètres / Régionalisation
Représentation des processus	Conceptuel
Représentation de l'espace	Global

• Les Résultats

Caractérisation des débits simulés	
Pas de temps	Journalier / Mensuel / **9 indicateurs statistiques**
Période simulée	1970—2020
Prise en compte de la robustesse	Codes de confiance vis-à-vis des principales contraintes de méthode
Prise en compte de l'incertitude	Quantifiée à 90 %
Nature des débits simulés	Débits pseudo-naturels
Référentiel hydrographique	Assimilé CARTHAGE (2017 ?)

ANNEXE 12 : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES CHRONIQUES MODÉLISÉES PAR LA MÉTHODE RCH

Chroniques hydrologiques reconstituées en contexte non jaugé

• Le Contexte

La reconstitution de chroniques hydrologiques journalières ponctuelles, au droit de **sites d'échantillonnage écologique et/ou de suivi de la qualité de l'eau** (Réseau RRP – BDMAP) est issue d'un travail de recherche de **l'INRAE** (2018) pour faciliter l'interprétation des suivis hydro-biologiques. En effet, ces débits reconstitués visent à fournir aux gestionnaires des ordres de grandeur concernant les débits journaliers et leur variabilité au cours des jours (et des années) qui ont précédé la mesure de qualité de l'eau ou du milieu.

Références consultées
- Pierre BRIGODE, Vazken ANDRÉASSIAN, François BOURGIN, Florent LOBLIGEOIS et Damien LILAS Irstea - UR HBAN – Antony. *Reconstitution de 57 années de débits sur plus de 10 000 points non-jaugés en France par régionalisation d'un modèle pluie-débit*. Rapport final – Janvier 2018

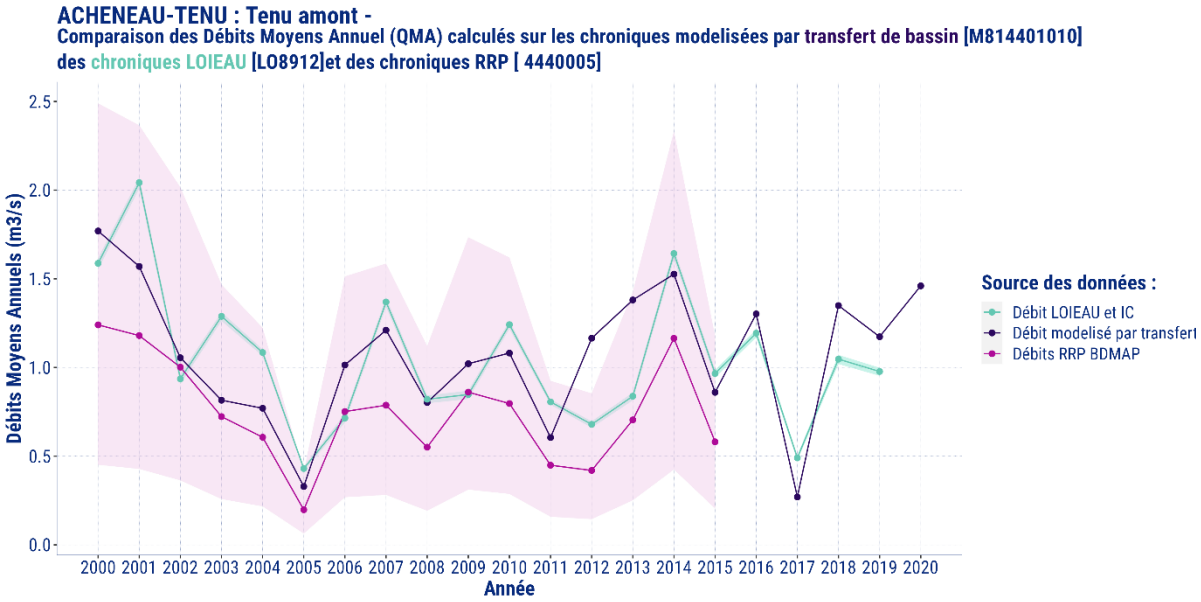
• La Méthode

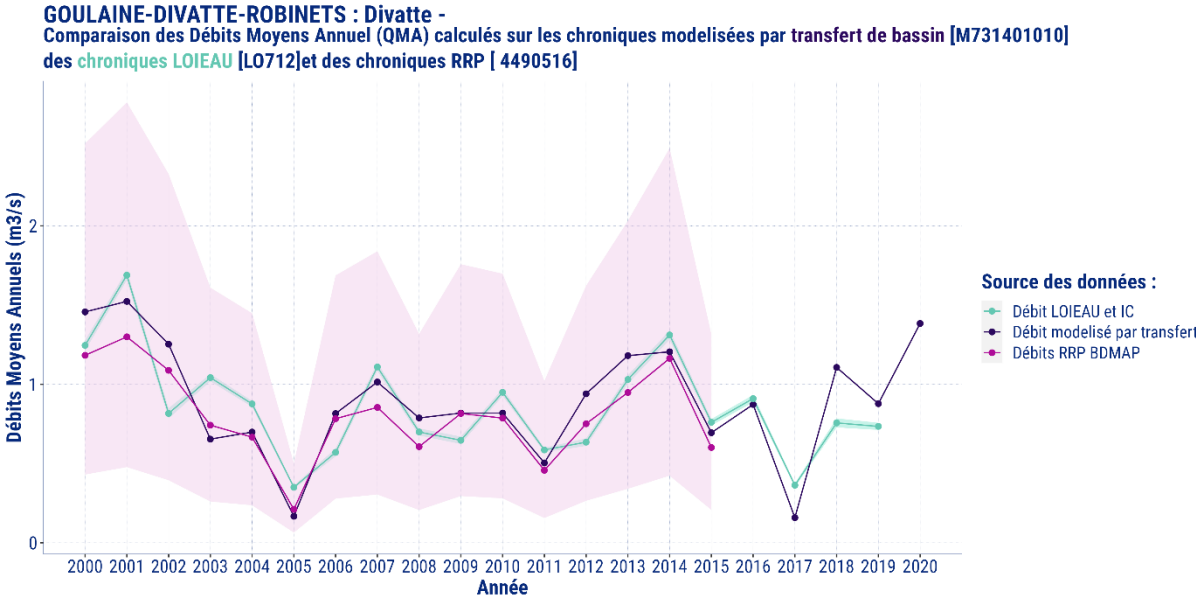
Description des principaux éléments de construction	
Date de parution des résultats	2018
Données d'entrée nécessaires	Chroniques de Pluies et d'Evapotranspiration Chroniques hydrologiques sur bassins « donneurs »
Période de référence [hydro]	2007 bassins intrumentés sur au moins 6 années
Stratégie de modélisation	Modèle Pluie –Débit GR4J
Méthode de spatialisation	Transfert de paramètres
Représentation des processus	Conceptuel
Représentation de l'espace	Global

• Les Résultats

Caractérisation des débits simulés	
Pas de temps	Journalier
Période simulée	01/08/1958—31/07/2016
Prise en compte de la robustesse	Non
Prise en compte de l'incertitude	Quantifiée à 90 %
Nature des débits simulés	Débits pseudo-naturels
Référentiel hydrographique	Stations RRP / BD Map

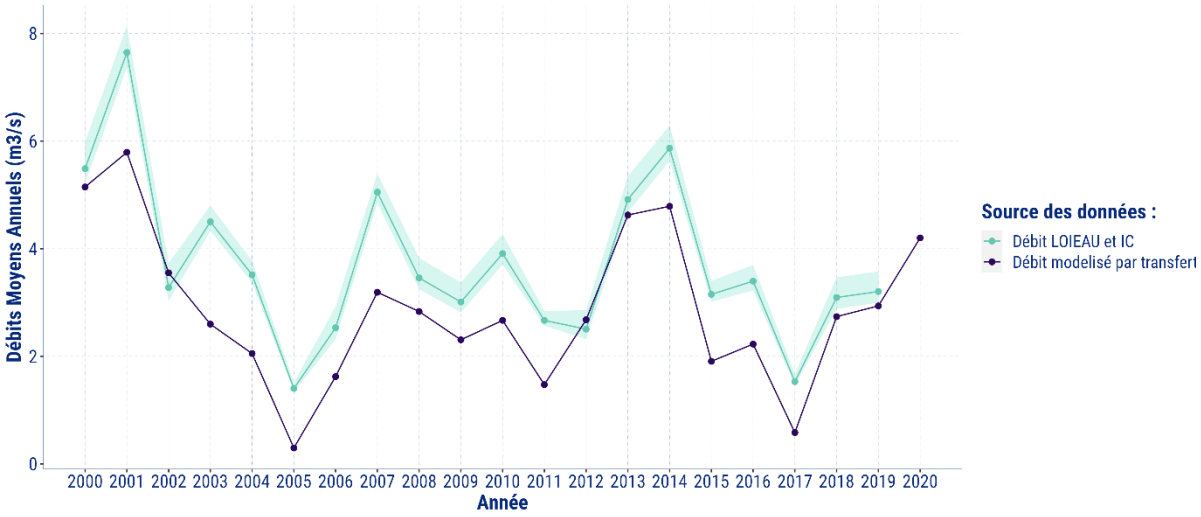
ANNEXE 13 : GRAPHIQUES DE COMPARAISON DES DEBITS MOYENS ANNUELS (QMA) RECONSTITUES PAR TRANSFERT DE BASSIN ET MODELISES (LOIEAU, RCH)





ERDRE : Erdre amont -Erdre amont

Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M63330 et les chroniques LOIEAU [LO4952]

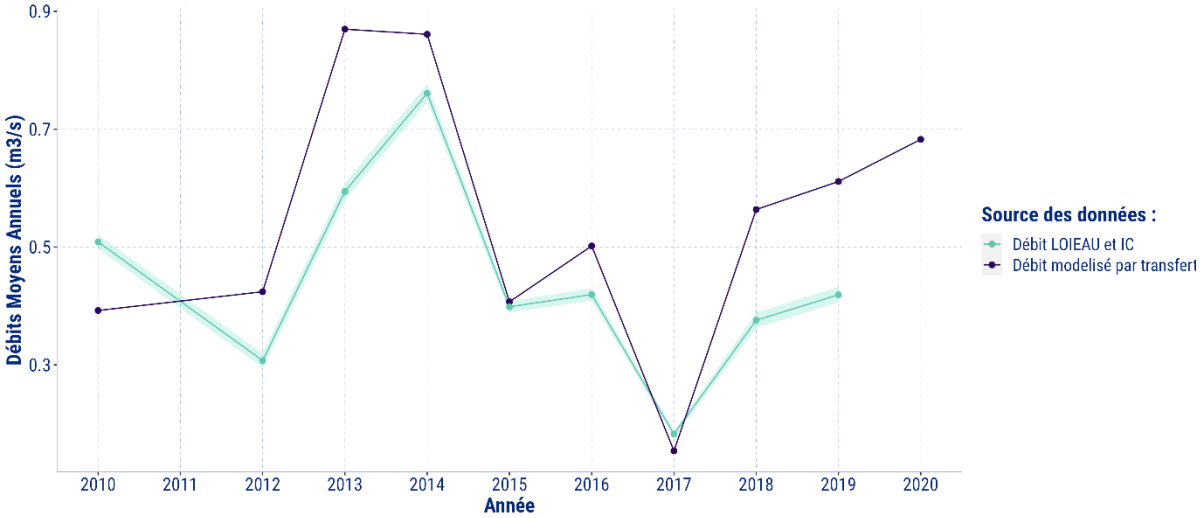


ERDRE : Erdre amont -Montagné

Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M6204 et les chroniques LOIEAU [LO4956]

ERDRE : Erdre aval -Hocmard

Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M6357 et les chroniques LOIEAU [LO4971]

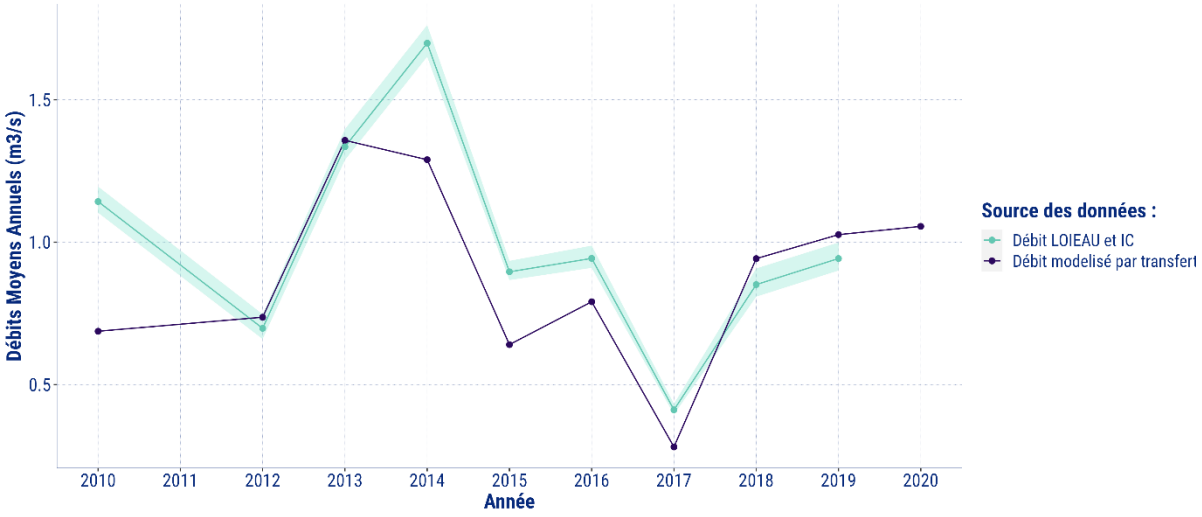


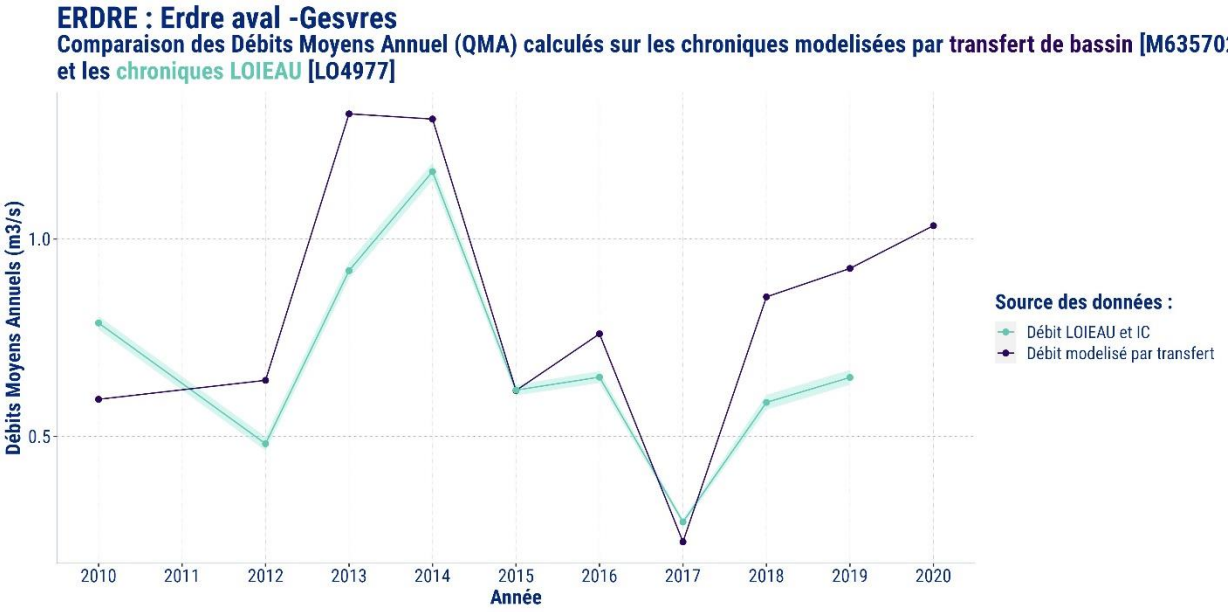
HÂVRE-GRÉE : Hâvre -

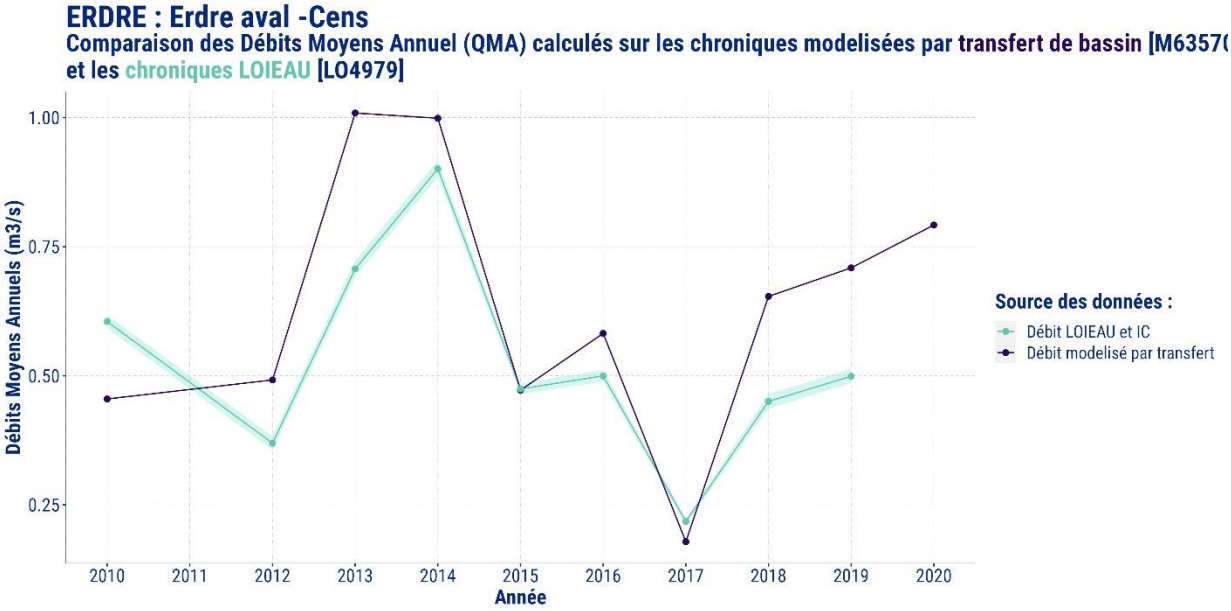
Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M62040 et les chroniques LOIEAU [LO708]

HÂVRE-GRÉE : Grée -

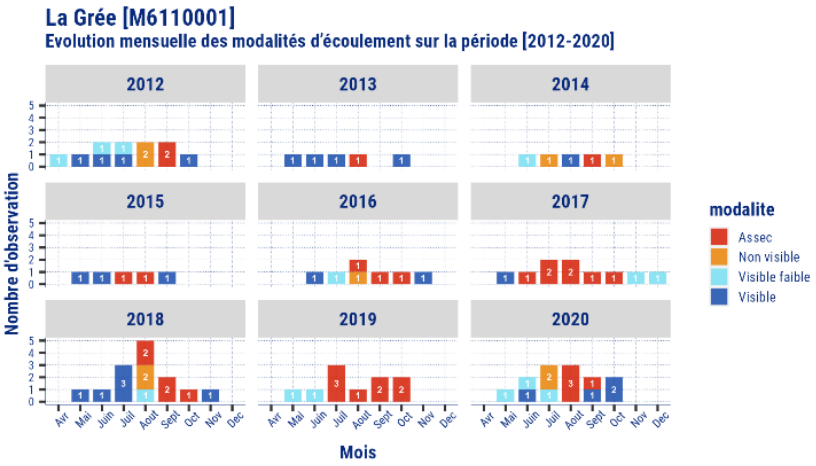
Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M6204 et les chroniques LOIEAU [LO11873]



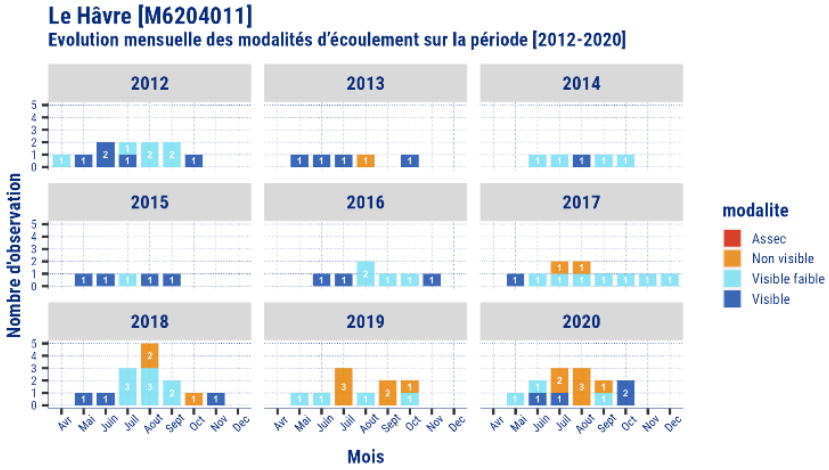

ERDRE : Erdre aval -Gesvres
Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M63570
et les chroniques LOIEAU [LO4977]
Débits Moyens Annuels (m3/s)
1.0
0.5
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Année
Source des données :
Débit LOIEAU et IC
Débit modelisé par transfert


ERDRE : Erdre aval -Cens
Comparaison des Débits Moyens Annuel (QMA) calculés sur les chroniques modelisées par transfert de bassin [M6357(
et les chroniques LOIEAU [LO4979]
Débits Moyens Annuels (m3/s)
1.00
0.75
0.50
0.25
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Année
Source des données :
Débit LOIEAU et IC
Débit modelisé par transfert

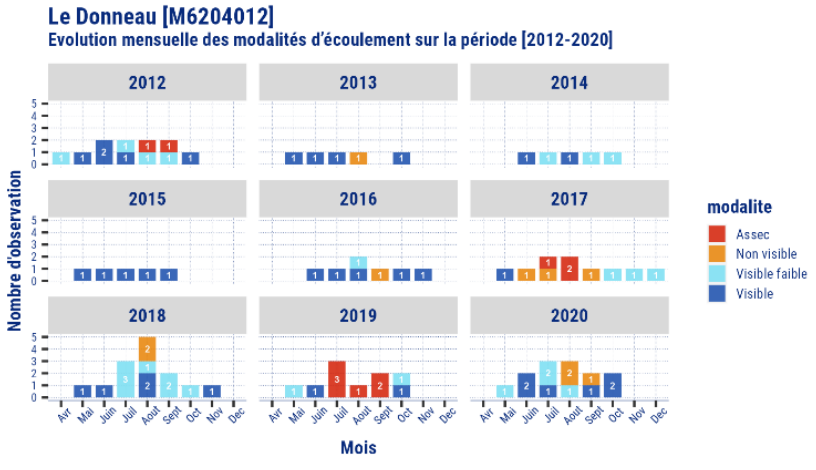
ANNEXE 14 : EVOLUTION DES MODALITES D'ECOULEMENT DU RESEAU ONDE AU PAS DE TEMPS MENSUEL



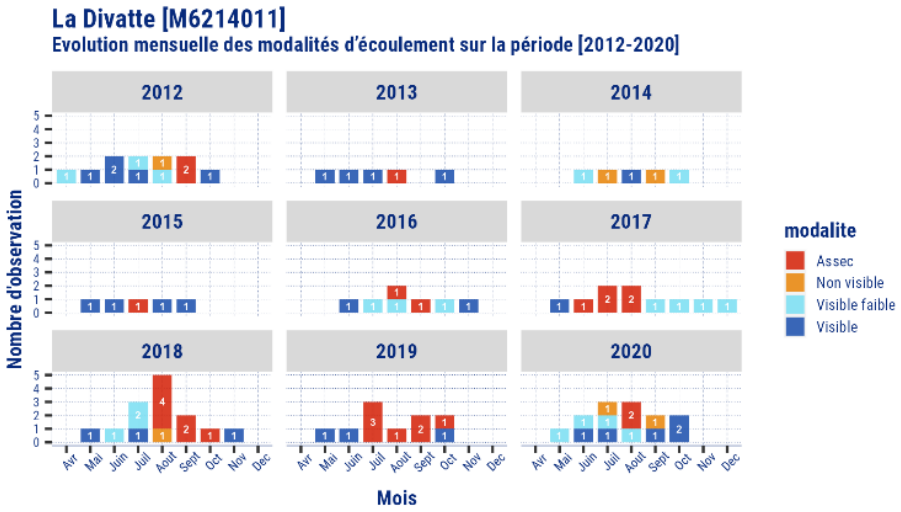
Source : EauFrance, ONDE



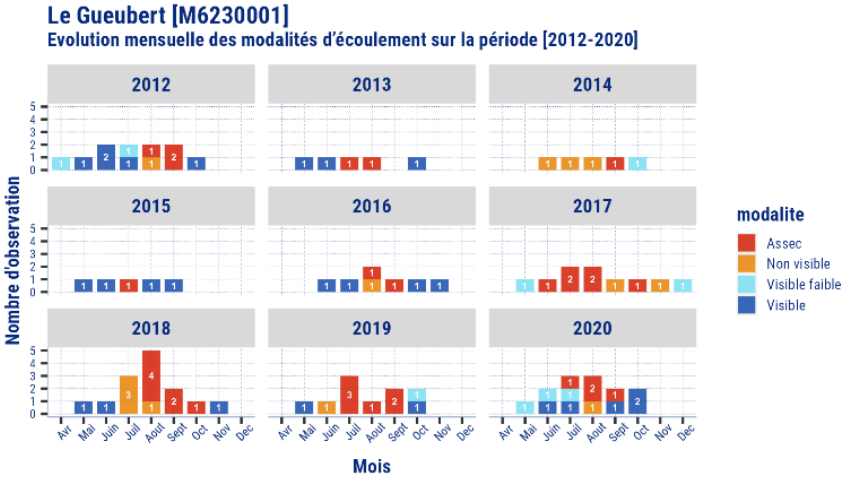
Source : EauFrance, ONDE



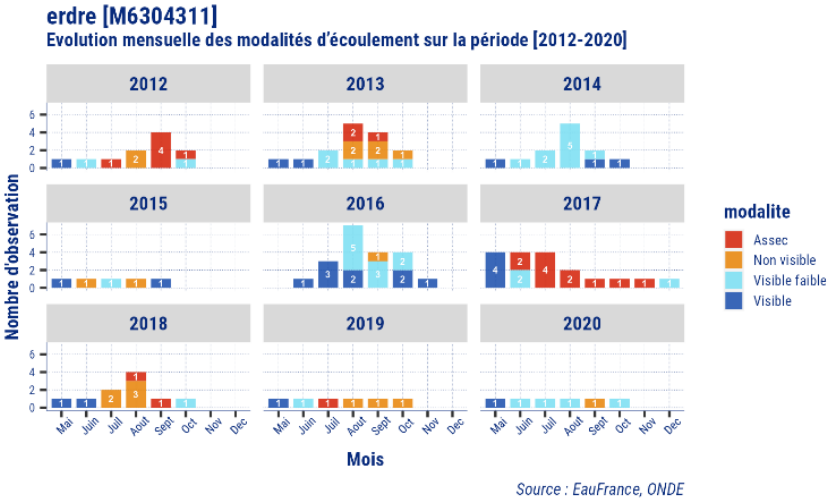
Source : EauFrance, ONDE



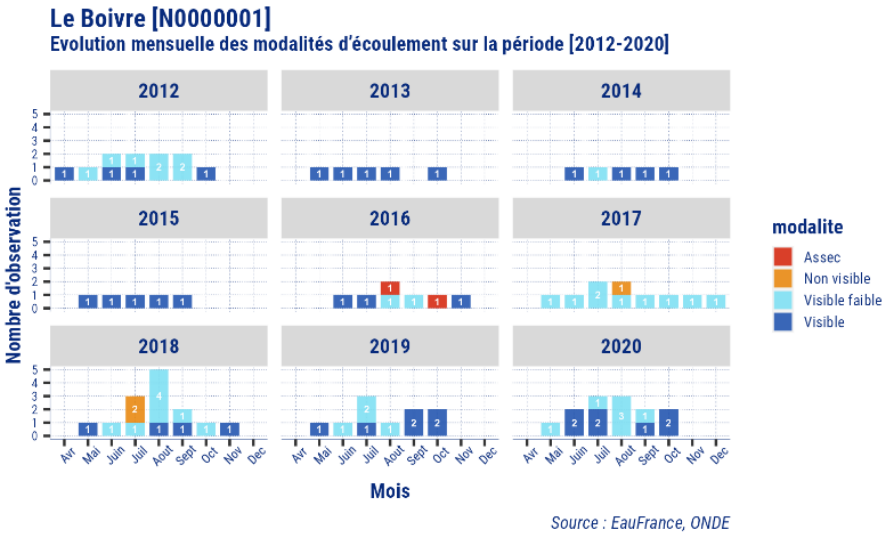
Source : EauFrance, ONDE

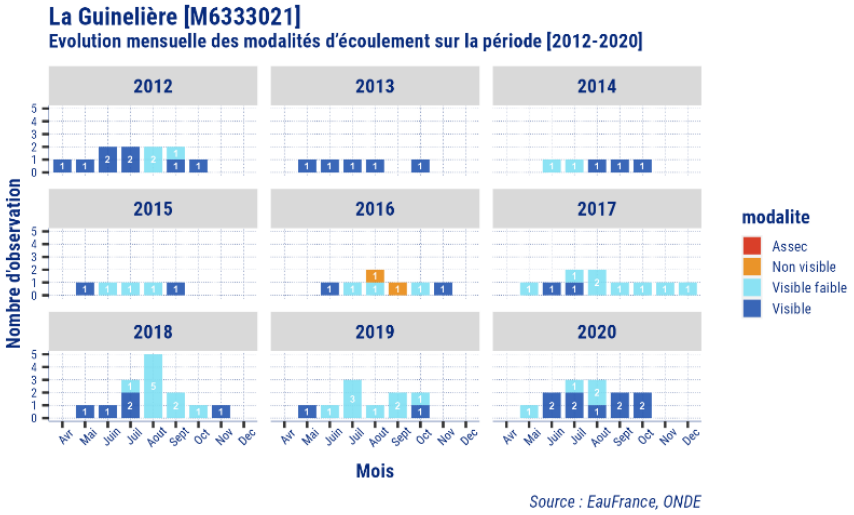


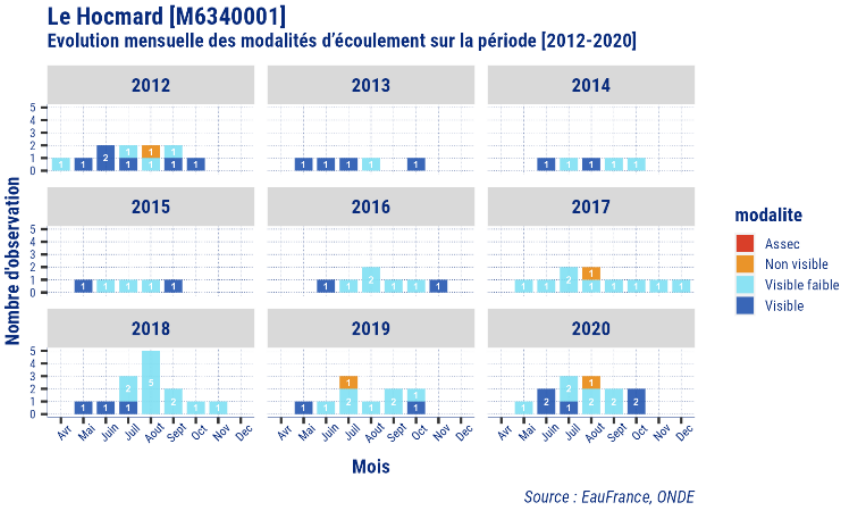
Source : EauFrance, ONDE

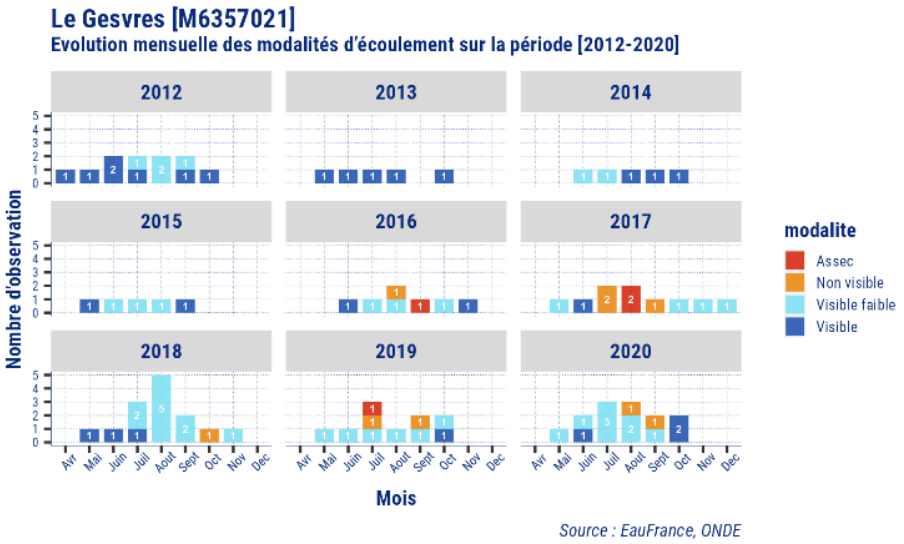


Source : EauFrance, ONDE

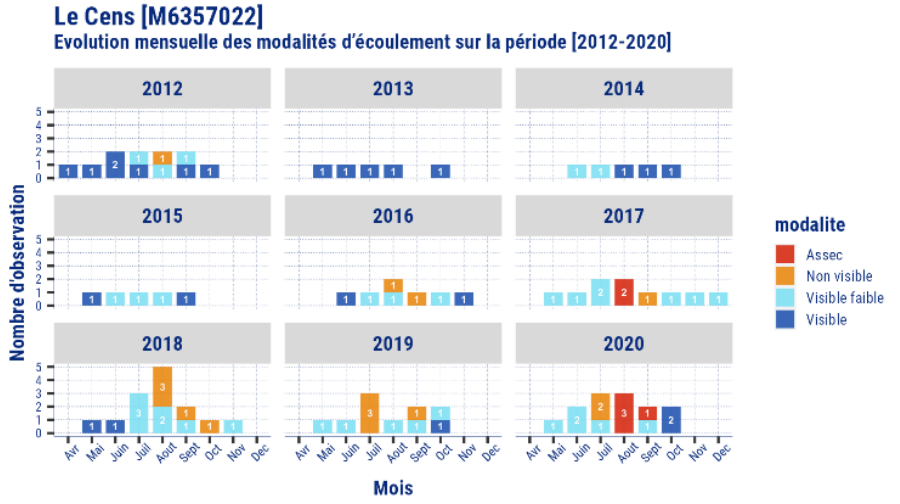

Le Boivre [N0000001]
Evolution mensuelle des modalités d'écoulement sur la période [2012-2020]
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Nombre d'observation
Avr Mai Juin Juil Aout Sept Oct Nov Dec
Mois
modalite
Assec
Non visible
Visible faible
Visible
Source : EauFrance, ONDE


La Guinelière [M6333021]
Evolution mensuelle des modalités d'écoulement sur la période [2012-2020]
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Nombre d'observation
Avr Mai Juin Juil Aout Sept Oct Nov Dec
Mois
modalite
Assec
Non visible
Visible faible
Visible
Source : EauFrance, ONDE

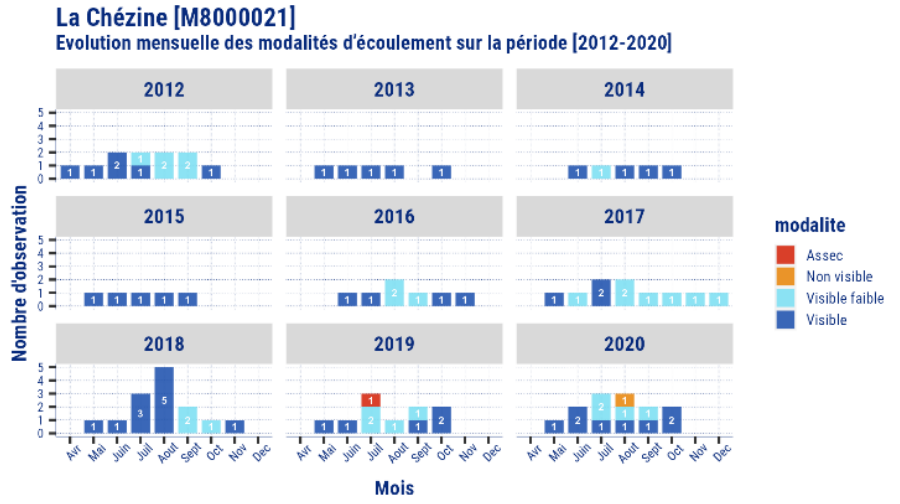

Le Hocmard [M6340001]
Evolution mensuelle des modalités d'écoulement sur la période [2012-2020]
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Nombre d'observation
Avr Mai Juin Juil Aout Sept Oct Nov Dec
Mois
modalite
Assec
Non visible
Visible faible
Visible
Source : EauFrance, ONDE



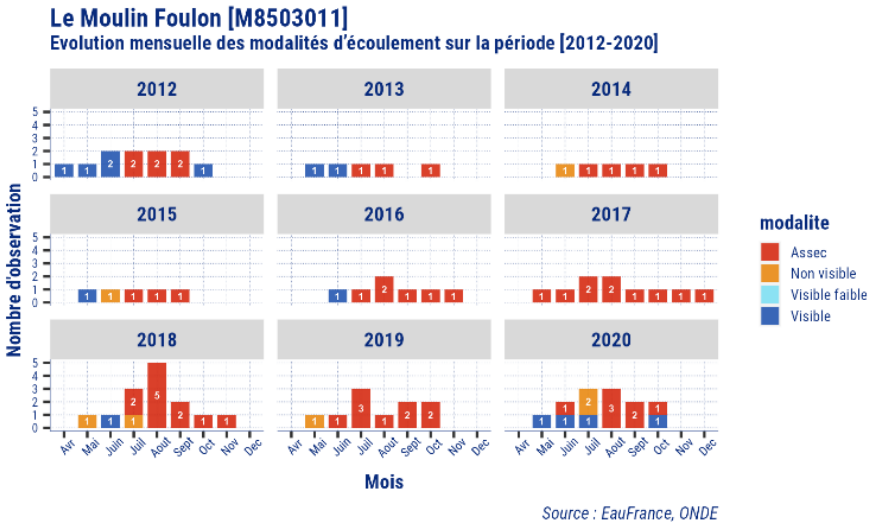
Source : EauFrance, ONDE

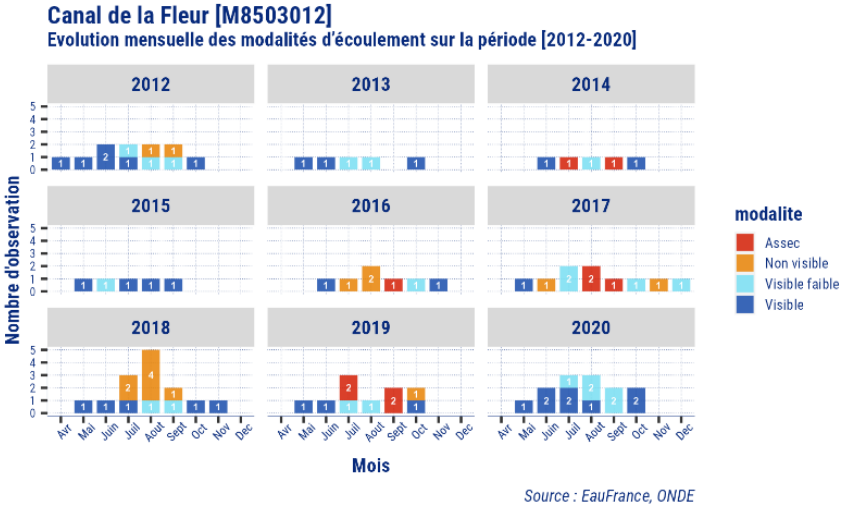


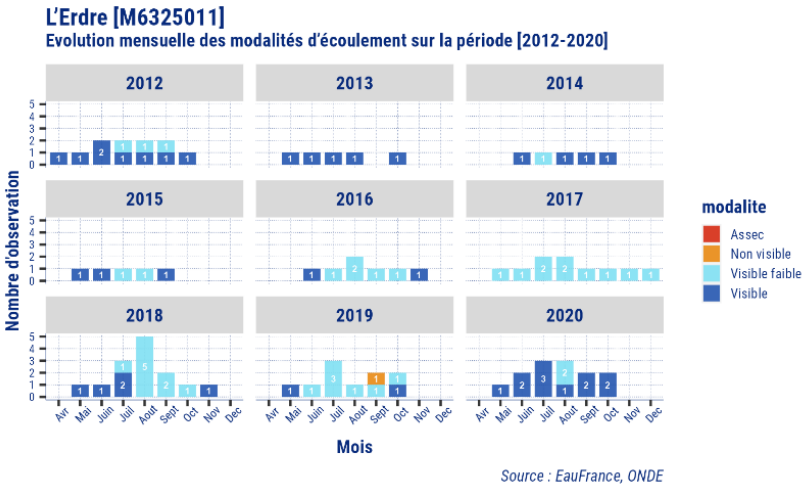
Source : EauFrance, ONDE



Source : EauFrance, ONDE


Le Moulin Foulon [M8503011]
Evolution mensuelle des modalités d'écoulement sur la période [2012-2020]
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Nombre d'observation
Avr
Mai
Juin
Juil
Aout
Sept
Oct
Nov
Dec
Mois
modalite
Assec
Non visible
Visible faible
Visible
Source : EauFrance, ONDE


Canal de la Fleur [M8503012]
Evolution mensuelle des modalités d'écoulement sur la période [2012-2020]
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Nombre d'observation
Avr
Mai
Juin
Juil
Aout
Sept
Oct
Nov
Dec
Mois
modalite
Assec
Non visible
Visible faible
Visible
Source : EauFrance, ONDE


L'Erdre [M6325011]
Evolution mensuelle des modalités d'écoulement sur la période [2012-2020]
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Nombre d'observation
Avr
Mai
Juin
Juil
Aout
Sept
Oct
Nov
Dec
Mois
modalite
Assec
Non visible
Visible faible
Visible
Source : EauFrance, ONDE

SAGE ESTUAIRE DE LA LOIRE

AGIR ENSEMBLE POUR L'EAU