

Etude « Hydrologie – Milieux – Usages – Climat » adaptée aux bassins du Sornin et du Jarnossin

Pour la définition d'une stratégie locale d'adaptation de la gestion de l'eau face au

Rapport final

- ✓ Phase 1 – Etat des lieux
- ✓ Phase 2 – Analyse

Etude financée par :



FICHE DE SYNTHESE

Etude « Hydrologie – Milieux – Usages – Climat » adaptée aux bassins du Sornin et du Jarnossin

Pour la définition d'une stratégie locale d'adaptation de la gestion de l'eau face au changement climatique

SYMISOA		Bassins versants du Sornin et du Jarnossin		
	Céline DECHAVANNE			
		04.77.60.97.91		c.dechavanne@symisoa.fr

VOS CONTACTS EODD

Rédacteur

Antonin PUGET
Gaëlle FOUILLY
William EPALLE

Supervision

Thierry DROIN

Libération

Thierry DROIN



Agence de Saint-Etienne

contact@eodd.fr | Tél : 04.72.76.06.90

CONTRAT EODD N° P09318

Date	Indice	Modifications
20/12/2024	1	Edition initiale – Version provisoire
14/02/2025	2	Prise en compte des premiers retours du SYMISOA
19/05/2025	3	Prise en compte des remarques suite au COTECH du 04/03/25 et apports issus des entretiens complémentaires

SOMMAIRE

Table des matières

1.	Liste des acronymes.....	12
2.	Synthèse non technique	13
3.	Introduction	15
3.1	Localisation de la zone d'étude et maître d'ouvrage	15
3.2	Objectifs de l'étude et méthodologie générale	15
3.3	Echelle d'analyse	16
4.	Les bassins versant du Sornin et du Jarnossin	19
4.1	Contexte administratif.....	19
4.2	Contexte démographique	19
4.3	Contexte physique.....	22
4.3.1	Topographie.....	22
4.3.2	Géologie et hydrogéologie.....	22
4.4	Contexte hydrographique	27
4.5	Occupation du sol	30
4.5.1	Territoires artificialisés	30
4.5.2	Territoires agricoles	33
4.5.3	Forets et milieux semi-naturels	33
5.	Volet climat	35
5.1	Analyse des évolutions passées.....	35
5.1.1	Préambule.....	35
5.1.2	Données localisées.....	35
5.1.3	Données spatialisées.....	49
5.2	Analyse des projections climatiques.....	57
5.2.1	Les données disponibles pour simuler le climat futur	57
5.2.2	Méthode et choix effectués dans le cadre de l'étude	57
5.2.3	Résultats sur les bassins versants sur Sornin et du Jarnossin	61
5.2.4	Remarque sur la problématique de l'accentuation des extrêmes.....	67
5.2.5	Conséquences sur les ressources en eau	71
5.2.6	Synthèse.....	76
6.	Volet hydrologie – Ressources en eau	77
6.1	Suivi hydrologique existant.....	77
6.1.1	Stations hydrométriques	77
6.1.2	Réseaux complémentaires.....	81
6.1.3	Synthèse.....	87
6.2	Hydrologie désinfluencée.....	88
6.2.1	Reconstitution des débits désinfluencés théoriques	88
6.2.2	Ressource désinfluencée théorique actuelle	92
6.2.3	Débits désinfluencés retenus en situation future.....	98
6.2.4	Synthèse.....	105
7.	Volet milieux	107

7.1	Les cours d'eau	107
7.1.1	Hydromorphologie des cours d'eau.....	107
7.1.2	Continuité écologique.....	108
7.1.3	Qualité de l'eau.....	109
7.1.4	Qualité des peuplements piscicoles.....	116
7.1.5	Zones humides.....	117
7.2	« Besoins en eau » pour les milieux aquatiques	121
7.2.1	Notion de période de « basses eaux » et « hors basses eaux ».....	121
7.2.2	La période de basses eaux.....	122
7.2.3	Méthodologie pour la période hors basses eaux.....	134
8.	Volet usages	136
8.1	Alimentation en eau potable.....	136
8.1.1	Organisation de la gestion de l'eau	136
8.1.2	Principaux échanges	139
8.1.3	Etat des réseaux.....	141
8.1.4	Besoins en eau théoriques.....	142
8.1.5	Prélèvements recensés.....	145
8.1.6	Répartition des volumes prélevés au pas de temp mensuels.....	145
8.1.7	Synthèse sur les prélèvements AEP.....	146
8.1.1	Synthèse des volumes prélevés et distribués	147
8.2	Industrie.....	150
8.3	Agriculture	153
8.3.1	Contexte agricole	153
8.3.2	Irrigation	155
8.3.3	Elevage.....	158
8.4	Plans d'eau.....	168
8.4.1	Base de données « BDTopo »	168
8.4.2	Besoin en eau théoriques des plans d'eau	171
8.4.3	Prélèvements associés.....	171
8.5	Les prises d'eau et les biefs	174
8.6	Rejets et restitutions	176
8.6.1	Rejets d'assainissement.....	176
8.6.2	Rejets liés à l'industrie	179
8.6.3	Rejets liés aux plans d'eau.....	179
8.6.4	Biefs / prises d'eau.....	179
8.7	Bilan des usages	180
8.7.1	Synthèses des prélèvements et rejets	180
8.7.2	Complément sur les restrictions en période de sécheresse	183
8.7.3	Complément sur les usages non-consommateurs d'eau	185
8.7.4	Complément sur le barrage de Villcrest	185
9.	Diagnostic du territoire en situations actuelle et future.....	187
9.1	Influence sur l'hydrologie des cours d'eau	187
9.1.1	Hypothèses de calcul	187
9.1.2	Influence anthropique sur les débits des cours d'eau	187
9.1.3	Marges d'incertitude	188
9.1.4	Résultats sur l'ensemble du territoire	189
9.2	Prise en compte des milieux en basses eaux, analyse ESTIMHAB.....	193
9.2.1	Rappel sur la méthode ESTIMHAB	193
9.2.2	Pertes de SPU liées à l'influence anthropique	194

9.3	Analyse des incidences sur l'ensemble de l'année	198
9.3.1	Situation actuelle	198
9.3.2	Situation future.....	199
ANNEXE 1 :	Etat écologique	200
ANNEXE 2 :	Etat chimique	201
ANNEXE 3 :	Ressource naturelle en situation actuelle – année moyenne	202
ANNEXE 4 :	Ressource naturelle en situation actuelle – année sèche	203
ANNEXE 5 :	Taux d'impact hydrologique – année moyenne	204
ANNEXE 6 :	Taux d'impact hydrologique – année sèche	205
ANNEXE 7 :	Simulations hydrologiques futures	206
ANNEXE 8 :	Répartition des plans d'eau par masse d'eau et par catégories de surface 210	
ANNEXE 9 :	Mailles SAFRAN avec ETP associées	211
ANNEXE 10 :	Centrales hydroélectriques	212
ANNEXE 11 :	Impacts mensuels sur la SPU au niveau des stations ESTIMHAB (situation actuelle)	213
ANNEXE 12 :	Impacts mensuels sur la SPU au niveau des stations ESTIMHAB (situation 2050)	214

LISTE DES TABLEAUX

<i>TABLEAU 1 : DEMOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS DU SORNIN ET DU JARNOSSIN (SOURCE : INSEE 2021)</i>	<i>19</i>
<i>TABLEAU 2 : MASSES D'EAU SOUTERRAINES</i>	<i>24</i>
<i>TABLEAU 3 : MASSES D'EAU SUPERFICIELLES</i>	<i>27</i>
<i>TABLEAU 4 : OCCUPATION DU SOL (SOURCE : CLC)</i>	<i>30</i>
<i>TABLEAU 5 : STATIONS METEOROLOGIQUES (SOURCE : OPEN DATA METEO-FRANCE)</i>	<i>38</i>
<i>TABLEAU 6 : EVOLUTION DU CUMUL SAISONNIER DES PRECIPITATIONS (ENSEMBLE DE L'HISTORIQUE DE MESURES)</i>	<i>43</i>
<i>TABLEAU 7 : STATISTIQUES SUR LES PLUIES A LA STATION DE NANDAX (42)</i>	<i>43</i>
<i>TABLEAU 8 : STATISTIQUES SUR LES PLUIES A LA STATION DE MONSOLS (69)</i>	<i>43</i>
<i>TABLEAU 9 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES SAISONNIERES</i>	<i>45</i>
<i>TABLEAU 10 : STATISTIQUES SUR LES TEMPERATURES A LA STATION DE NANDAX (42)</i>	<i>45</i>
<i>TABLEAU 11 : STATISTIQUES SUR LES TEMPERATURES A LA STATION DE MONSOLS (69)</i>	<i>45</i>
<i>TABLEAU 12 : SYNTHESE DE L'EVOLUTION CLIMATIQUE DU TERRITOIRE (SUR LA BASE DES DONNEES HISTORIQUES DES STATIONS METEO-FRANCE AU SOL)</i>	<i>49</i>
<i>TABLEAU 13 : BILAN HYDROCLIMATIQUE REALISE SUR LA STATION DE CHARLIEU (CHRONIQUE 1991-2020)</i> .	<i>54</i>
<i>TABLEAU 14 : ECHELLE DE SEVERITE DES SECHERESSES DITES « AGRICOLES »</i>	<i>55</i>

TABLEAU 15 : SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION HYDRO-CLIMATIQUE DU TERRITOIRE (SUR LA BASE DES DONNÉES SPATIALISÉES SAFRAN – PÉRIODE 1960-2023)	56
TABLEAU 16 : LES 4 NARRATIFS EXPLORÉS	60
TABLEAU 17 : COMPARAISON DES TEMPÉRATURES ET PRÉCIPITATIONS ANNUELLES PAR RAPPORT À LA NORMALE 1991-2020 SUR 2 STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES REPRÉSENTATIVES DU BASSIN VERSANT :	62
TABLEAU 18 : ÉVOLUTION À L'HORIZON 2050 DE PLUSIEURS INDICATEURS CLIMATIQUES SUR LES COMMUNES DE CHARLIEU (42) ET AIGUEPERSE (69) (SOURCE : « CLIMADIAG COMMUNE »).....	69
TABLEAU 19 : ÉVOLUTION DU CUMUL SAISONNIER D'ÉVAPOTRANSPIRATION – PROJECTION « MÉDIANE » 2050.....	71
TABLEAU 20 : ÉVOLUTION DU CUMUL SAISONNIER D'ÉVAPOTRANSPIRATION – PROJECTION « FRANCE » 2050	71
TABLEAU 21 : ÉVOLUTION DU CUMUL ANNUEL D'ÉVAPOTRANSPIRATION (PROJECTIONS « MÉDIANE » ET « FRANCE » - 2050).....	72
TABLEAU 22 : SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE ENVISAGÉE SUR LES BASSINS VERSANTS DU SORNIN ET DU JARNOSSIN À L'HORIZON 2050 (PRISE EN COMPTE DU SCÉNARIO GES RCP 8.5)	76
TABLEAU 23 : STATIONS HYDROMÉTRIQUES ET DÉBITS CARACTÉRISTIQUES ASSOCIÉS (SOURCE : HYDROPORTAIL ET CENEAU)	78
TABLEAU 24 : SUIVI ONDE (1) (SOURCE : OFB).....	82
TABLEAU 25 : SUIVI ONDE (2) (SOURCE : OFB).....	83
TABLEAU 26 : SUIVI ONDE (3) (SOURCE : OFB).....	84
TABLEAU 27 : CAMPAGNES DE DÉBITS EFFECTUÉES POUR LE TARAGE DE LA SONDE (K1063010 = STATION DREAL « LE SORNIN À POUILLY-SOUS-CHARLIEU »).....	87
TABLEAU 28 : MÉTHODOLOGIE POUR DESINFLUENCER LES DÉBITS DE LA STATION DE POUILLY-SOUS-CHARLIEU (K1063010) – CHRONIQUE 2005-2023.....	91
TABLEAU 29 : DÉBITS CARACTÉRISTIQUES EN FERMETURE DE MASSE D'EAU (EN L/S), ISSUS DE LA SIMULATION « EODD » (PÉRIODE CONSIDÉRÉE : 1991-2020).....	97
TABLEAU 30 : DÉBITS CARACTÉRISTIQUES « 2050 » EN FERMETURE DE MASSE D'EAU (EN L/S), SELON LES PROJECTIONS FUTURES « MÉDIANE » ET « FRANCE » (PÉRIODE CONSIDÉRÉE : 2041-2070).....	99
TABLEAU 31 : SYNTHÈSE DE L'HYDROLOGIE DESINFLUENCÉE SUR LES BASSINS VERSANTS DU SORNIN ET DU JARNOSSIN (PRISE EN COMPTE DU SCÉNARIO GES RCP 8.5)	105
TABLEAU 32 : ÉTAT DES LIEUX DES MASSES D'EAU SUPERFICIELLES ET RISQUE DE NON ATTEINTE DU BON ÉTAT (SOURCE : SDAGE LOIRE BRETAGNE 2022-2027)	109
TABLEAU 33 : PARAMÈTRES DECLASSANTS ET FACTEURS DE RISQUE IDENTIFIÉS DANS LE SDAGE.....	110
TABLEAU 34 : ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DU PARAMÈTRE « OXYGÈNE » DEPUIS 2002 SUR LE SORNIN (SOURCE : BILAN 2022, FÉDÉRATION DE PÊCHE 42)	112
TABLEAU 35 : ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DU PARAMÈTRE « OXYGÈNE » DEPUIS 2002 SUR LE JARNOSSIN (SOURCE : FÉDÉRATION DE PÊCHE 42)	112
TABLEAU 36 : ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DU PARAMÈTRE NUTRIMENTS DEPUIS 2002 SUR LE SORNIN (SOURCE :BILAN 2022, FÉDÉRATION DE PÊCHE 42)	113
TABLEAU 37 : ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DU PARAMÈTRE NUTRIMENTS DEPUIS 2002 SUR LE JARNOSSIN (SOURCE :BILAN 2022, FÉDÉRATION DE PÊCHE 42)	114
TABLEAU 38 : STATIONS DU PROJET TIGRE.....	115
TABLEAU 39 : TEMPÉRATURES MAXIMALES SUR 7 JOURS (SOURCE : RESEAU TIGRE).....	115
TABLEAU 40 : TYPOLOGIE DES ZONES HUMIDES DU TERRITOIRE D'ÉTUDE	118

<i>TABLEAU 41 : PRINCIPALES PRESSIONS SUR LES ZONES HUMIDES DU TERRITOIRE</i>	119
<i>TABLEAU 42 : LISTE DES STATIONS MICRO-HABITATS INTEGREES DANS L'ETUDE</i>	128
<i>TABLEAU 43 : LISTE DES STATIONS MICRO-HABITATS INTEGREES DANS L'ETUDE</i>	131
<i>TABLEAU 44 : SYNTHESE DES INDICATEURS ET DES PROTOCOLES EMPLOYES DANS LA METHODE HORS BASSES EAUX</i>	135
<i>TABLEAU 45 : GESTIONNAIRES DE L'EAU POTABLE DANS LA ZONE D'ETUDE</i>	137
<i>TABLEAU 46 : ETAT DES RESEAUX SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE (DONNEES ISSUES DES RPQS)</i>	141
<i>TABLEAU 47 : CLASSIFICATION DE L'INDICE LINEAIRE DE PERTE (REFERENTIEL DU LABORATOIRE GESTION DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT, 2006)</i>	141
<i>TABLEAU 48 : ICPE PAR TYPE D'ACTIVITE (EN GRISE = ACTIVITE LIEE AU DOMAINE DE L'INDUSTRIE)</i>	150
<i>TABLEAU 49 : REPARTITION DES SURFACES AGRICOLES SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE (SOURCE : RPG 2022)</i>	153
<i>TABLEAU 50 : PRELEVEMENTS IRRIGATION RECENSES</i>	155
<i>TABLEAU 51 : INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES APRES ENQUETE</i>	155
<i>TABLEAU 52 : VOLUME PRELEVE POUR L'IRRIGATION SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE</i>	156
<i>TABLEAU 53 : REPARTITION DES EFFECTIFS PAR TYPE DE BETAIL SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE (SOURCE : RGA 2020)</i>	158
<i>TABLEAU 54 : REPARTITION DU CHEPTEL 2020 SELON LES MASSES D'EAU DU TERRITOIRE</i>	159
<i>TABLEAU 55 : BESOINS UNITAIRES RETENUS POUR L'ABREUVEMENT DU BETAIL</i>	160
<i>TABLEAU 56 : BESOINS THEORIQUES POUR L'ABREUVEMENT DU BETAIL EN ANNEE MOYENNE (D'APRES RGA 2020)</i>	160
<i>TABLEAU 57 : REPARTITION MENSUELLE DES BESOINS EN EAU POUR L'ABREUVEMENT</i>	162
<i>TABLEAU 58 : BESOIN EN EAU DES BATIMENTS AGRICOLES D'APRES RGA 2020)</i>	165
<i>TABLEAU 59 : HYPOTHESES RETENUES CONCERNANT LA REPARTITION DE L'ALIMENTATION EN EAU POUR L'ELEVAGE</i>	166
<i>TABLEAU 60 : BESOINS ANNUELS LIES A L'ELEVAGE – ANNEE MOYENNE</i>	167
<i>TABLEAU 61 : BESOINS ANNUELS LIES A L'ELEVAGE – ANNEE SECHE</i>	167
<i>TABLEAU 62 : PLANS D'EAU IDENTIFIES AU SEIN DU PERIMETRE D'ETUDE (SOURCE : BDTPO)</i>	168
<i>TABLEAU 63 : REPARTITION DES SURFACES PAR TYPOLOGIE DE PLANS D'EAU</i>	168
<i>TABLEAU 64 : REPARTITION DES PLANS D'EAU PAR MASSE D'EAU</i>	169
<i>TABLEAU 65 : ASSIMILATION TYPOLOGIE « CESAME 2006 » / TYPOLOGIE « EODD »</i>	171
<i>TABLEAU 66 : MODE D'ALIMENTATION DES PLANS D'EAU DU TERRITOIRE</i>	171
<i>TABLEAU 67 : VOLUMES PRELEVES PAR LES PLANS D'EAU SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE – ANNEE MOYENNE</i>	174
<i>TABLEAU 68 : VOLUMES PRELEVES PAR LES PLANS D'EAU SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE – ANNEE SECHE</i>	174
<i>TABLEAU 69 : NOMBRE DE STATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USEES, CAPACITE PAR BASSIN VERSANT ET COMPARAISON AVEC LA POPULATION RESIDENTE</i>	176
<i>TABLEAU 70 : REJETS DES STEU</i>	177
<i>TABLEAU 71 : BILAN DES PRELEVEMENTS ET DES REJETS – ANNEE MOYENNE</i>	181
<i>TABLEAU 72 : BILAN DES PRELEVEMENTS ET DES REJETS – ANNEE SECHE</i>	182
<i>TABLEAU 73 : ARRETE-CADRE DU DEPARTEMENT DE LA LOIRE ET NIVEAUX DE RESTRICTIONS ASSOCIES (EN COURS DE REVISION)</i>	183

TABLEAU 74 : HISTORIQUE DES ARRETES SECHERESSE SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE (PERIODE 2014-2022) (SOURCE : VIGIEAU).....	184
TABLEAU 75 : GAMMES D'INFLUENCES RETENUES	187
TABLEAU 76 : ECART ENTRE LES DEBITS INFLUENCES THEORIQUES EODD ET LES DEBITS MESURES A LA STATION K1063010 (PERIODE 2005-2023)	189
TABLEAU 77 : GAMMES D'INFLUENCES SUR LA SPU	193
TABLEAU 78 : SYNTHESE DES PERTES DE SPU SUR LES COURS D'EAU - CAS 1 POUR LES PLANS D'EAU	194
TABLEAU 79 : SYNTHESE DES PERTES DE SPU SUR LES COURS D'EAU - CAS 2 POUR LES PLANS D'EAU	195
TABLEAU 80 : IMPACT SUR L'HYDROLOGIE DES USAGES ACTUELS EN SITUATION ACTUELLE ET FUTURE	196
TABLEAU 81 : IMPACT DES PRELEVEMENTS SUR LES HABITATS EN SITUATION ACTUELLE ET FUTURE	197
TABLEAU 82 : IMPACT DES PRELEVEMENTS SUR HYDROLOGIE ET LES SURFACES D'HABITAT - BOTORET.....	198
TABLEAU 83 : IMPACT DES PRELEVEMENTS SUR L'HYDROLOGIE ET LES SURFACES D'HABITAT - SORNIN DE PROPIERES	198
TABLEAU 84 : IMPACT FUTUR SUR L'HYDROLOGIE ET LES SURFACES D'HABITATS – BOTORET.....	199
TABLEAU 85 : IMPACT FUTUR SUR L'HYDROLOGIE ET LES SURFACES D'HABITATS – SORNIN DE PROPIERES.	199

LISTE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : FLUX D'EAU VERTE ET ECOULEMENT D'EAU BLEUE (SOURCE : ABDELKADER HAMDANE, 2021)	33
FIGURE 2 : CHRONIQUE DE MESURE PAR STATION*	40
FIGURE 3 : CUMUL ANNUEL DE PRECIPITATIONS EN FONCTION DE L'ALTITUDE (M NGF)	41
FIGURE 4 : REPARTITION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS (PAR « CLUSTER » DE STATIONS)	42
FIGURE 5 : EVOLUTION DU CUMUL ANNUEL DE PRECIPITATIONS (ECART A LA NORMALE)	42
FIGURE 6 : TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE EN FONCTION DE L'ALTITUDE (M NGF)	44
FIGURE 7 : ECART A LA MOYENNE (1955 – 2022) DES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES A NANDAX (42)	44
FIGURE 8 : ROSE DES VENTS DE L'ANNEE 2022 POUR LA STATION DE ROANNE – AERO (42).....	46
FIGURE 9 : EVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE VENT POUR DIFFERENTS SEUILS DE VITESSE A LA STATION DE ROANNE – AERO (42)	47
FIGURE 10 : HISTORIQUE DE LA DIRECTION DU VENT MAXIMAL A LA STATION DE ROANNE – AERO (42)	47
FIGURE 11 : HISTORIQUE DES CHUTES DE NEIGE OBSERVEES A LA STATION DE ST-DENIS-DE-CABANNE (1950-2022).....	48
FIGURE 12 : MAILLAGE SAFRAN SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE	50
FIGURE 13 : EVOLUTION DES PRECIPITATIONS TOTALES ANNUELLES SUR LE TERRITOIRE (1960 – 2023).....	51
FIGURE 14 : EVOLUTION DES PRECIPITATIONS TOTALES ANNUELLES EN ALTITUDE (BLEU) ET EN PLAINE (ORANGE).....	51
FIGURE 15 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES SUR LE TERRITOIRE (1960 – 2023).....	52
FIGURE 16 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES EN ALTITUDE (BLEU) ET EN PLAINE (ORANGE).....	52
FIGURE 17 : SCHEMA CONCEPTUEL DE L'EVAPOTRANSPIRATION	53
FIGURE 18 : EVOLUTION DES EVAPOTRANSPIRATIONS POTENTIELLES ANNUELLES SUR LE TERRITOIRE (1960 – 2023).....	53

<i>FIGURE 19 : EVOLUTION DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ANNUELLE SUR LE TERRITOIRE (1960-2023)</i>	54
<i>FIGURE 20 : INDICES MENSUELS NORMALISES D'HUMIDITE MOYENNE DES SOLS (MOYENNE DE L'ENSEMBLE DES MAILLES SAFRAN SUR 1960-2023)</i>	56
<i>FIGURE 21 : CHAINE DE MODELISATION EXPLORE2</i>	57
<i>FIGURE 22 : SCENARIOS RCP</i>	58
<i>FIGURE 23 : PRINCIPE DE LA REGIONALISATION</i>	59
<i>FIGURE 24 : EXEMPLE DE DISPERSION DES MODELES SUR LA PERIODE ESTIVALE SOUS SCENARIO RCP 8.5</i>	59
<i>FIGURE 25 : EVOLUTION DES NORMALES CLIMATIQUES EN FRANCE (SOURCE : METEO-FRANCE)</i>	60
<i>FIGURE 26 : EVOLUTION DE LA VITESSE DU VENT SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE – HORIZON MOYEN (2041-2070) (A GAUCHE : PROJECTION « MEDIAN », A DROITE : PROJECTION « FRANCE »)</i>	62
<i>FIGURE 27 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES PROJECTION « MEDIANE » – HORIZON MOYEN (2041-2070)</i>	63
<i>FIGURE 28 : EVOLUTION DU CUMUL DES PRECIPITATIONS PROJECTION « MEDIANE » – HORIZON MOYEN (2041-2070)</i>	64
<i>FIGURE 29 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES PROJECTION « FRANCE » – HORIZON MOYEN (2041-2070)</i>	65
<i>FIGURE 30 : EVOLUTION DU CUMUL DES PRECIPITATIONS PROJECTION « FRANCE » – HORIZON MOYEN (2041-2070)</i>	66
<i>FIGURE 31 : LOCALISATION DES COMMUNES CIBLEES</i>	67
<i>FIGURE 32 : NOMBRE DE JOURS AVEC « RISQUE FEUX DE FORET » ELEVE – SITUATION ACTUELLE ET PROJECTION « FRANCE » 2050 (SOURCE : DRIAS)</i>	70
<i>FIGURE 33 : NOMBRE DE JOURS AVEC « RISQUE FEUX DE FORET » MODEREE – SITUATION ACTUELLE ET PROJECTION « FRANCE » 2050</i>	70
<i>FIGURE 34 : EVOLUTION DE L'INDICE D'HUMIDITE DES SOLS (SWI) – PROJECTION « MEDIANE » 2050</i>	72
<i>FIGURE 35 : EVOLUTION DE L'INDICE D'HUMIDITE DES SOLS (SWI) – PROJECTION « FRANCE » 2050</i>	73
<i>FIGURE 36 : AQUIFERES FRANÇAIS MODELISES PAR LE PROJET EXPLORE2</i>	73
<i>FIGURE 37 : RECHARGE ACTUELLE DES AQUIFERES FRANÇAIS – PERIODE 1961-1990 (SOURCE : EXPLORE2070)</i>	74
<i>FIGURE 38 : ECART MOYEN ET MAXIMAL ENTRE RECHARGE ACTUELLE ET RECHARGE FUTURE (SOURCE : EXPLORE 2070)</i>	75
<i>FIGURE 39 : EVOLUTION DU MODULE 2005/2023 – LE SORNIN A POUILLY-SOUS-CHARLIEU (K1063010)</i>	79
<i>FIGURE 40 : EVOLUTION DE LA SEVERITE DES ETIAGES 2005/2023 – LE SORNIN A POUILLY-SOUS-CHARLIEU (K1063010)</i>	79
<i>FIGURE 41 : RESEAU « EN QUÊTE D'EAU »</i>	86
<i>FIGURE 42 : LOCALISATION DE LA SONDE NIVEAU D'EAU DU JARNOSSIN</i>	87
<i>FIGURE 43 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU MODELE GR4J (INREA) ET LES DIFFERENTS PARAMETRES DE CALAGE AVEC BORNES ASSOCIEES (PERRIN ET AL., 2003)</i>	88
<i>FIGURE 44 : SCHEMA CONCEPTUEL DE DISTRIBUTION DES DONNEES CLIMATIQUES SAFRAN-ISBA (PRECIPITATIONS ET ETP) SUR UN BASSIN VERSANT</i>	89
<i>FIGURE 45 : DEBIT MOYEN INTERANNUEL (= MODULE) EXPRIME EN DEBIT SPECIFIQUE SUR L'ENSEMBLE DES POINTS DE CALCUL DU TERRITOIRE D'ETUDE (PERIODE 1991-2020)</i>	92
<i>FIGURE 46 : DEBIT MOYEN MENSUEL DE FREQUENCE QUINQUENNALE (= QMNA5) EXPRIME EN DEBIT SPECIFIQUE SUR L'ENSEMBLE DES POINTS DE CALCUL DU TERRITOIRE D'ETUDE (PERIODE 1991-2020)</i>	93

<i>FIGURE 47 : COMPARAISON DES DEBITS MODELISES AU NIVEAU DE LA STATION DU SORNIN A POUILLY-SOUS-CHARLIEU SUR LA PERIODE 2005-2015 (K1063010)</i>	<i>95</i>
<i>FIGURE 48 : COMPARAISON ENTRE LA MODELISATION EODD ET LES BASES DE DONNEES EXISTANTES AU NIVEAU DE POINTS DE CALCUL SUR LA PERIODE 1970-2015 (DE HAUT EN BAS : MUS-1, BEZ-1, AIL-1)</i>	<i>96</i>
<i>FIGURE 49 : RESSOURCE NATURELLE SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE (PERIODE 1991-2020)</i>	<i>97</i>
<i>FIGURE 50 : EXTRAIT DU RAPPORT SUR LES INCERTITUDES DU PROJET « EXPLORE2 » (SOURCE : DRIAS EAU)</i>	<i>99</i>
<i>FIGURE 51 : EVOLUTION DE LA RESSOURCE NATURELLE SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE POUR 4 POINTS REPRESENTATIFS, SELON LES 2 PROJECTIONS CLIMATIQUES RETENUES, EN ANNEE MOYENNE FUTURE THEORIQUE (PERIODE 2041-2070).....</i>	<i>100</i>
<i>FIGURE 52 : EVOLUTION DE LA RESSOURCE NATURELLE SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE, SELON LES PROJECTIONS RETENUES (1)</i>	<i>102</i>
<i>FIGURE 53 : EVOLUTION DE LA RESSOURCE NATURELLE SUR LE TERRITOIRE D'ETUDE, SELON LES PROJECTIONS RETENUES (2)</i>	<i>103</i>
<i>FIGURE 54 : EVOLUTION DE LA PERIODE DE BASSES EAUX SELON LES 4 NARRATIFS EXPLORE2 (= CODE COULEUR)</i>	<i>104</i>
<i>FIGURE 55 : EVOLUTION DU VCN10-5 SELON LES 4 NARRATIFS EXPLORE2 (= CODE COULEUR) – PERIODE 2041-2070 (SOURCE : DRIAS).....</i>	<i>105</i>
<i>FIGURE 56 : TYPOLOGIE DES OUVRAGES PRESENTS SUR LE BASSIN VERSANT DU SORNIN (SOURCE : SYMISOA)</i>	<i>108</i>
<i>FIGURE 57 : FRANCHISSABILITE DES OUVRAGES PRESENTS SUR LE BASSIN VERSANT DU SORNIN (SOURCE SYMISOA).....</i>	<i>108</i>
<i>FIGURE 58 : BILAN OXYGENE 2022 – SORNIN (SOURCE : BILAN 2022, FEDERATION DE PECHE 42)</i>	<i>111</i>
<i>FIGURE 59 : BILAN OXYGENE 2022 – JARNOSSIN (SOURCE : BILAN 2022, FEDERATION DE PECHE 42).....</i>	<i>112</i>
<i>FIGURE 60 : BILAN NUTRIMENTS 2022 - SORNIN (SOURCE : BILAN 2022, FEDERATION DE PECHE 42).....</i>	<i>113</i>
<i>FIGURE 61 : BILAN NUTRIMENTS 2022 - JARNOSSIN (SOURCE : BILAN 2022, FEDERATION DE PECHE 42)....</i>	<i>114</i>
<i>FIGURE 62 : RESULTAT DES IPR DANS LE BASSIN VERSANT DU SORNIN – SECTEUR DEPARTEMENT LOIRE (SOURCE : BILAN 2022, FEDERATION DE PECHE 42)</i>	<i>116</i>
<i>FIGURE 63 : RESULTAT DES IPR DANS LE BASSIN VERSANT DU JARNOSSIN – SECTEUR DEPARTEMENT LOIRE (SOURCE : BILAN 2022, FEDERATION DE PECHE 42)</i>	<i>117</i>
<i>FIGURE 64 : ATTENUATION DES DEBITS DE CRUE ET DES ETIAGES (ROLE DES ZONES HUMIDES, SOURCE : NOVITZKI 1979).....</i>	<i>118</i>
<i>FIGURE 65 : EXEMPLE D'IDENTIFICATION DES ENJEUX ECOLOGIQUES AU COURS DU CYCLE HYDROLOGIQUE (SOURCE : « ANALYSE HYDROLOGIE-MILIEUX- USAGES- CLIMATS / GGUIDE DES RECOMMANDATIONS METHODOLOGIQUES – BASSIN LOIRE-BRETAGNE OCTOBRE 2024).....</i>	<i>121</i>
<i>FIGURE 66 : REPRESENTATION DE LA PERIODE DE BASSES EAUX POUR LA STATION DU SORNIN A POUILLY-SOUS-CHARLIEU (K1063010) – CHRONIQUE 2005-2023 (SOURCE DES DONNEES : HYDROPORTAIL).....</i>	<i>122</i>
<i>FIGURE 67 : EFFET DE LA DIMINUTION DU DEBIT SUR UN COURS D'EAU (SOURCE : EODD).....</i>	<i>124</i>
<i>FIGURE 68 : SCHEMA DE PRINCIPE DU PROTOCOLE DE TERRAIN ESTIMHAB (SOURCE : GUIDE METHODOLOGIQUE ESTIMHAB, IRSTEA 2008)</i>	<i>125</i>
<i>FIGURE 69 : COURS D'EAU DONT LA LARGEUR MOUILLEE VARIE FAIBLEMENT (A GAUCHE, SORNIN DE ST IGNY) OU FORTEMENT (A DROITE, LES ÉQUETTERIES) EN FONCTION DU DEBIT (SOURCE : EODD 2024)</i>	<i>126</i>
<i>FIGURE 70 : EXEMPLES DE COURBES PRODUITES VIA LE MODELE ESTIMHAB (SOURCE : EODD)</i>	<i>127</i>
<i>FIGURE 71 : COURBES DE LARGEUR, HAUTEUR ET VITESSE NORMEES EN LIEN A LEUR VALEUR AU Q50 (SOURCE : EODD).....</i>	<i>127</i>

<i>FIGURE 72 : TRUITE FARIO ADULTE S'ALIMENTANT EN QUEUE DE MOUILLE (A GAUCHE) ET ALEVIN DE TRUITE SUR UN FOND GRAVELEUX NON COLMATE (SOURCE : EODD)</i>	<i>132</i>
<i>FIGURE 73 : BANCS DE VAIRONS COMMUNS (SOURCE : EODD)</i>	<i>132</i>
<i>FIGURE 74 : CHABOT COMMUN CACHE CONTRE UNE PIERRE (SOURCE : EODD)</i>	<i>133</i>
<i>FIGURE 75 : SYNTHESE DES PRELEVEMENTS REALISES SUR LE BASSIN VERSANT DU SORNIN DEPUIS 2008 ...</i>	<i>147</i>
<i>FIGURE 76 : HISTORIQUE DES PRELEVEMENTS POUR L'IRRIGATION (SOURCE : BNPE)</i>	<i>156</i>
<i>FIGURE 77 : METHODOLOGIE DE REPARTITION TERRITORIALE DU CHEPTEL ET D'ESTIMATION DES BESOINS</i>	<i>158</i>
<i>FIGURE 78 : EQUIVALENT UGB POUR CHAQUE TYPE DE BETAIL (SOURCE : JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPEENNE)</i>	<i>161</i>
<i>FIGURE 79 : ESTIMATION DU NOMBRE DE SALLES DE TRAITE</i>	<i>163</i>
<i>FIGURE 80 : REPARTITION DES SURFACES PAR TYPOLOGIE DE PLANS D'EAU</i>	<i>169</i>
<i>FIGURE 81 : SURFACE CUMULEE DES PLANS D'EAU PAR MASSE D'EAU</i>	<i>169</i>
<i>FIGURE 82 : SIMULATION DES DEBITS INFLUENCES PAR LES PRELEVEMENTS DES PLANS D'EAU EN CONSIDERANT LE RESPECT D'UN DEBIT RESERVE, ET SUIVANT DIFFERENTES HYPOTHESES SUR LA RESSOURCE (ENCACRE ET CHIFFRES EN ROUGE)</i>	<i>173</i>
<i>FIGURE 83 : FONCTIONNEMENTS POSSIBLES D'UN BIEF</i>	<i>175</i>
<i>FIGURE 84 : CARACTERISTIQUE DU BARRAGE DE VILLEREST (SOURCE : WIKIPEDIA)</i>	<i>185</i>
<i>FIGURE 85 : SIMULATION JOURNALIERE DE L'INFLUENCE CUMULEE DES PLANS D'EAU SUR LE DEBIT DE LA GENETTE EN FERMETURE DE BASSIN VERSANT (ANALYSE EFFECTUEE A PARTIR DES DONNEES SAFRAN)</i>	<i>190</i>
<i>FIGURE 86 : ANALYSE ESTIMHAB</i>	<i>193</i>

LISTE DES CARTES

<i>CARTE 1 : CONTEXTE ADMINISTRATIF</i>	<i>17</i>
<i>CARTE 2 : ENTITES ET POINTS DE CALCULS.....</i>	<i>18</i>
<i>CARTE 3 : COMMUNES ET EPCI</i>	<i>20</i>
<i>CARTE 4 : DEMOGRAPHIE.....</i>	<i>21</i>
<i>CARTE 5 : CONTEXTE GEOLOGIQUE</i>	<i>25</i>
<i>CARTE 6 : MASSES D'EAU SOUTERRAINES</i>	<i>26</i>
<i>CARTE 7 : CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE</i>	<i>28</i>
<i>CARTE 8 : MASSES D'EAU SUPERFICIELLES</i>	<i>29</i>
<i>CARTE 9 : CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE.....</i>	<i>31</i>
<i>CARTE 10 : OCCUPATION DU SOL (SOURCE : CLC)</i>	<i>32</i>
<i>CARTE 11 : PEUPELEMENTS FORESTIERS.....</i>	<i>34</i>
<i>CARTE 12 : STATIONS METEO-FRANCE.....</i>	<i>39</i>
<i>CARTE 13 : STATIONS DE SUIVI HYDROMETRIQUE.....</i>	<i>80</i>
<i>CARTE 14 : STATIONS DE SUIVI DES ETIAGES</i>	<i>85</i>
<i>CARTE 15 : ZONES HUMIDES INVENTORIEES.....</i>	<i>120</i>
<i>CARTE 16 : PERIODE DE BASSES EAUX</i>	<i>123</i>
<i>CARTE 17 : STATIONS DE SUIVI ESTIMHAB.....</i>	<i>129</i>
<i>CARTE 18 : GESTIONNAIRES AEP.....</i>	<i>138</i>
<i>CARTE 19 : PRELEVEMENTS EN EAU POTABLE ET MOUVEMENTS D'EAU DANS LES BASSINS VERSANTS</i>	<i>140</i>
<i>CARTE 20 : PRELEVEMENTS EN EAU POTABLE</i>	<i>149</i>
<i>CARTE 21 : PRELEVEMENTS INDUSTRIELS</i>	<i>151</i>
<i>CARTE 22 : INSTALLATIONS INDUSTRIELLES.....</i>	<i>152</i>
<i>CARTE 23 : OCCUPATION AGRICOLE DU SOL.....</i>	<i>154</i>
<i>CARTE 24 : PRELEVEMENTS IRRIGATION</i>	<i>157</i>
<i>CARTE 25 : PLANS D'EAU</i>	<i>170</i>
<i>CARTE 26 : REJETS DES STEU (SOURCE : PORTAIL DE L'ASSAINISSEMENT COLLECTIF)</i>	<i>178</i>
<i>CARTE 27 : IMPACT HYDROLOGIQUE – MOIS SEC ANNEE MOYENNE (QMNA1)</i>	<i>191</i>
<i>CARTE 28 : IMPACT HYDROLOGIQUE - MOIS SEC ANNEE SECHE (QMNS AOUT).....</i>	<i>192</i>

1. Liste des acronymes

ORDRE ALPHABETIQUE	ACRONYME	SIGNIFICATION
A	Année moyenne	Année théorique où le débit de chaque mois se situe au niveau du débit mensuel moyen calculé sur la période 1991-2020
	Année sèche	Année théorique où le débit de chaque mois se situe au niveau du QMN5 calculé sur la période 1991-2020
B	BNPE	Banque Nationale des Prélèvements en Eau
D	DRIAS	Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement
E	ETP	Evapotranspiration potentielle
G	GCM	<i>Global Circulation Models</i>
	GES	Gaz à effet de serre
	GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
H	HMUC	Hydrologie-Milieu-Usage-Climat
O	ONDE	Observatoire National Des Etiages
Q	QMN5	Débit mensuel d'étiage de fréquence de retour quinquennale
	QMNA5	Débit minimal annuel de fréquence de retour quinquennal
R	RCM	<i>Regional Climate Models</i>
	RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i>
S	SAFRAN	Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige
	SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
	STEU	Station de Traitement des Eaux Usées
	SWI	Indice d'humidité des sols (<i>Standard Witness Index</i>)
T	TRACC	Trajectoire d'Adaptation au Changement Climatique
V	VCN(X)-5	Débit moyen minimal enregistré sur (X) jours consécutifs, de fréquence de retour 5 ans

2. Synthèse non technique

La présente étude s'intéresse aux bassins versants du Sornin et du Jarnossin.

Celui du Sornin s'étend sur 520 km² à cheval sur trois départements (Loire, Saône-et-Loire, Rhône). Celui du Jarnossin est de taille moindre (68 km²) et intégralement situé dans le département de la Loire.

Le Syndicat mixte des rivières du Sornin et de ses affluents (SyMISOA) a lancé sur son territoire une étude « HMUC » (Hydrologie-Milieus-Usages-Climat) qui s'inscrit dans **une réflexion locale sur la gestion de la ressource en eau et l'adaptation au changement climatique**. Cette étude en constituera le **volet technique**, un volet de concertation et de médiation étant également prévu (démarche déjà engagée). L'objectif est d'aboutir à **l'élaboration d'une stratégie locale et partagée d'adaptation de la gestion de l'eau face au changement climatique**.

Le présent rapport constitue le rapport final des phase 1 « Etat des lieux » et 2 « Analyse » de l'étude : dans un premier temps sont définis la ressource naturelle et les usages de l'eau sur le territoire d'étude (phase 1), pour ensuite les comparer (phase 2) afin de mettre en évidence l'impact anthropique actuel sur le Sornin, le Jarnossin et leurs différents affluents.

Le territoire d'étude se caractérise par :

- Un important réseau hydrographique sur le bassin versant du Sornin, avec des hauts bassins versants apportant une ressource relativement abondante et déjà bien exploitée,
- Un réseau hydrographique de plus petite taille sur le Jarnossin, avec une ressource naturellement plus faible,
- Un contexte hydrogéologique peu favorable à la formation de grands aquifères, excepté sur le secteur Sornin aval (nappe alluviale en bordure du Sornin et de la Loire).

Les prélèvements sont très majoritairement « diffus » sur le territoire d'étude (associés aux plans d'eau et à l'élevage). Viennent dans un second temps les prélèvements destinés à l'alimentation en eau potable, puis en proportion minoritaire quelques captages prélevant dans le milieu naturel destinés à l'irrigation.

Les rejets considérés sont uniquement liés à l'assainissement collectif.

Le calcul des débits influencés par les prélèvements et les rejets (débits influencés = débits naturels + rejets – prélèvements) permet d'évaluer dans quelle part les usages anthropiques modifient l'hydrologie des cours d'eau du territoire.

L'analyse a été réalisée pour tous les mois, pour une année dite « moyenne » et pour une année dite « sèche ». Une attention plus particulière est portée à la période de basses eaux (globalement entre avril et octobre) durant laquelle surviennent les périodes d'étiage (débits les plus faibles). Une analyse spécifique est ainsi réalisée pour la situation correspondant au mois sec de fréquence de retour 5 ans (étiage quinquennal sec). Les résultats sont illustrés par une carte en fin de rapport qui permet de visualiser les taux d'impact des usages anthropiques sur l'hydrologie des cours d'eau et sur leur habitat hydraulique (habitats piscicoles). L'analyse sur les débits est accompagnée par une évaluation des incidences sur les surfaces d'habitats hydrauliques piscicoles en 10 points du territoire : des tableaux indiquent le niveau d'incidence à l'étiage quinquennal, en comparaison de la situation naturelle.

En étiage quinquennal sec, on retiendra notamment une incidence sur les débits considérée comme :

- Très forte sur la Genette (lié aux plans d'eau),
- Très forte sur le Botoret amont (lié aux prélèvements AEP),
- Modérée à forte sur le reste du territoire d'étude.

Et une incidence sur les habitats hydrauliques globalement faibles, hormis sur le Botoret, le Bezo et le Jarnossin.

En année moyenne, les incidences apparaissent comme faibles ou modérées (excepté sur la Genette, toujours en raison des plans d'eau). Les petits affluents ne sont souvent peu ou pas sollicités par des prélèvements, mais leurs écoulements sont naturellement très faibles, voire inexistantes en cas d'étiage marqué.

Des informations sur les mois hors basses eaux sont détaillées dans le corps du rapport. Elles permettent d'appréhender dans quelle mesure les impacts significatifs identifiés pour la période d'étiage quinquennal sec sont susceptibles de se prolonger en dehors de cette période et/ou d'intervenir de façon plus régulière.

Ce diagnostic est établi pour la situation actuelle, sur la base des données collectées pour réaliser l'état des lieux. Il intègre les données de prélèvement de l'année 2022, mais pas celles de 2023 (non disponibles à la date de rédaction du dossier). Or l'année 2023 a été marquée par des étiages sévères.

Une analyse en situation future (à venir) dressera les tendances potentielles d'évolution à l'horizon 2050 des besoins en eau et des ressources naturelles (quantification déjà réalisée à ce stade), en tenant compte notamment des effets potentiels du changement climatique et des perspectives de développement socio-économique du territoire.

3. Introduction

3.1 Localisation de la zone d'étude et maître d'ouvrage

Cf. Carte 1 : Contexte administratif

La présente étude est menée par le Syndicat mixte des rivières du Sornin et de ses affluents (SyMISOA).

Elle s'inscrit dans **une réflexion locale sur la gestion de la ressource en eau et l'adaptation au changement climatique**. Elle en constituera le **volet technique**, un volet de concertation et de médiation étant également prévu (démarche déjà engagée). L'objectif est d'aboutir **à l'élaboration d'une stratégie locale et partagée d'adaptation de la gestion de l'eau face au changement climatique**.

L'étude concerne les bassins versant du Sornin et du Jarnossin.

Ce territoire recoupe 59 communes structurées en 7 intercommunalités, elles-mêmes situées sur 3 départements (Loire, Saône-et-Loire et Rhône) et 2 régions (Auvergne Rhône Alpes et Bourgogne Franche Comté).

Il comprend 9 masses d'eau superficielles et concerne 4 masses d'eau souterraines.

3.2 Objectifs de l'étude et méthodologie générale

L'étude doit répondre aux **objectifs** suivants :

- Dresser un état des lieux de l'état quantitatif des ressources en eau superficielles (en intégrant les données disponibles sur les ressources souterraines), des besoins et des pressions, durant et hors période de basses eaux,
- Acquérir de la connaissance sur la fonctionnalité des ressources des bassins versants du Sornin et du Jarnossin avec si besoin la détermination des périodes de basses eaux spécifiques à chaque cours d'eau,
- Établir un bilan adéquation besoins/ressources actuel, durant et hors période de basses eaux ;
- Établir une approche prospective des usages à une échéance de 30 ans intégrant les effets du changement climatique,
- Déterminer les volumes maximum consommables et les débits instantanés prélevables maximaux, en adéquation avec les résultats obtenus précédemment,
- Proposer une répartition des volumes maximum consommables entre les catégories d'utilisateurs durant et hors période de basses eaux.

L'étude comprend **3 phases** :

- Phase 1 – État des lieux (avec 4 volets : Climat – Hydrologie – Milieux – Usages),
- Phase 2 – Analyse (situation actuelle et future)
- Phase 3 – Accompagnement à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation et d'un plan d'action territoriale

Le présent rapport est consacré aux phases 1 et 2 de l'étude qui doivent permettre :

- Une description de la zone d'étude et notamment des contextes climatique, hydrogéologique et topographique afin de caractériser et quantifier les ressources naturelles en eau,
- Une caractérisation des différents usages de l'eau et une quantification des prélèvements et des rejets associés ;

- Une analyse de la situation actuelle en termes de partage des ressources en eau entre les usages et les milieux aquatiques,
- Une évaluation en situation future du partage de ces ressources en prenant en compte les effets du changement climatique et les évolutions socio-économiques du territoire d'étude.

Le présent document constitue un rapport intermédiaire de ces phases 1 et 2. Il traite plus précisément des trois premiers points. Concernant le point 4, seules les perspectives en termes de ressources sont développées.

Il sera complété à la suite des phases de concertation prévues début 2025, notamment sur le volet socio-économique.

Dès ces premières phases de l'étude, ont également été engagées différentes interventions sur le terrain destinées à améliorer les connaissances :

- Sur l'hydrologie des cours d'eau (pose de sondes de niveaux et campagnes de jaugeages notamment sur le Jarnossin aval),
- Les besoins en eau pour les cours d'eau (relation entre débit et capacité d'accueil / qualité des habitats piscicoles), en période de basses eaux et hors période de basses eaux.

3.3 Echelle d'analyse

Cf. Carte 2 : Entités et points de calculs

L'analyse est généralement réalisée à différents niveaux :

- A l'échelle d'**entités cohérentes**, homogène en termes de contexte et cohérente d'un point de vue de la gestion quantitative des ressources,
- Au droit de **points de calculs**, positionnés sur des secteurs stratégiques pour la gestion de la ressource, soit en fermeture de bassin versant, soit sur certains secteurs intermédiaires, afin de mieux cerner et analyser les particularités du territoire et les éventuelles évolutions de l'amont vers l'aval.

Afin de caractériser au mieux les différents contextes hydrologiques existants sur le territoire d'étude et d'avoir une analyse fine de l'impact des usages actuels sur l'hydrologie des cours d'eau, **45 points de calculs** ont été positionnés en tenant compte des éléments suivants :

- Découpage du réseau hydrographique : Sornin et principaux affluents
- Contexte physique (transitions géologiques, reliefs) et socio-économique (occupation du sol),
- Répartition des points de prélèvements et de rejets (première analyse rapide des données bibliographiques pour positionner les prélèvements et rejets),

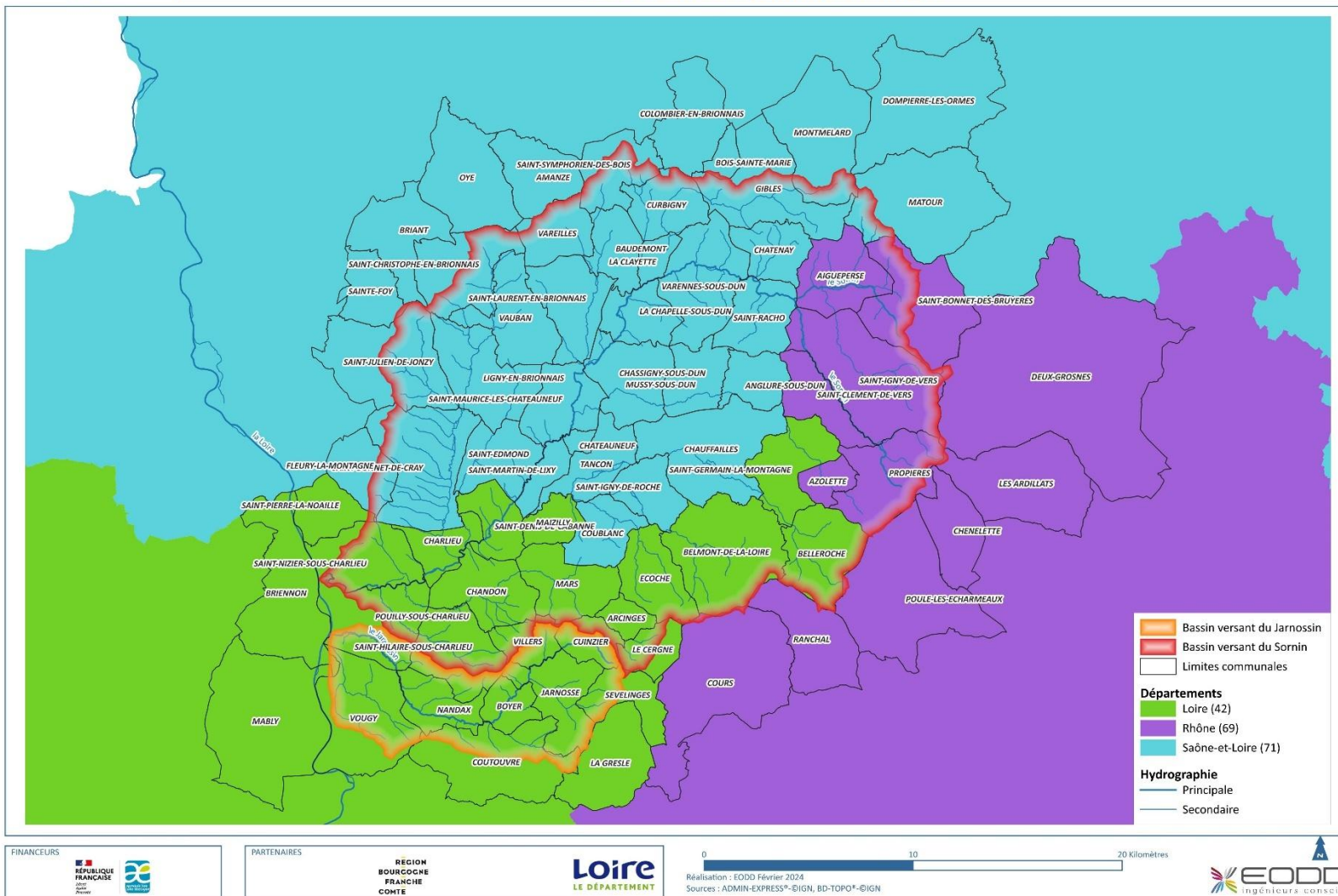
Et en adoptant les principes suivants :

- Un point de calcul au niveau de chaque confluence majeure,
- Un point de calcul au niveau de chaque station hydrométrique, et de chaque point de mesure mis en place pour cette étude (stations d'analyse microhabitat) ou sondes de suivi des niveaux d'eau dans les cours d'eau.

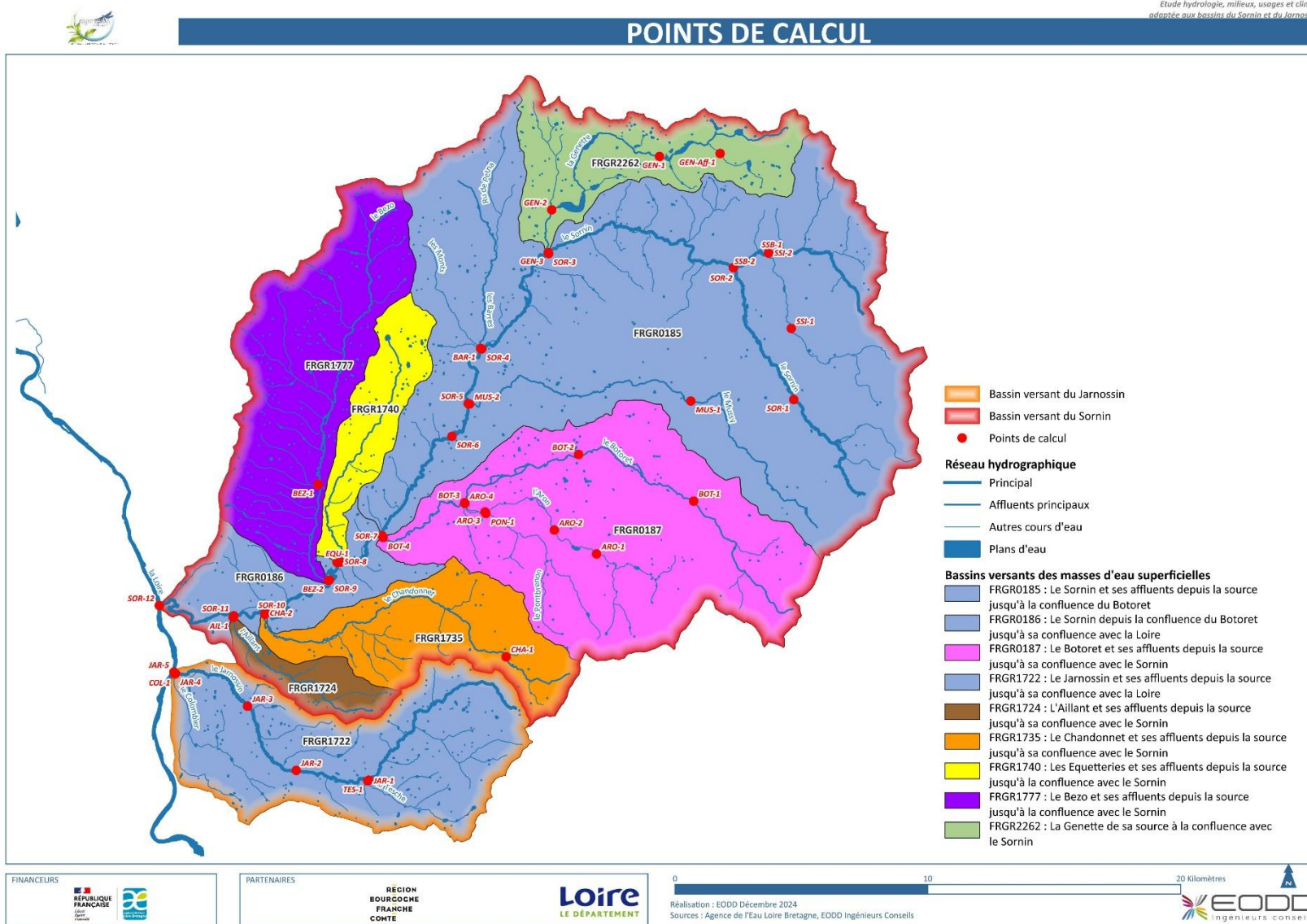
Le code attribué pour chaque point reprend tout d'abord les premières lettres du cours d'eau concerné, puis un numéro (de l'amont vers l'aval). Les points situés en fermeture d'un sous-bassin versant sont appelés « bassin versant » pour les distinguer des points intermédiaires « au fil de l'eau ».



CONTEXTE ADMINISTRATIF



Carte 1 : Contexte administratif



Carte 2 : Entités et points de calculs

4. Les bassins versant du Sornin et du Jarnossin

4.1 Contexte administratif

Cf. Carte 3 : Communes et EPCI

Le bassin versant du Sornin est majoritairement inclus dans le département de la Saône-et-Loire (71), et dans une moindre mesure dans celui de la Loire (42) et du Rhône (69).

Le bassin versant du Jarnossin est lui intégralement situé dans la Loire (42).

Les 5 intercommunalités et 2 communautés d'agglomération regroupent 59 communes¹ au sein de ce territoire d'étude.

4.2 Contexte démographique

Cf. Carte 4 : Démographie

Au sein du territoire d'étude, la population totale est estimée à environ 33 000 habitants.

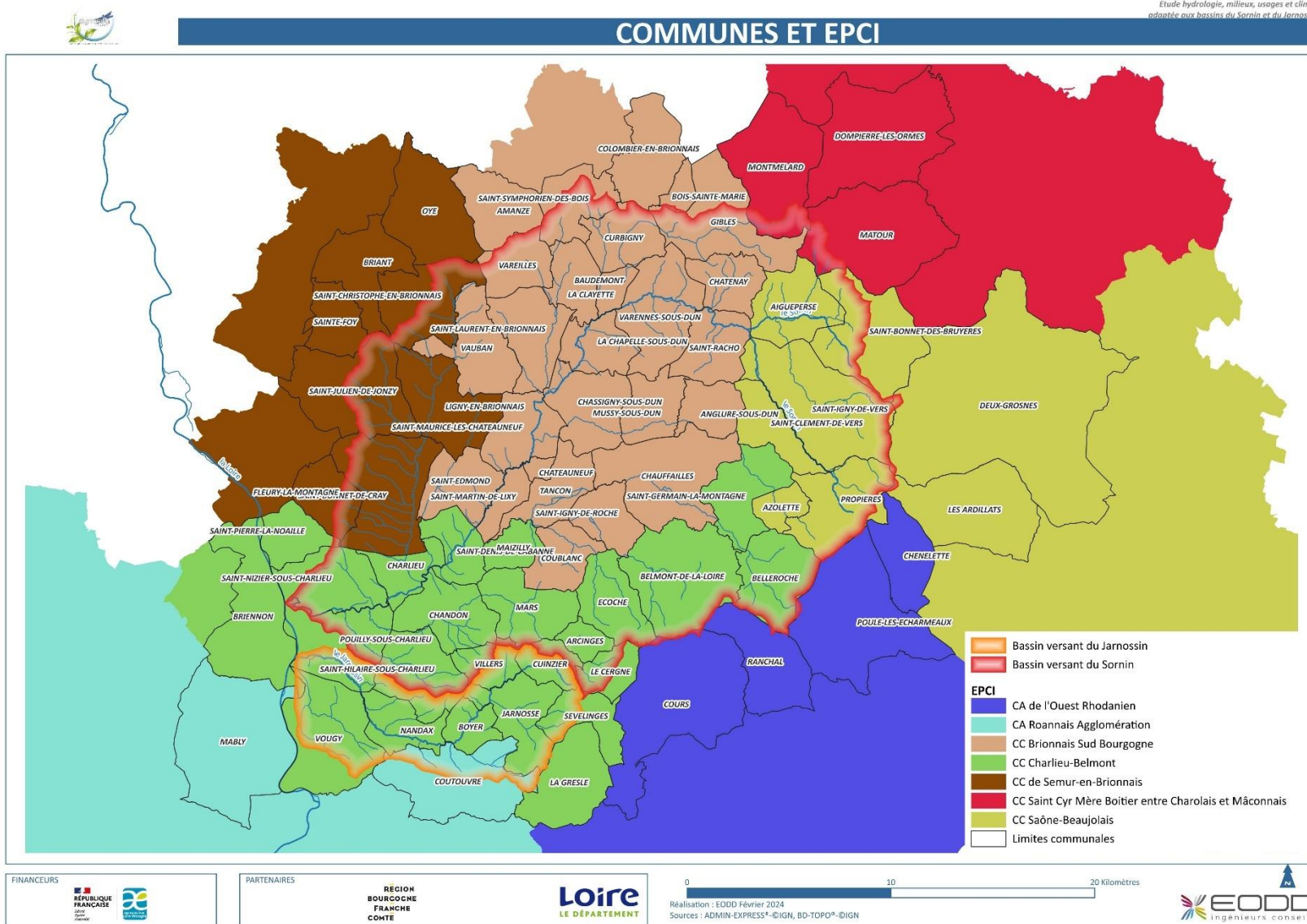
La densité moyenne de population est faible (60 habitants par km²), représentative d'un contexte rural (Tableau 1).

Quelques pôles majeurs de population se détachent, notamment autour des villes de Charlieu (3712 hab), Chauffailles (3675 hab) et la Clayette (1639 hab).

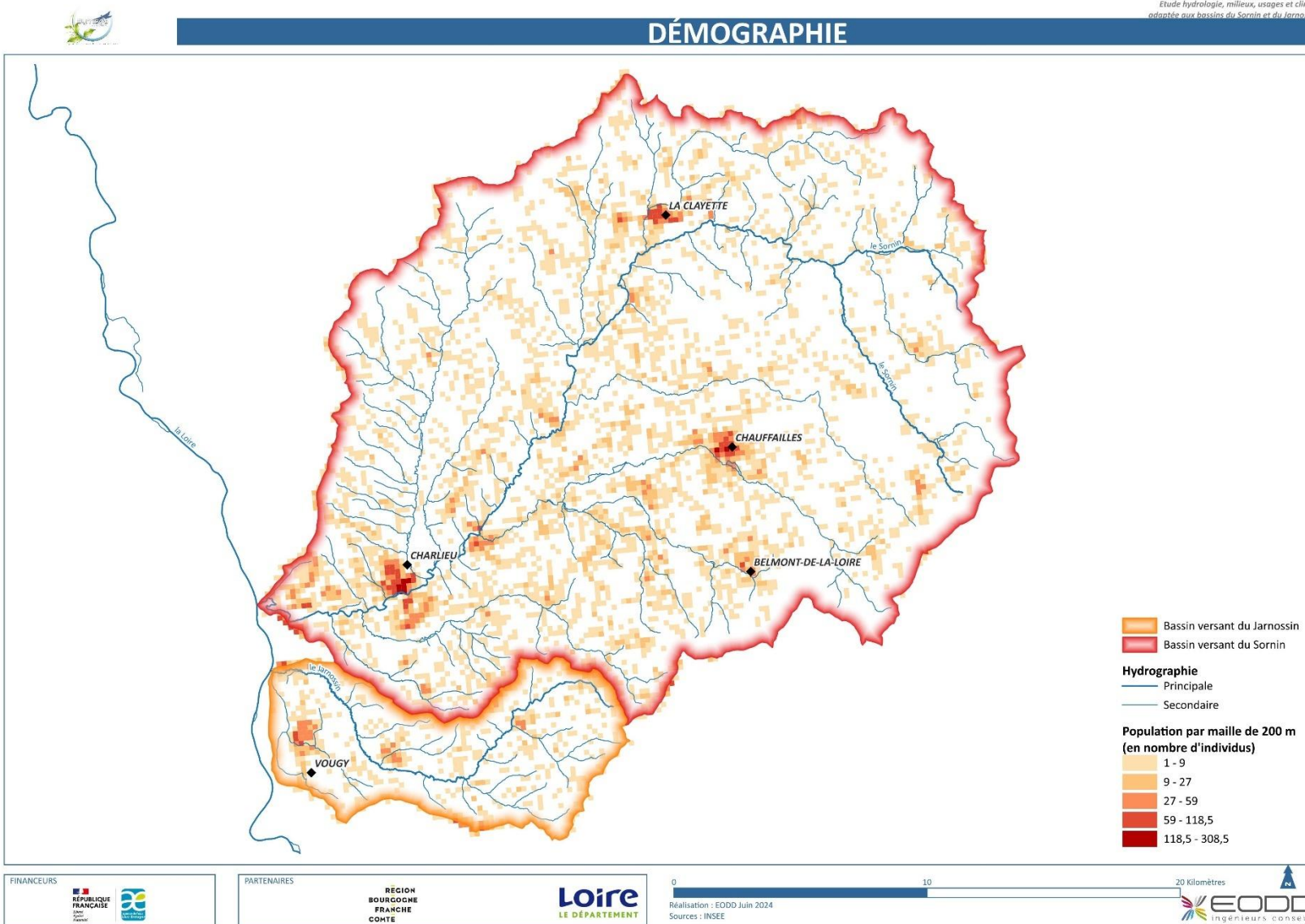
Population communale sur le territoire d'étude	Nombre de communes
> 3 000 hab.	2
1 000 < hab. < 3 000	6
500 < hab. < 1 000	15
200 < hab. < 500	24
hab. < 200	12

Tableau 1 : Démographie des bassins versants du Sornin et du Jarnossin (source : INSEE 2021)

¹ Communes dont plus de 5% de la superficie est située au sein du territoire d'étude



Carte 3 : Communes et EPCI



Carte 4 : Démographie

4.3 Contexte physique

4.3.1 Topographie

Cf. Carte 9 : Contexte topographique

Le bassin versant du Sornin, d'une superficie de 520 km². Il présente un relief vallonné sur l'amont sur l'amont et sur sa frange sud-Est. La topographie est moins contrastée au nord et sur l'aval.

A l'Est (amont du bassin versant), le relief s'élève rapidement jusqu'aux sommets des monts du Haut-Beaujolais qui avoisinent les 1000 m d'altitude (point culminant : Mont St-Rigaux à 1009 m NGF, au-dessus de la source du Sornin).

Le bassin versant du Jarnossin est nettement plus petit (68 km²). Il prend sa source à une altitude plus basse que le Sornin (environ 600 m).

4.3.2 Géologie et hydrogéologie

4.3.2.1 Géologie

Cf. e

Cf. Carte 6 : Masses d'eau souterraines

3 grands ensembles géologiques se distinguent :

- Les secteurs globalement cristallins sur les cours d'eau qui descendent du Haut-Beaujolais avec un substrat principalement composé de granite et de grès (bassins versants du Sornin amont, de la Genette, et des affluents rive gauche : Botoret, Mussy, Chandonnet amont) ;
- La zone intermédiaire et aval où des formations calcaires sont recouvertes par des colluvions tertiaires argileuses à argilo-sableuses (bassin versants des Equetteries, des Barres, du Bézo aval, du Chandonnet aval et de l'Aillant) et par des colluvions quaternaires de nature variée (haut de l'Aillant et du Chandonnet, haut et limite Ouest du Bézo) ;
- Les vallées principales comblées par des alluvions anciennes et récentes (Botoret et Mussy surtout aval, Sornin sur la quasi-totalité du linéaire et Bézo).

4.3.2.2 Conséquences hydrogéologiques

De par la diversité géologique des terrains, les ressources en eaux souterraines sont inégalement réparties sur les bassins versants.

4.3.2.2.1 Milieu granitique

Les roches granitiques sont par nature peu perméables et offrent des capacités de stockage en eau limitées. **Le contexte géologique est donc peu propice à la présence d'aquifères importants.** On trouvera des circulations d'eau profondes dans l'axe des diaclases et des failles fracturant le substrat cristallin en plus de petites zones de stockage. Ce stockage est principalement superficiel au niveau des couches d'altération des granites (ou arène granitique, communément appelée « gore »). La productivité de ces aquifères superficiels dépend de l'épaisseur de la couche d'altération qui ne dépasse généralement pas quelques décimètres sur les versants mais peut très localement atteindre plusieurs mètres dans les replats et plateaux vallonnées. Elle se manifeste surtout par des sources de petit débit ainsi que des émergences diffuses.

4.3.2.2.2 Milieu calcaire – colluvial

Les secteurs de colluvions tertiaire et quaternaire présentent un fonctionnement plus complexe de par la nature stratifiée des terrains et la présence d'argile limitant les continuités hydrauliques. **Les ressources sont souvent profondes, irrégulières, et entrecoupées dans les passées sableuses des terrains tertiaires ou quaternaires ou dans les terrains secondaires sous-jacents (calcaires et marnes).** Leur alimentation en eau de pluie est moins directe qu'en milieu granitique, d'où l'apparition de sources au débit soutenu notamment en période d'étiage (favorable à un soutien de débit des cours d'eau).

4.3.2.2.3 Plaines et vallées alluviales

Les alluvions récentes des cours d'eau possèdent des ressources généralement plus accessibles du fait de leur forte perméabilité et de leur faible profondeur. L'importance des volumes produits dépend de l'épaisseur de la couche d'alluvions et de sa largeur.

Celle du Sornin qui présente une épaisseur située entre 2 et 3 mètres est sans doute la plus productive du bassin versant (débit potentiel estimé à 140 m³/h sur le site d'exploitation de la commune de Charlieu).

Le Tableau 2 recense les masses d'eau souterraines présentes sur le territoire d'étude.

Code européen de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Caractéristique	Type d'aquifère
FRGG043	Calcaires et marnes du Jurassique du Beaujolais libres	Affleurante	Libre
FRGG045	Bassin versant de socle de la Loire bourguignonne	Affleurante	Libre
FRGG046	Alluvions de la Loire du Massif Central	Affleurante / Sous-couverture	Libre
FRGG047	Calcaires et sables du bassins tertiaire roannais libre	Affleurante	Libre

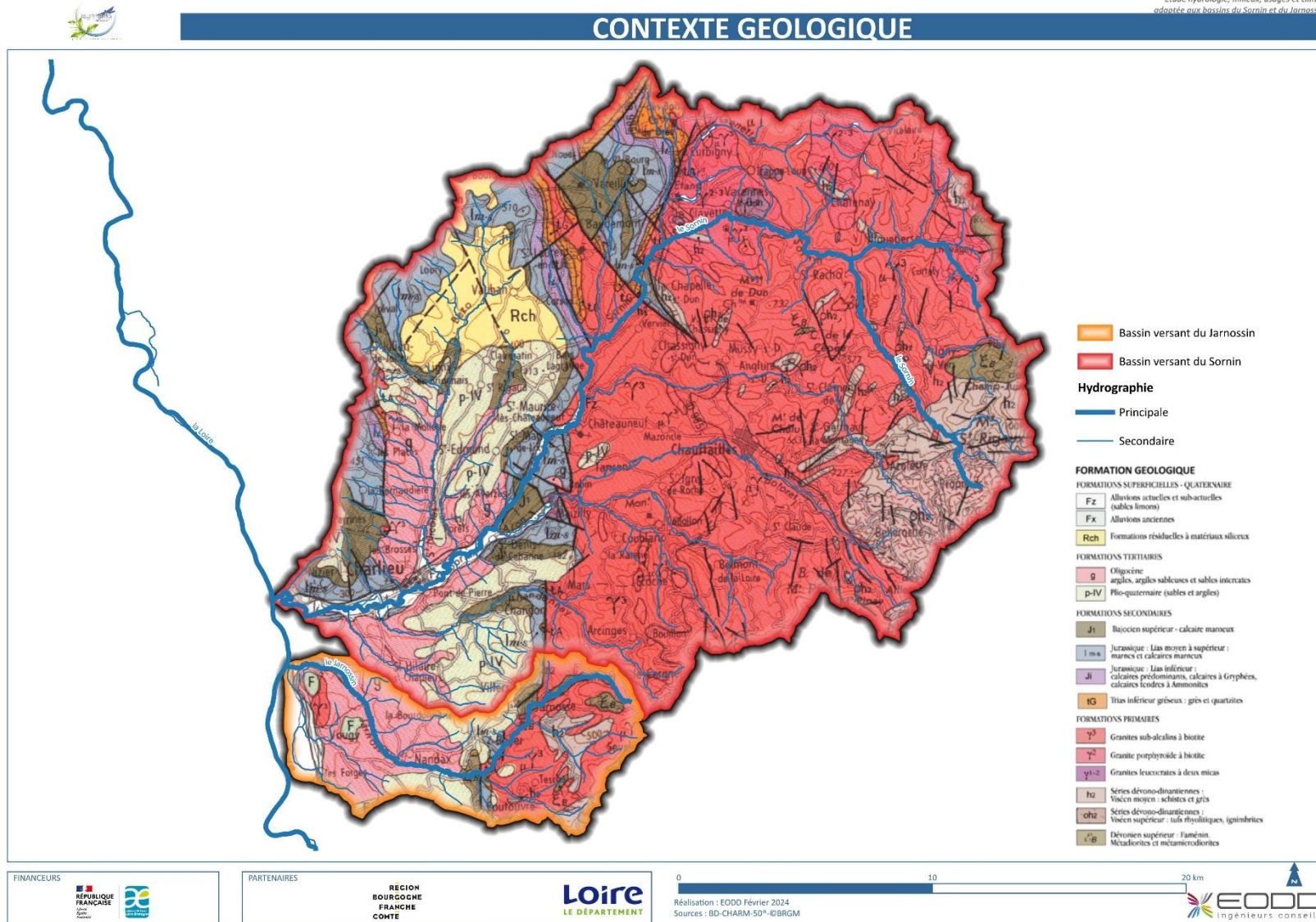
Tableau 2 : Masses d'eau souterraines

4.3.2.3 Synthèse

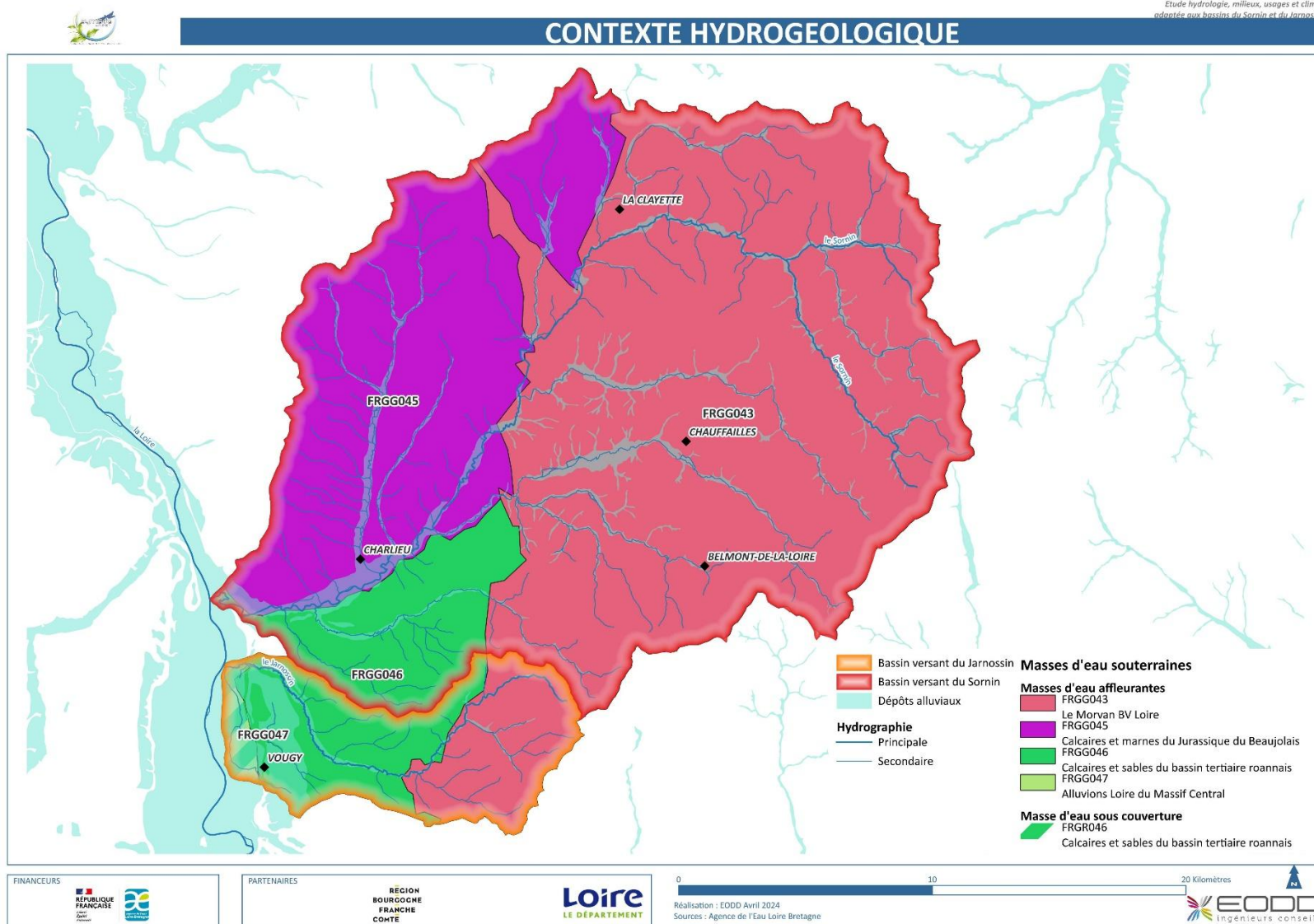
Sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin, le contexte géologique est globalement peu favorable au développement d'aquifères de grande capacité.

Seules les plaines alluvionnaires le long du Sornin et à proximité de la Loire semblent montrer un potentiel de ressource souterraine importante. Ailleurs sur le territoire la ressource souterraine est souvent localisée, peu productive et difficilement exploitable.

Des précisions sur la nappe alluviale du Sornin, notamment au droit des captages de Charlieu, sont apportés dans le chapitre lié aux usages.



Carte 5 : Contexte géologique



Carte 6 : Masses d'eau souterraines

4.4 Contexte hydrographique

Cf. Carte 7 : Contexte hydrographique

Cf. Carte 8 : Masses d'eau superficielles

Le Sornin est issu de la confluence de 3 cours d'eau prenant leur source dans le Haut-Beaujolais :

- Le Sornin de Saint Bonnet ou d'Aigueperse (Mont du Grand Bois, 600 m, commune de Saint-Bonnet-de-Bruyères)
- Le Sornin de Saint-Igny (Mont Saint-Rigaud, 1009 m, commune de Saint-Igny-de-Vers),
- Le Sornin de Propières (Mont Bonnet, 1001 m, commune de Propières).

Il s'écoule ensuite vers le Nord-Ouest, puis le Sud-Ouest sur 53 km et rejoint la Loire en rive droite à Pouilly-sous-Charlieu (253 m NGF) après avoir drainé un bassin versant d'environ 520 km². Le réseau hydrographique représente environ 250 km de cours d'eau. Les principaux affluents du Sornin sont :

En rive gauche :	En rive droite
<ul style="list-style-type: none"> • Le Mussy • Le Botoret • Le Chandonnet • L'Aillant 	<ul style="list-style-type: none"> • La Genette • Les Barres • Les Equetteries • Le Bézo

Le Jarnossin est un autre affluent en rive droite de la Loire, situé au Sud immédiat du Sornin. Long d'environ 20 km et présentant un bassin versant de 68 km², il prend sa source sur la commune de Cuinzier à 600 m d'altitude et conflue avec la Loire 2,5 km au sud du Sornin (254 m NGF).

Il possède quatre affluents principaux :

En rive gauche :	En rive droite
<ul style="list-style-type: none"> • Le Tesche • Le Colombier 	<ul style="list-style-type: none"> • Le Grand Etang • Le Fond Bonnet

Au titre de la directive cadre sur l'eau et du SDAGE Loire-Bretagne (2022-2027), le bassin versant du Sornin a été découpé en 8 masses d'eau superficielles.

Sur celui du Jarnossin, une seule masse d'eau a été définie (Tableau 3) :

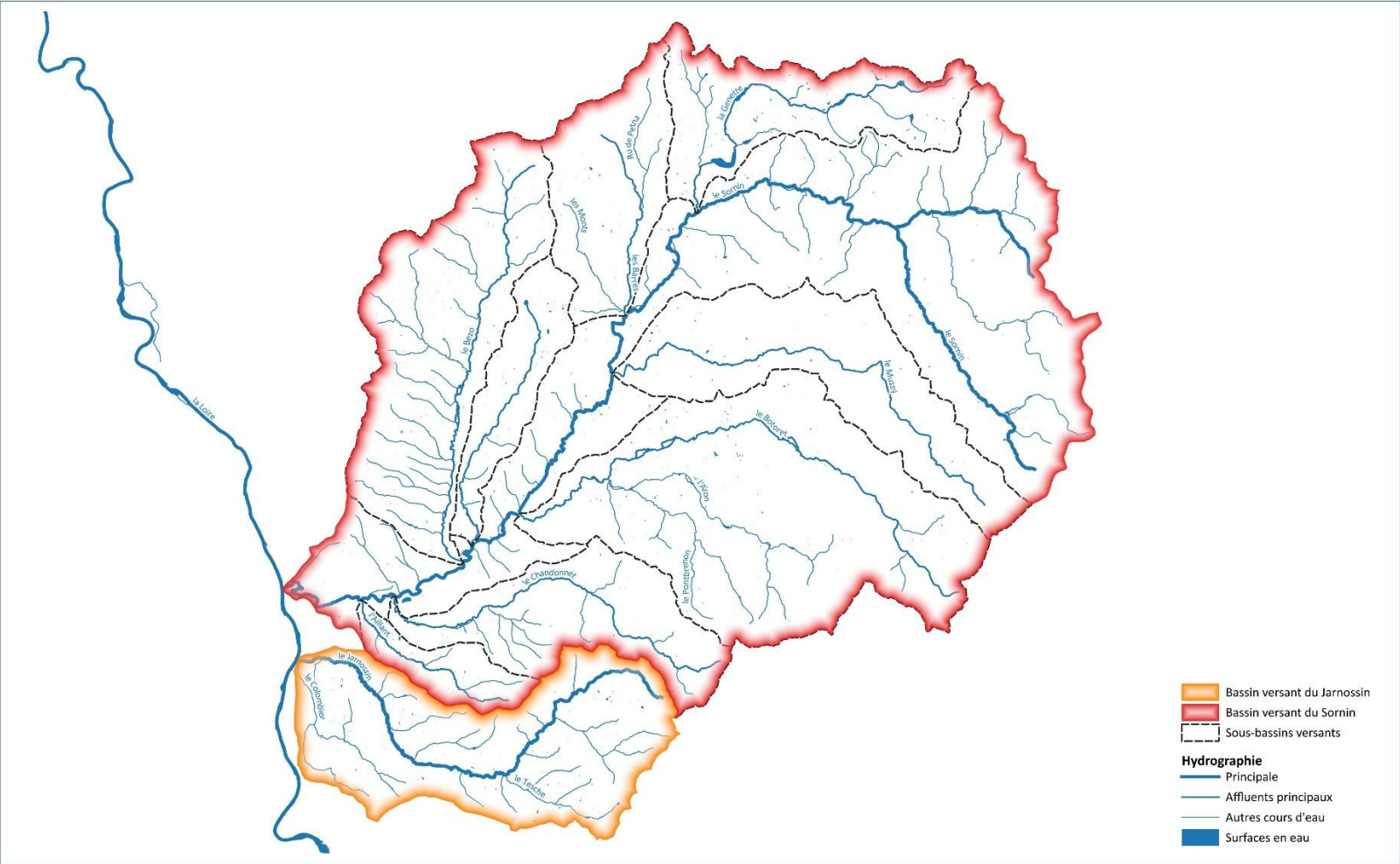
Code de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Surface de la masse d'eau (ha)
FRGR0185	Le Sornin depuis la source jusqu'à la confluence avec le Botoret	22 451
FRGR2262	La Genette	3 661
FRGR0187	Le Botoret	10 184
FRGR1740	Les Equetteries	1 905
FRGR1777	Le Bezo	6 289
FRGR1735	Le Chandonnet	3 683
FRGR1724	L'Aillant	1 138
FRGR0186	Le Sornin de la confluence avec le Botoret jusqu'à la confluence avec la Loire	2 526
FRGR1722	Le Jarnossin	6 758

Tableau 3 : Masses d'eau superficielles



Etude hydrologie, milieux, usages et climat adaptée aux bassins du Sornin et du Jarnossin

CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE



FINANCEURS

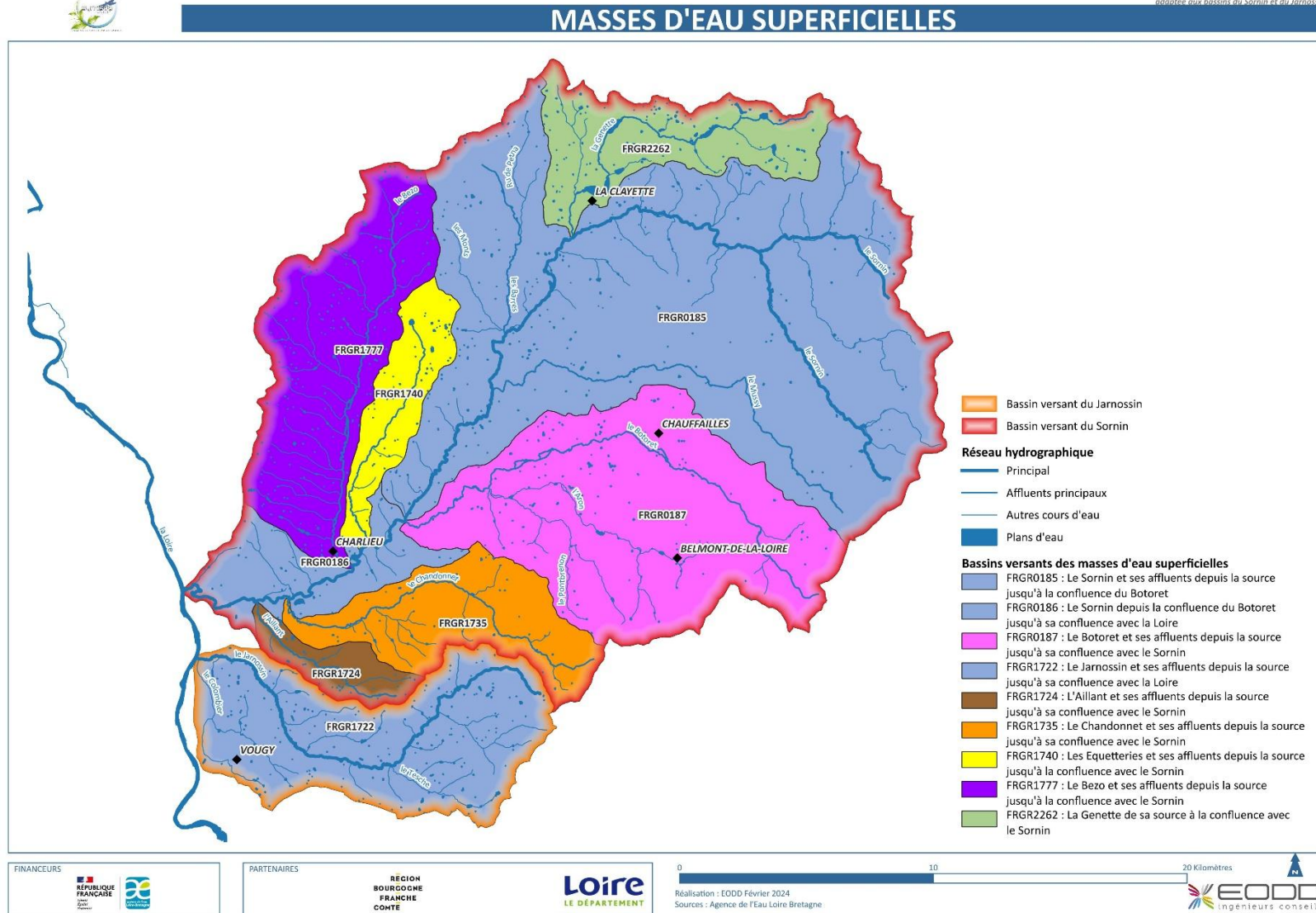
PARTENAIRES

REGION BOURGOGNE FRANCHE COMTE

0 10 20 Kilomètres

Réalisation : EODD Février 2024
Sources : BD-TOPO®-IGN

Carte 7 : Contexte hydrographique



Carte 8 : Masses d'eau superficielles

4.5 Occupation du sol

Cf. Carte 10 : Occupation du sol (source : CLC)

Le type d'occupation du sol conditionne la répartition des pluies efficaces (infiltration, ruissellement), et donc leur contribution à la recharge des nappes et à l'alimentation des cours d'eau.

Les bassins versants du Sornin et du Jarnossin sont majoritairement couverts par des terres agricoles (75%) avec **principalement des prairies** et des secteurs forestiers (21%). Les terres artificialisées représentent quant à elle moins de 4% (Tableau 4 – source : Corine Land Cover).

Occupation du sol	Surface (en ha)	Ratio
TERRITOIRES ARTIFICIALISES		
Zones urbanisées	2089	3,6%
Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	116	0,2%
Mines, décharges et chantiers	0	0,0%
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0	0,0%
TOTAL TERRITOIRES ARTIFICIALISES	2205	3,8%
TERRITOIRES AGRICOLES		
Terres arables	621	1,1%
Cultures permanentes	0	0,0%
Prairies	36902	62,8%
Zones agricoles hétérogènes	6470	11,0%
TOTAL TERRITOIRES AGRICOLES	43992	74,9%
FORETS ET MILIEUX SEMI-NATURELS		
Forêts	12377	21,1%
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	96	0,2%
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	0	0,0%
TOTAL FORETS ET MILIEUX SEMI-NATURELS	12473	21,2%
SURFACES EN EAU		
Eaux continentales	58	0,1%
TOTAL SURFACES EN EAU	58	0,1%
TOTAL	58729	100%

Tableau 4 : Occupation du sol (source : CLC)

4.5.1 Territoires artificialisés

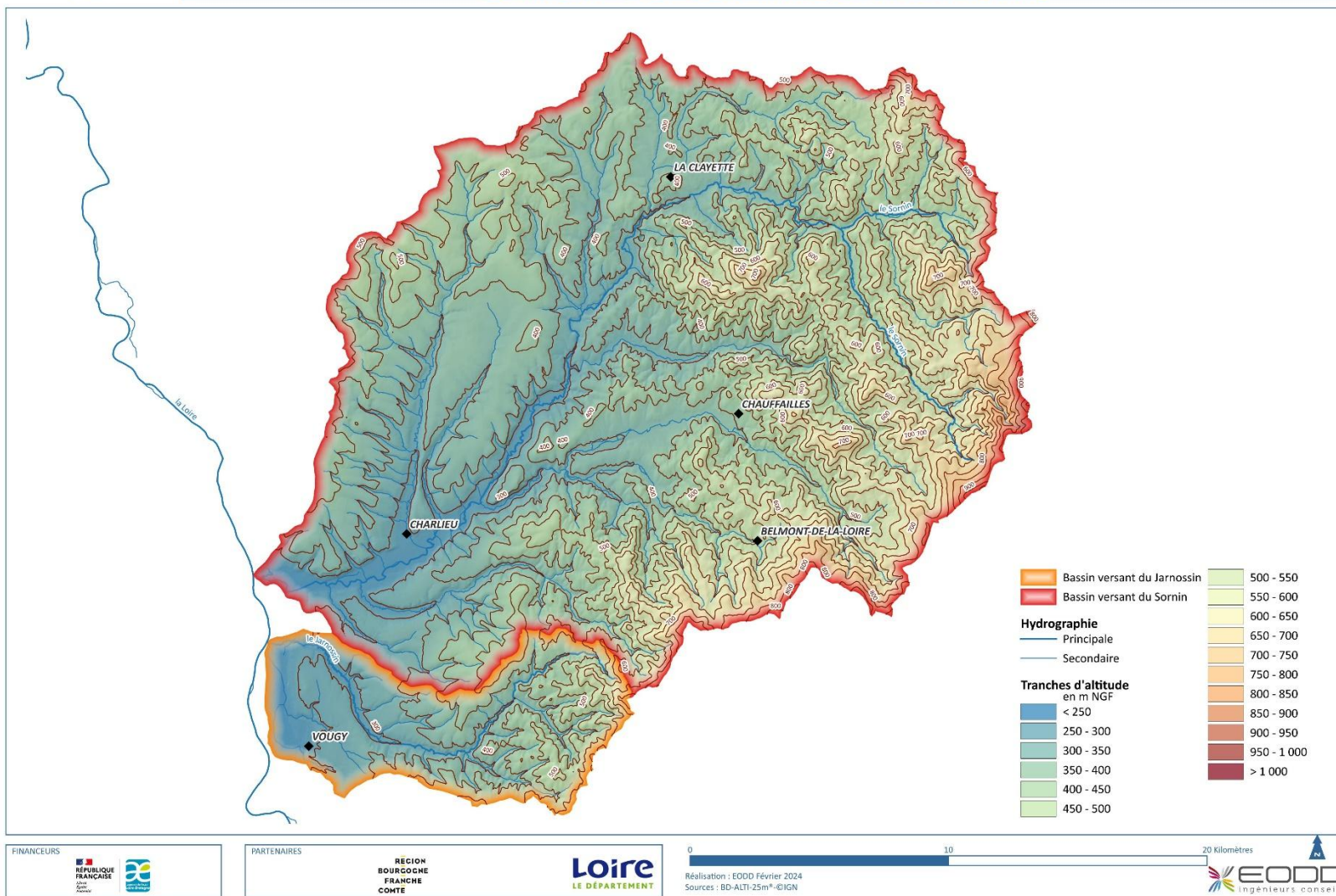
Les zones urbanisées ne couvrent qu'une très petite partie du territoire (4%), elles se situent majoritairement autour des villes de Charlieu, Chauffailles et la Clayette.

L'urbanisation se traduit par une imperméabilisation des sols qui augmente le ruissellement au détriment de l'infiltration. En aval d'une zone urbanisée, chaque épisode pluvieux génère donc un à-coup d'eau. A l'inverse, en période étiage il n'y a pas de restitution d'eau par les sols. De plus, le ruissellement augmente la pollution des eaux (matières en suspension, hydrocarbures, ...)

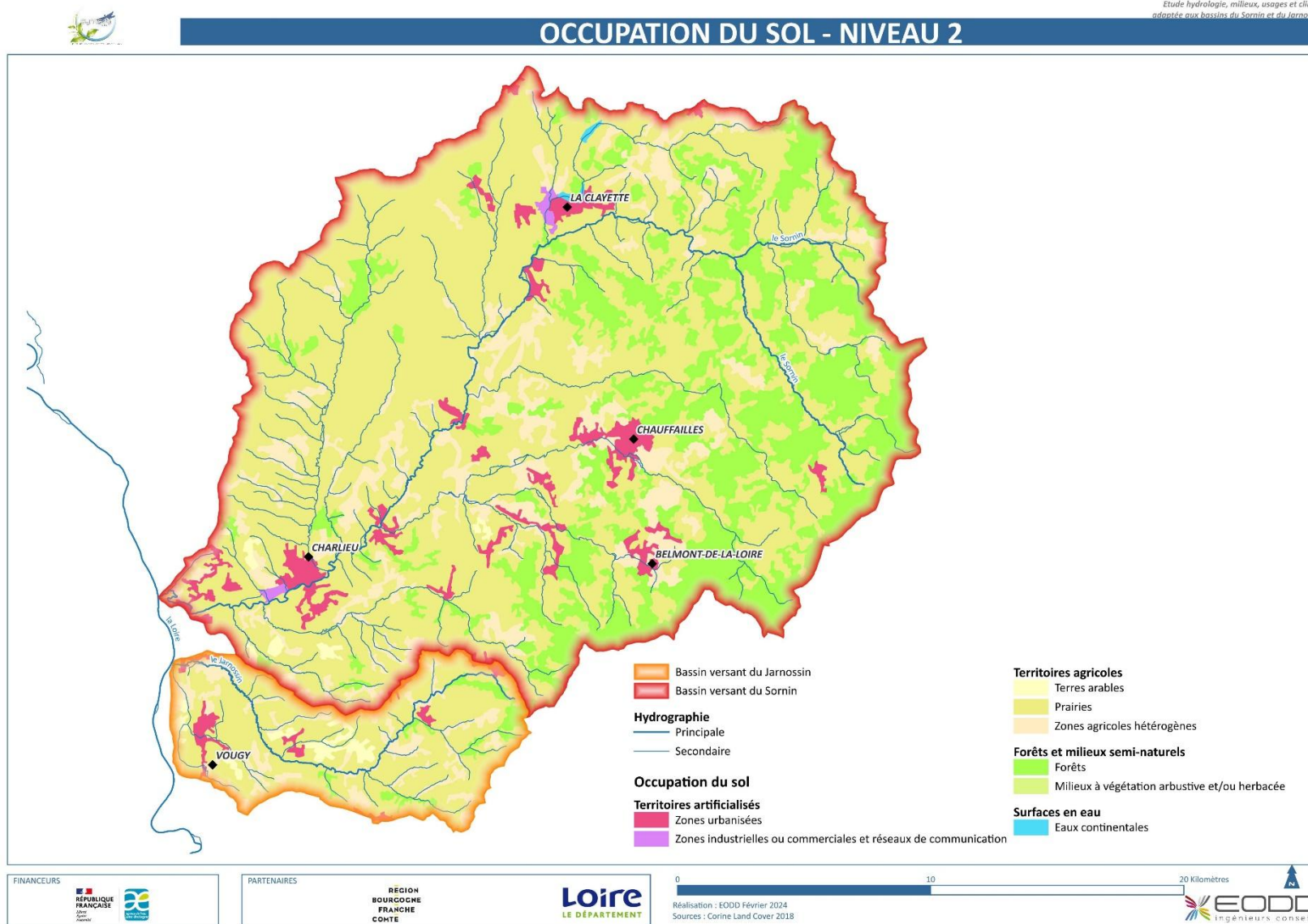
A l'échelle du territoire, l'incidence des espaces artificialisés sur le bilan en eau global reste toutefois peu significative vue leur faible proportion.



CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE : ALTIMETRIE



Carte 9 : Contexte topographique



Carte 10 : Occupation du sol (source : CLC)

4.5.2 Territoires agricoles

Les 3/4 du territoire d'étude sont couverts par des espaces agricoles.

Les prairies sont largement majoritaires. Elles couvrent 63 % des espaces agricoles et se retrouvent sur tout le territoire.

Le type de culture (et donc de couvert végétal), mais également les pratiques agricoles (notamment le travail du sol) peuvent largement influencer le bilan en eau à l'échelle d'un territoire (ratio entre infiltration et ruissellement des eaux de pluies). La part importante de prairies est globalement favorable un ralentissement des ruissellements et à l'infiltration des eaux de pluies.

Une analyse plus développée du contexte agricole est proposée est au paragraphe 8.3.1.

4.5.3 Forêts et milieux semi-naturels

Cf. Carte 11 : Peuplements forestiers

21% du territoire d'étude est couvert par des espaces forestiers.

Sur l'amont des bassins versants en rive gauche du Sornin, les conifères représentent plus de 50% des surfaces.

Les forêts permettent de maintenir les sols en place grâce au réseau racinaire, de stocker le CO₂, et contribuent au cycle de l'eau (part de l'« eau verte », cf. Figure 1).

Conserver un couvert forestier en bon état est donc bénéfique à la ressource en eau d'un territoire.

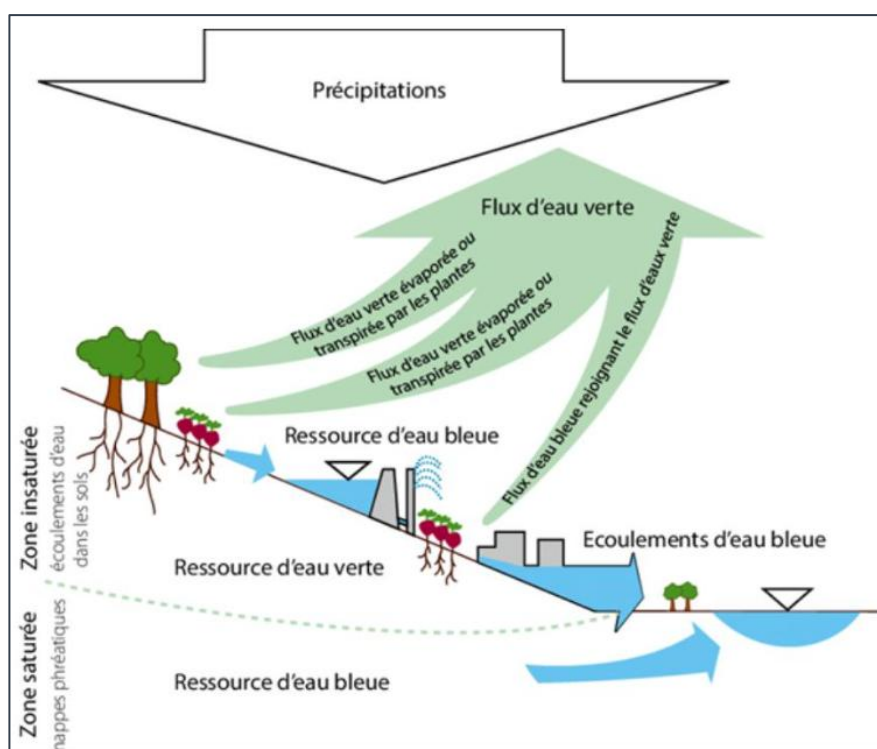
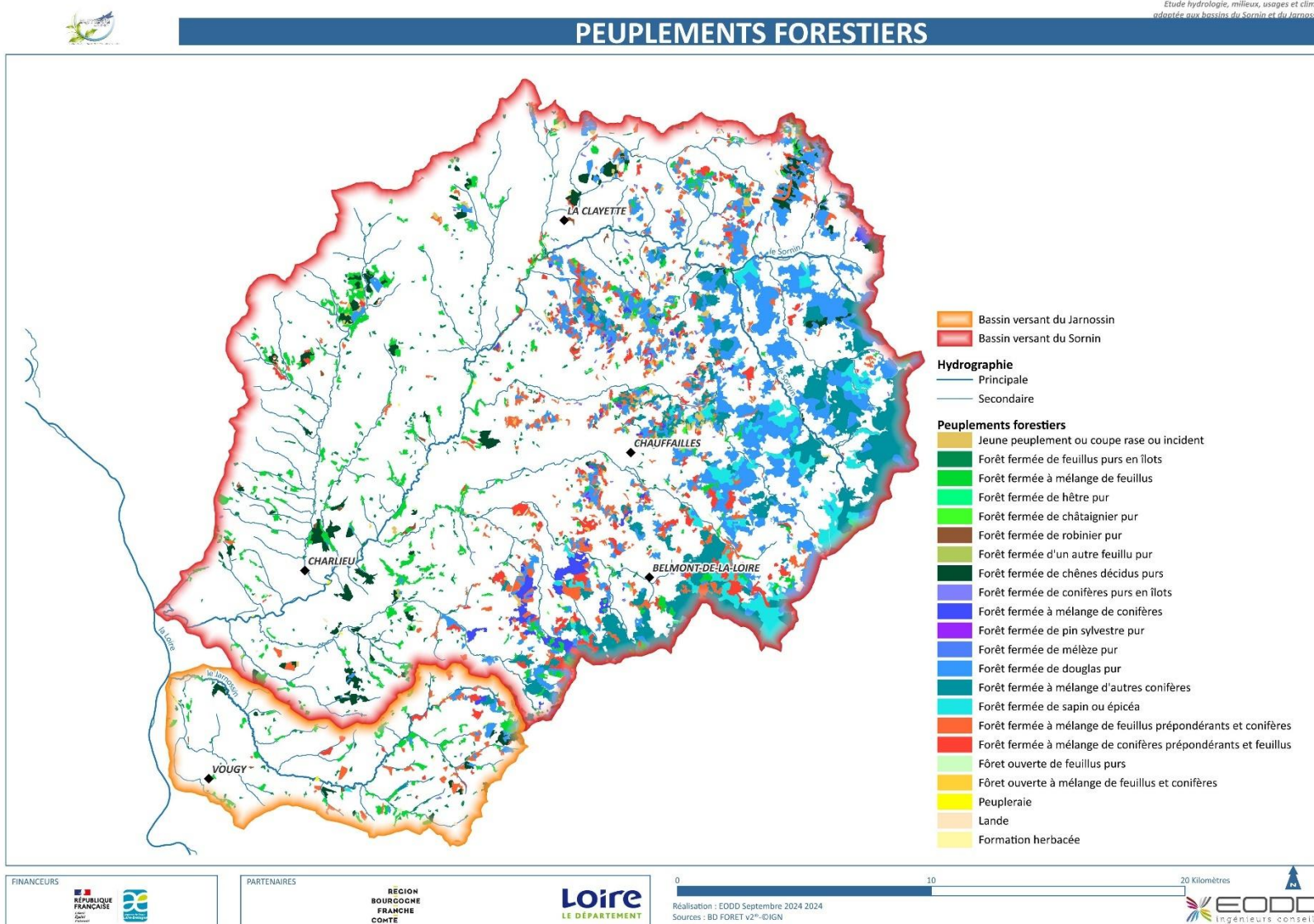


Figure 1 : Flux d'eau verte et écoulement d'eau bleue (source : Abdelkader Hamdane, 2021)



Carte 11 : Peuplements forestiers

5. Volet climat

5.1 Analyse des évolutions passées

5.1.1 Préambule

Le volet climatique de l'étude se base sur les données météorologiques « officielles » fournies par Météo-France.

L'ouverture en *Open Data*² de la majorité de ces données au 1^{er} janvier 2024 a permis d'exploiter un nombre de données important.

Deux types de données ont été utilisées pour traiter ce volet climat :

- Des **données localisées** (stations météorologiques au sol),
- Des **données spatialisées** (maillage SAFRAN).

Les paragraphes suivants décrivent en détail ces données, et dans quelles mesures elles ont été valorisées.

Le pas de temps d'extraction des données est mensuel, ce qui permet par la suite un traitement à l'échelle annuelle et saisonnière.

Pour les analyses saisonnières, les saisons ont été définies de la sorte :

- Hiver = janvier / février / mars
- Printemps = avril / mai / juin
- Eté = juillet / août / septembre
- Automne = octobre / novembre / décembre

Des données « amateurs » (particulier habitant sur le territoire et possédant une station météo personnelle) nous ont également été fournies par le SYMISOA. Ces données sont présentées au paragraphe 5.1.2.3.

5.1.2 Données localisées

5.1.2.1 Le réseau de suivi Météo-France

Cf. Carte 12 : Stations Météo-France

20 stations météorologiques du réseau Météo-France sont présentes sur ou à proximité immédiate de la zone d'étude.

Le Tableau 5 ci-après synthétise ces stations avec leurs caractéristiques respectives (localisation, altitude, chronique de mesure et paramètres mesurés).

Le code couleur sur le nom de la station indique si elle est positionnée à l'intérieur ou à l'extérieur du bassin versant du Sornin ou du Jarnossin (vert = à l'intérieur, rouge = à l'extérieur).

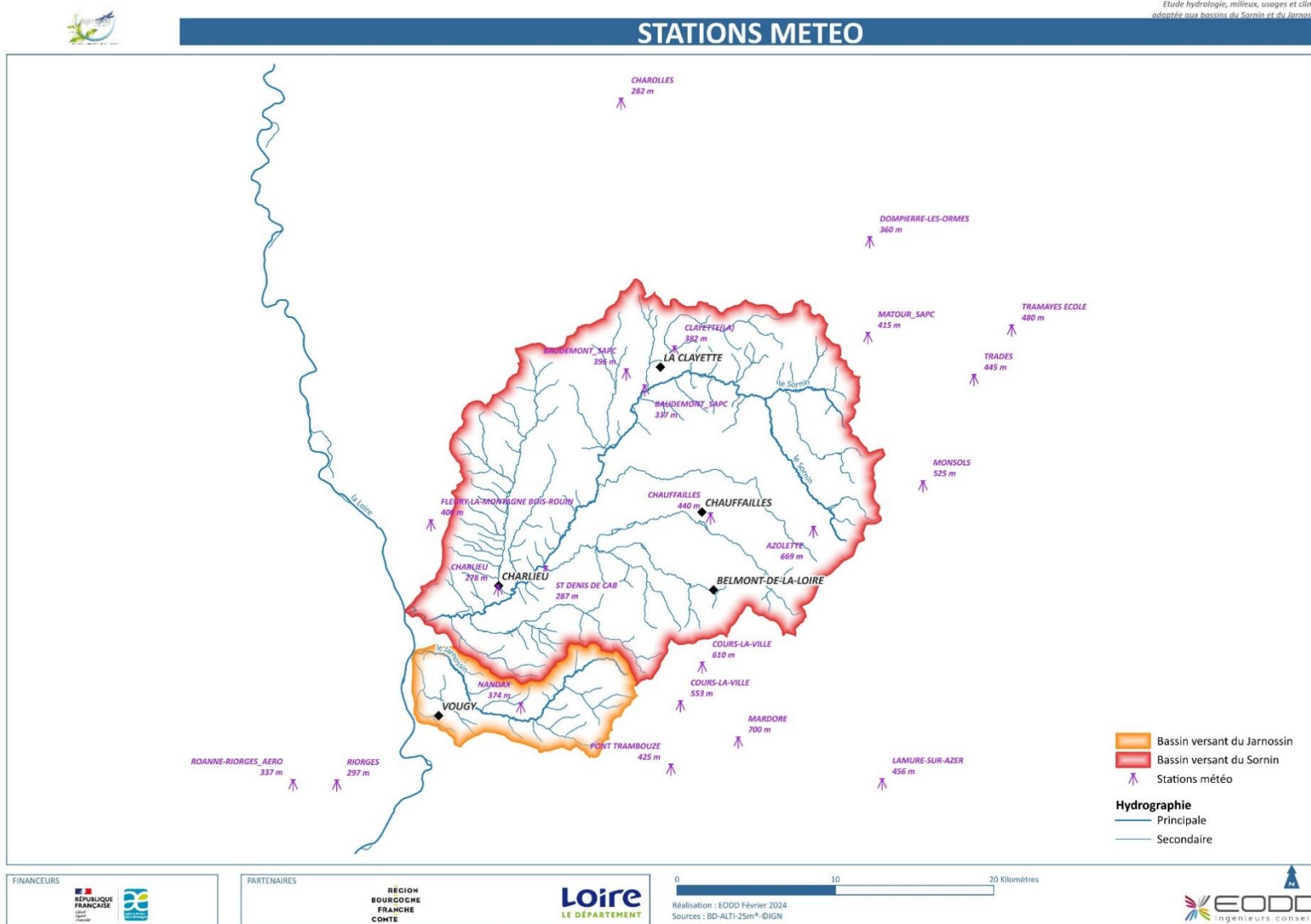
² <https://meteo.data.gouv.fr/>

Département	Nom de la station	Code	Altitude	Chronique de mesure	Paramètres mesurés			
					Précipitations	Température	Vent	Autres
42	Charlieu	42052002	278 m	1993 – 2021	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	Moyen Rafale maximale Direction du vent maximal	X
	Nandax	42152001	374 m	1954 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	St-Denis-de-Cabanne	42215001	287 m	1950 – 2020	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Riorges	42184001	283 m	1950 – 2021	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Roanne – Aero	42253001	337 m	2005 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	Moyen Rafale maximale Direction du vent maximal	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)

Département	Nom de la station	Code	Altitude	Chronique de mesure	Paramètres mesurés			
					Précipitations	Température	Vent	Autres
69	Azolette	69161001	669 m	1985 – 2020	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Lamure-sur-Azergues	69107001	456 m	1950 – 2020	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités		X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Mardore / Thizy-les-Bourgs	69248003	700 m	1973 – 2015	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Monsols	69135001	525 m	1950 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités		X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Pont-Trambouze / Cours	69158001	425 m	1999 – 2020	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Trades / Deux-Grosnes	69251001	445 m	1950 – 2020	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Cours-la-Ville / Cours	69066001	553 m	1986 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)

Département	Nom de la station	Code	Altitude	Chronique de mesure	Paramètres mesurés			
					Précipitations	Température	Vent	Autres
71	Baudemont	71022001	337 m	1998 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	X	Phénomènes physiques (jours de neige)
	Chauffailles	71120001	440 m	1975 – 2019	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	La Clayette	71133002	382 m	1992 – 1998	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	X	Phénomènes physiques (jours de neige)
	Charolles	71106001	282 m	1950 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	X	Phénomènes physiques (jours de neige, orage, brouillard)
	Matour	71289001	415 m	1989 – 2022	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	Moyenne mensuelle Nombre de jours de gelées / fortes chaleurs	Moyen Rafale maximale Direction du vent maximal	Phénomènes physiques (jours de neige)
	Dompierre-les-Ormes	71178001	360 m	1952 – 1983	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige)
	Fleury-la-Montagne	71200001	400 m	1951 – 1990	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige)
	Tramayes	71545001	480 m	1950 – 1980	Cumul mensuel Nombre de jours de fortes intensités	X	X	Phénomènes physiques (jours de neige)

Tableau 5 : Stations météorologiques (source : Open Data Météo-France)



Carte 12 : Stations Météo-France

Ces stations sont donc réparties de la façon suivante :

- 5 dans la Loire (42)
- 7 dans le Rhône (69)
- 8 dans la Saône-et-Loire (71)

Trois stations possèdent des chroniques relativement anciennes (arrêt des mesures dans les années 1980), toutes situées dans le 71 : Dompierre-les-Ormes, Fleury-la-Montagne, Tramayes.

Neuf stations sont uniquement des pluviomètres : Azolette (69), Mardore / Thizy-les-Bourgs (69), Pont-Trambouze / Cours (69), Trades / Deux-Grosnes (69), Cours-la-Ville / Cours (69), Chauffailles (71), Dompierre-les-Ormes (71), Fleury-la-Montagne (71), Tramayes (71).

Enfin, seules trois stations mesurent le paramètre « vent » : Charlieu (42), Roanne-Aero (42) et Matour (71).

La Figure 2 synthétise la période de mesure couverte par chaque station, ainsi que les types de paramètre mesurés.

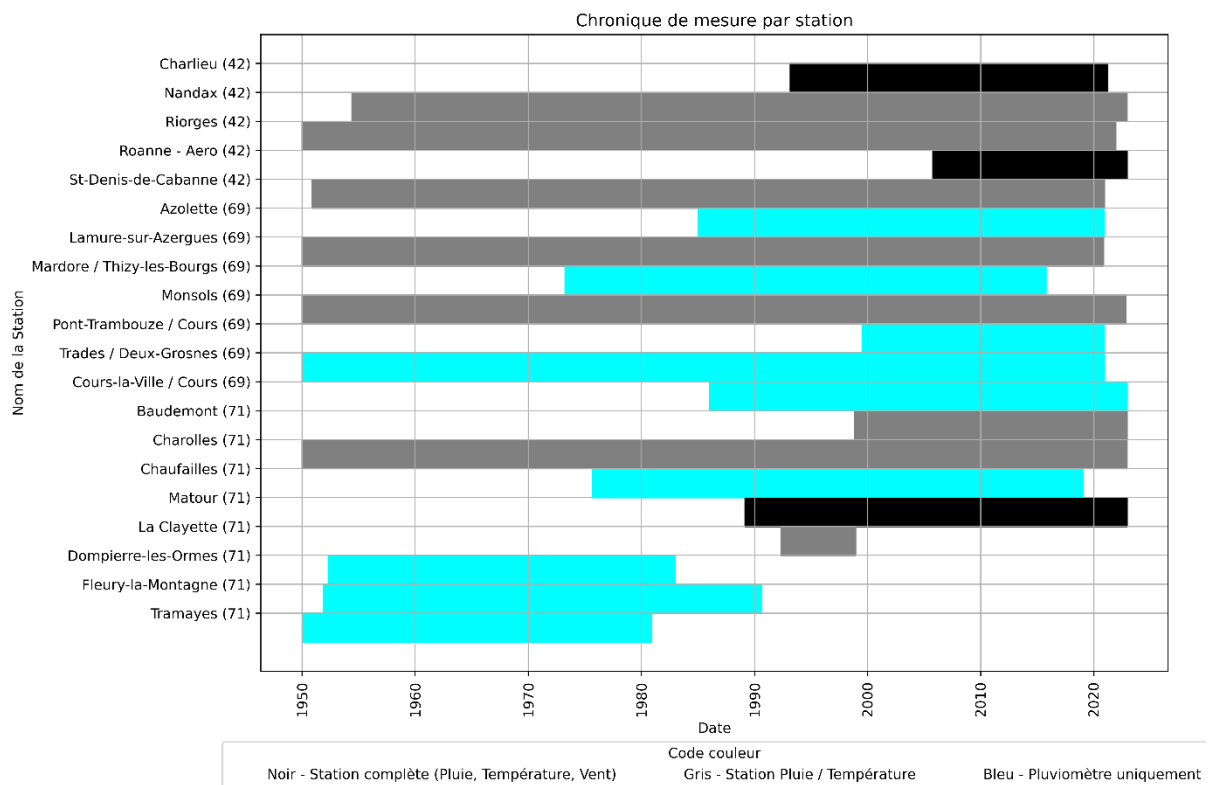


Figure 2 : Chronique de mesure par station*

* = cette période recouvre l'amplitude maximale où des mesures existent à la station, il se peut cependant qu'au sein de cette période certains paramètres ne soient pas disponibles sur une courte durée

5.1.2.2 Résultats des suivis des stations Météo-France

Les données des stations météorologiques sont étudiées aux échelles saisonnière et annuelle, sous forme de représentation graphique incluant l'ensemble du panel.

Néanmoins, en raison de la grande hétérogénéité entre les chroniques de mesures des stations, pour définir des tendances d'évolutions sur le territoire il a été choisi de se focaliser uniquement sur quelques-unes d'entre elles.

Deux stations météorologiques ont été étudiées pour présenter plus précisément l'évolution de certains paramètres climatiques sur le territoire : Nandax (42) et Monsols (69). Ces deux stations ont été choisies car elles présentent de longues chroniques de mesure (> 50 ans), et sont relativement distantes l'une de l'autre (la première étant positionné au Sud-Ouest de la zone d'étude, la seconde au Nord-Est). Cela permet d'avoir une vision représentative de deux contextes du bassin versant (Monsols est hors zone d'étude mais située à moins de 2km de la tête du bassin versant du Sornin).

5.1.2.2.1 Précipitations

• Cumul de précipitations

Les chroniques des stations météorologiques montrent que sur le territoire d'étude (ou en périphérie proche) la pluviométrie annuelle est plus importante en altitude qu'en plaine (Figure 3). Globalement elle s'échelonne de 550 à 1000 mm/an, les stations de plaines situées dans le 71 étant les plus sèches (Baudemont, Charolles) tandis que les hauteurs des monts du Beaujolais sont les secteurs les plus arrosés.

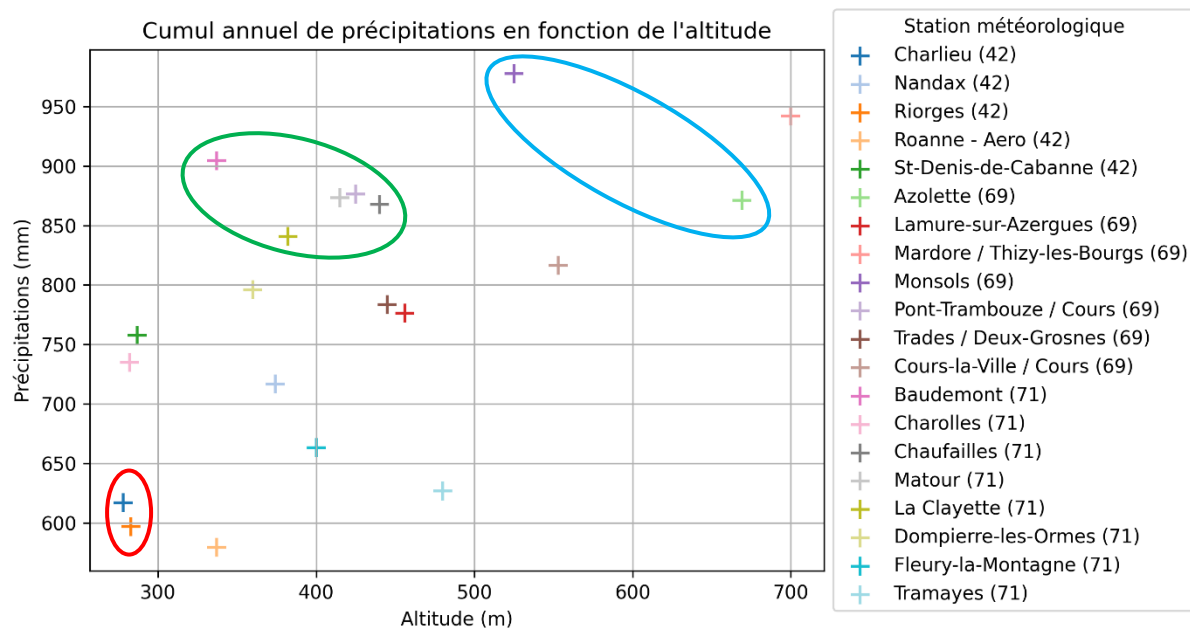


Figure 3 : Cumul annuel de précipitations en fonction de l'altitude (m NGF)

Trois « clusters » de stations³ peuvent être définis à partir du graphique :

- L'aval du bassin versant au Sud-Ouest (rouge) : Charlieu, Riorges.
- Le Nord du bassin versant (vert) : Baudemont, Chauffailles, Matour.
- L'amont du bassin versant à l'Est (bleu) : Azolette, Monsols.

³ Seules les stations présentant une chronique > 15 ans avec de la donnée sur les 5 dernières années sont prises en compte.

Sur la chronique de ces deux stations, les cumuls saisonniers ont été calculés pour chaque année depuis le début de l'historique, puis comparés entre eux. L'analyse révèle des **tendances d'évolution différentes selon les saisons** (Tableau 6).

Station	Evolution du cumul de précipitations par saisons (Ecart moyenne 2012-2022 par rapport à moyenne 1955-1965)			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Nandax (42) 1955 – 2022	+12 mm (+8 %)	+58 mm (+28 %)	+28 mm (+12 %)	+59 mm (+34%)
Monsols (69) 1955 - 2022	-1 mm (0 %)	+21 mm (+8 %)	-61 mm (-20 %)	+67 mm (+25 %)

Tableau 6 : Evolution du cumul saisonnier des précipitations (ensemble de l'historique de mesures)

Il ressort surtout que partout les cumuls hivernaux ont très peu évolué, tandis que les cumuls automnaux et printaniers ont augmenté. Les tendances sont en revanche contrastées pour la période estivale (augmentation à Nandax située en plaine, baisse à Monsols en zone de reliefs).

En termes de valeurs statistiques, les données disponibles des stations météorologiques informent sur les fortes précipitations, avec pour chaque année le nombre de jours où le cumul dépasse plusieurs seuils : 1 mm, 5 mm, 10 mm, 30 mm, 50 mm et 100 mm.

Ces seuils ont été analysés pour différentes périodes sur les stations de Nandax (Tableau 7) et de Monsols (Tableau 8).

Nandax (42)	Moyenne par an de jours avec cumul					
	> 1 mm	> 5 mm	> 10 mm	> 30 mm	> 50 mm	> 100 mm
1955 - 2022	121	53	25	3	1	0
1961 - 1990	119	53	25	2	0	0
1971 - 2000	120	54	26	3	0	0
1981 - 2010	123	55	26	3	0	0
1991 - 2020	125	55	26	4	1	0

Tableau 7 : Statistiques sur les pluies à la station de Nandax (42)

Monsols (69)	Moyenne par an de jours avec cumul					
	> 1 mm	> 5 mm	> 10 mm	> 30 mm	> 50 mm	> 100 mm
1950 - 2022	133	75	38	4	1	0
1951 - 1980	132	75	38	4	1	0
1961 - 1990	134	78	40	5	0	0
1971 - 2000	135	77	40	4	0	0
1981 - 2010	136	75	40	4	1	0
1991 - 2020	135	73	38	4	1	0

Tableau 8 : Statistiques sur les pluies à la station de Monsols (69)

On constate une relative stabilité des fréquences, quelle que soit l'intensité de précipitations choisie.

5.1.2.2.2 Températures

Les séries de données disponibles montrent que les températures moyennes annuelles sont proches des 10°C en plaine, et voisines des 8-9°C sur les secteurs les plus en altitude (Figure 6).

Les « clusters » définis dans le paragraphe 5.1.2.2.1 Précipitations ont été représentés sur le graphique ci-dessous, dans la mesure où la donnée était disponible (certaines stations ne mesurent pas la température).

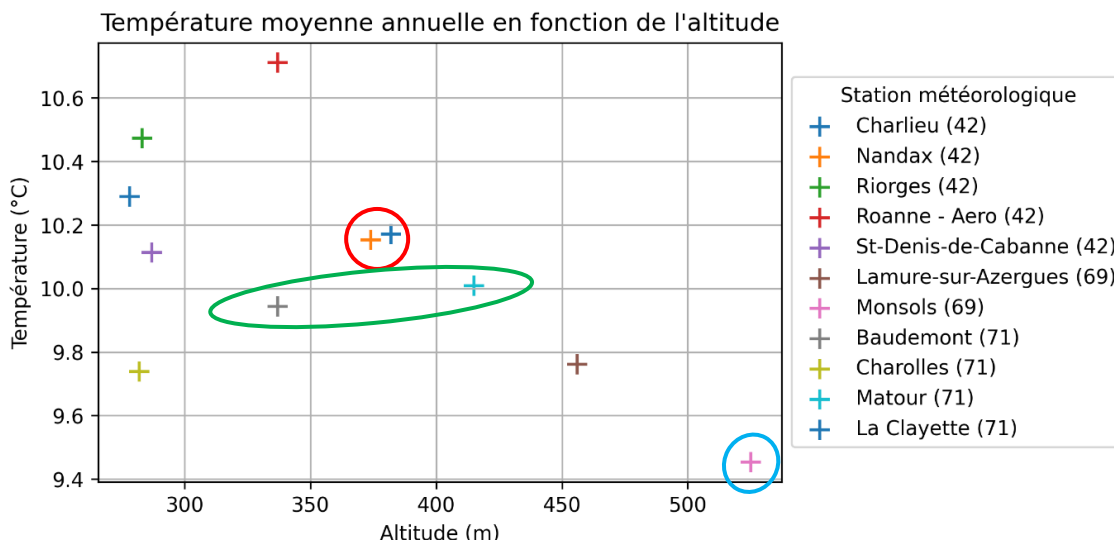


Figure 6 : Température moyenne annuelle en fonction de l'altitude (m NGF)

Comme pour les précipitations, l'évolution des températures moyennes annuelles sur les stations de Nandax (42) et Monsols (69) a été représentée en frise de couleur (Figure 7) montrant les anomalies par rapport à la moyenne sur la période considérée (« warming stripes »). Une bande bleue représente une année anormalement froide, et inversement une bande rouge représente une année anormalement chaude.

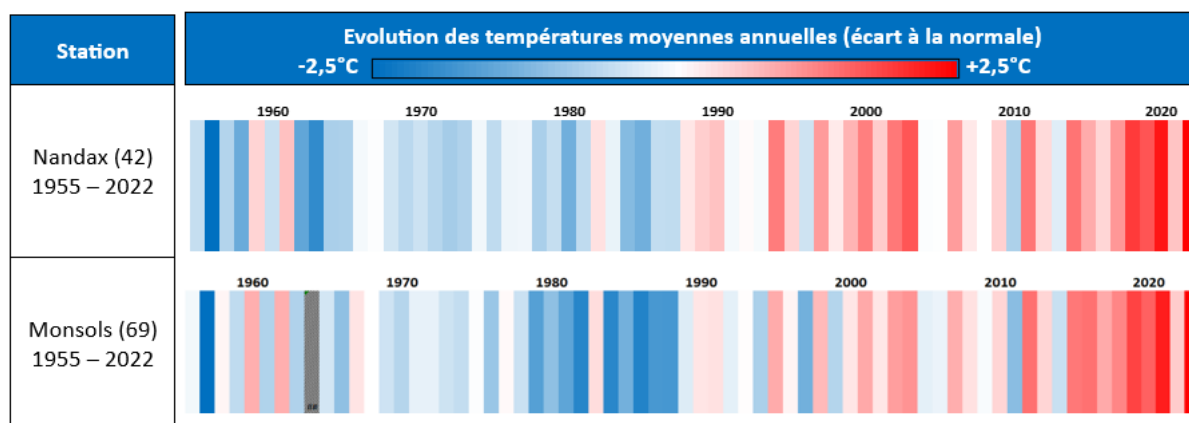


Figure 7 : Ecart à la moyenne (1955 – 2022) des températures moyennes annuelles à Nandax (42)

Les résultats montrent une succession d'années plus chaudes que la moyenne sur les deux dernières décennies, avec une hausse de la température moyenne. Ces dernières années une anomalie de température de +2,5°C est constatée par rapport à la normale sur la période de référence des stations (= moyenne sur l'ensemble de la chronique de mesure).

Comme pour les précipitations, l'évolution des températures saisonnières a été calculée sur l'ensemble de la chronique des deux stations. Les résultats sont synthétisés ci-dessous (Tableau 9) :

Station	Evolution des températures moyennes par saison			
	Ecart moyenne 2012-2022 par rapport à la moyenne 1955-1965 entre ()			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Nandax (42)	+1.6°C (3.9°C)	+1.8°C (12.9°C)	+2.1°C (17.4°C)	+2.5°C (6.6°C)
Monsols (69)	+1.7°C (3.0°C)	+1.1°C (12.8°C)	+1.5°C (17.2°C)	+2.3°C (5.7°C)

Tableau 9 : Evolution des températures moyennes saisonnières

On constate une hausse comprise entre +1.0°C et +2.5°C selon les saisons. En termes d'anomalies l'automne ressort nettement comme la saison qui s'est le plus réchauffée. Inversement c'est en hiver et au printemps que la hausse est la moins perceptible.

Le nombre de jours de franchissement de certains seuils de températures est également disponible par année, avec :

- Sur les températures maximales les seuils suivants : < 0°C, > 25°C, > 30°C et > 35°C.
- Sur les températures minimales les seuils suivants : < -10°C, < -5°C et < 0°C.

Les synthèses en moyenne annuelle par décennie et pour l'ensemble de la période de suivi sont présentées ci-dessous pour les stations de Nandax (Tableau 10) et Monsols (Tableau 11).

Nandax (42)	Moyenne par an de jour de						
	Température maximale				Température minimale		
	< 0°C	> 25°C	> 30°C	> 35°C	< -10°C	< -5°C	< 0°C
1955 - 2022	9	59	17	2	3	16	67
1961 - 1990	11	55	15	1	4	20	78
1971 - 2000	8	56	14	1	2	15	68
1981 - 2010	8	59	17	2	2	15	65
1991 - 2020	7	63	20	3	2	11	55

Tableau 10 : Statistiques sur les températures à la station de Nandax (42)

Monsols (69)	Moyenne par an de jour de						
	Température maximale				Température minimale		
	< 0°C	> 25°C	> 30°C	> 35°C	< -10°C	< -5°C	< 0°C
1950 - 2022	13	47	12	1	4	19	79
1951 - 1980	12	43	10	0	5	22	85
1961 - 1990	14	39	8	0	4	21	84
1971 - 2000	13	40	8	0	3	18	81
1981 - 2010	15	44	10	1	3	20	79
1991 - 2020	12	53	15	2	3	17	73

Tableau 11 : Statistiques sur les températures à la station de Monsols (69)

Des tendances assez claires apparaissent avec une hausse du nombre de « jours de chaleurs » (maximales > 25°C) et une baisse du nombre de jours avec des gelées (minimales < 0°C).

Les évolutions sont comparables entre les deux stations, ce qui illustre une tendance globale sur l'ensemble du territoire.

En un demi-siècle, les statistiques montrent que le territoire a perdu une dizaine de jours de gel, et gagné une dizaine de « jours de chaleur ».

5.1.2.2.3 Vent

Il existe peu de données concernant le vent sur le territoire.

La rose des vents de la station de Roanne – Aero (Figure 8), une des 3 stations du panel Météo-France mesurant ce paramètre, montre sur l'année 2022 une large dominance des vents méridiens (= Nord ou Sud).

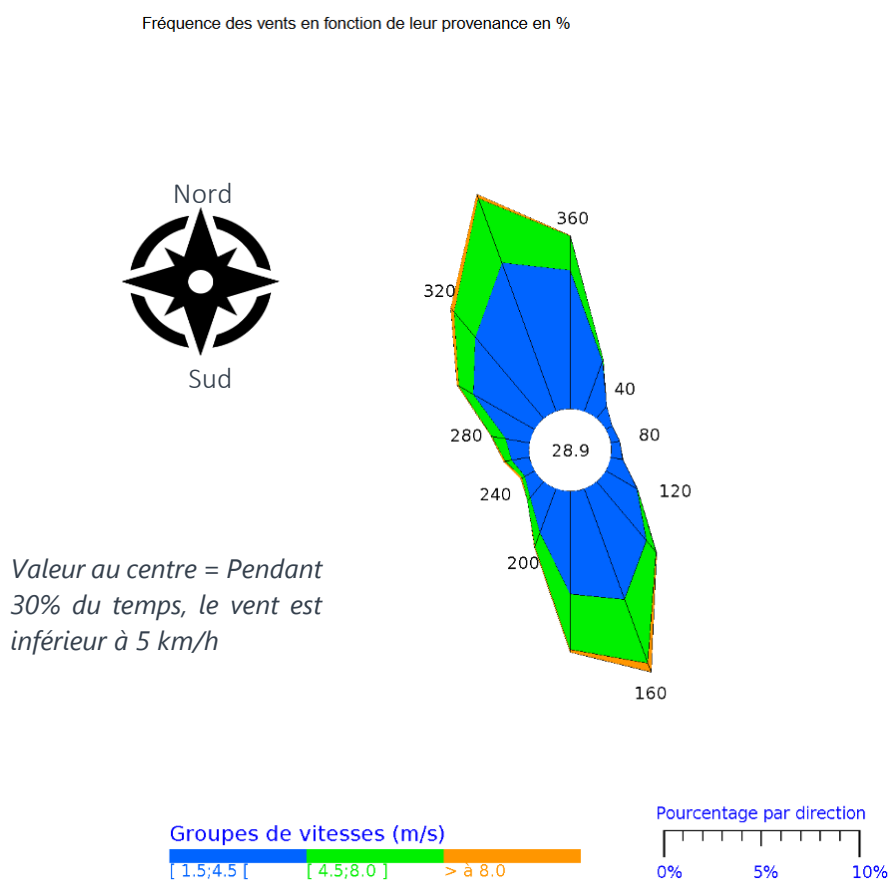


Figure 8 : Rose des vents de l'année 2022 pour la station de Roanne – Aero (42)

Dans les données de vent disponibles pour cette station, on trouve également pour chaque année le nombre d'occurrence de jours venteux pour différents seuils : > 8 m/s, > 10 m/s, > 15 m/s.

Depuis 2006, il ne semble pas se dégager de tendance d'évolution sur la vitesse des vents, les occurrences des jours venteux fluctuant selon les années (Figure 9).

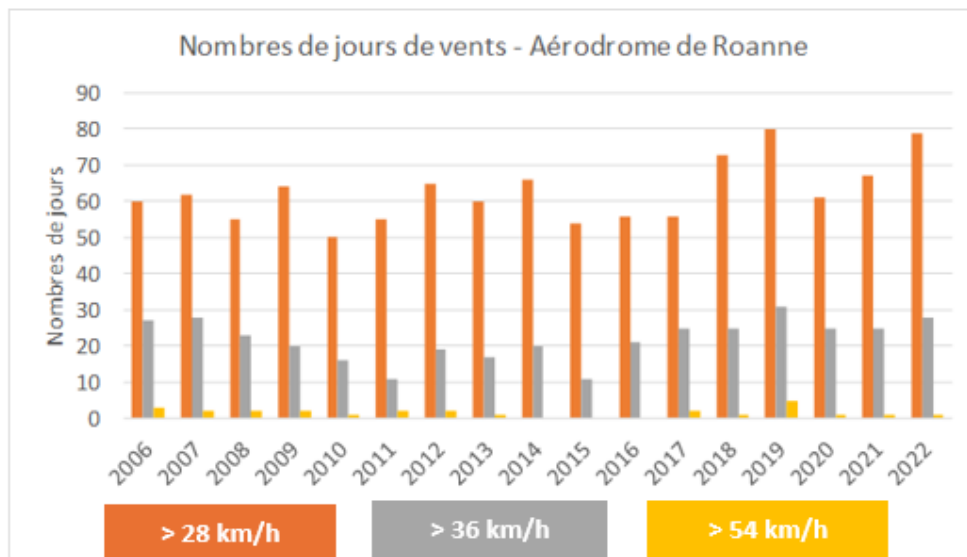


Figure 9 : Evolution du nombre de jours de vent pour différents seuils de vitesse à la station de Roanne – Aero (42)

La direction des vents les plus forts a également peu évolué sur les dernières années (Figure 10), avec une dominance majoritaire des vents en provenance du Sud-Ouest.

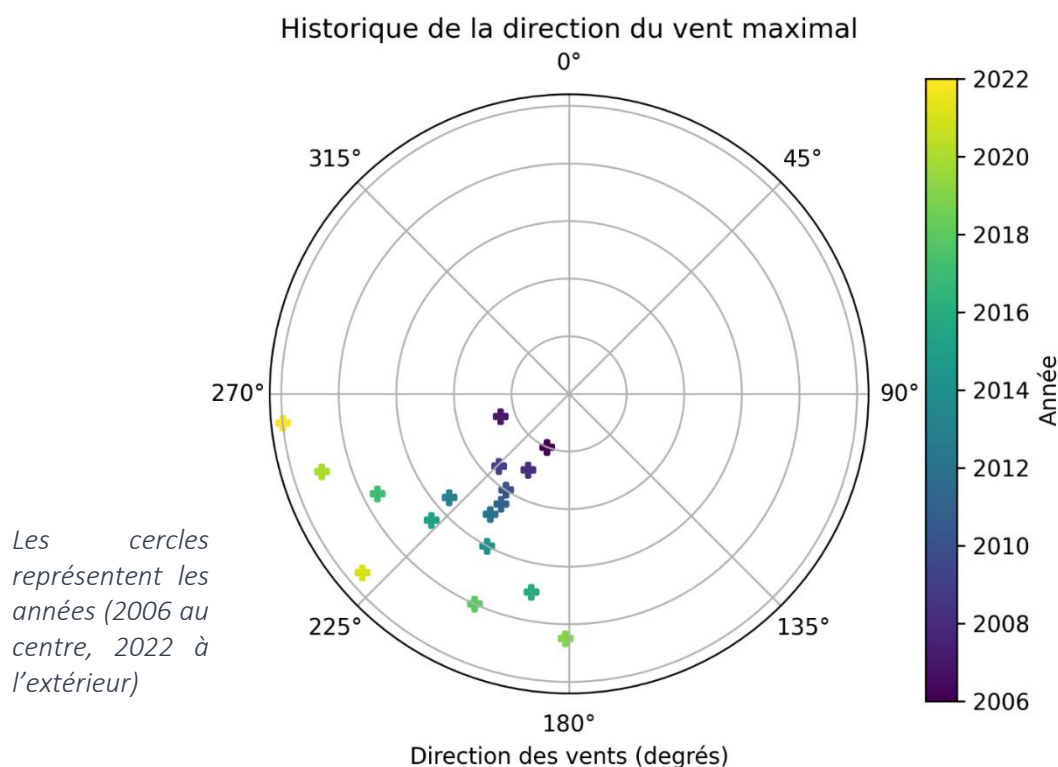


Figure 10 : Historique de la direction du vent maximal à la station de Roanne – Aero (42)

Note : sur le paramètre vent, seules les données de la station de Roanne-Aero sont exploitables. Localisée au Sud-Ouest en dehors du territoire étudié, elle n'est pas forcément représentative des conditions observées localement sur la zone d'étude, notamment dans ses parties nord et Est (reliefs du Beaujolais).

5.1.2.2.4 Autres phénomènes

Le nombre de jours de chutes de neige a été étudié sur les quelques stations qui observent de manière exhaustive ce paramètre. La station de St-Denis-de-Cabanne (42) située au cœur du bassin versant en fait notamment partie, puisqu'elle révèle en continue ce paramètre depuis 1950 (Figure 11).

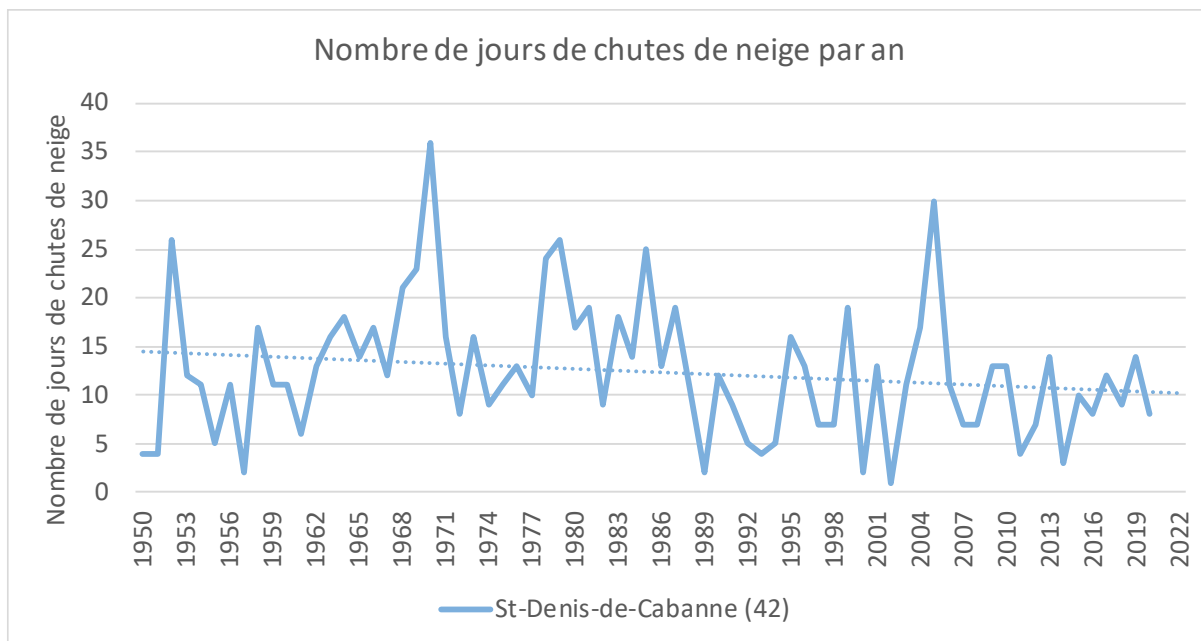


Figure 11 : Historique des chutes de neige observées à la station de St-Denis-de-Cabanne (1950-2022)

Située à 287m d'altitude, son historique révèle qu'entre 1950 et 2022 la moyenne de jours de chutes de neige annuelle est passée de 15 jours à 10 jours, soit une baisse de -30%.

5.1.2.3 Réseau « amateur » complémentaire

Des données complémentaires issus de relevés « amateurs » nous ont été fournies par le SYMISOA.

Ces données sont uniquement des relevés pluviométriques (cumuls annuels et mensuels), effectués sur différentes communes du bassin versant :

- St-Bonnet-des-Bruyères (2014-2023),
- Fleury-la-Montagne (2021-2022),
- Belleroche (2016-2023),
- St-Germain-la-Montagne (2017-2023),
- Tancon (2009-2023),
- St-Denis-de-Cabanne (2020-2023),
- St-Igny-de-Roche (2017-2023).

Etant donné le caractère non-officiel de ces données (absence d'informations sur les conditions d'installation du matériel, relevés parfois parcellaires, ...), elles ne feront pas l'objet d'une analyse dans ce rapport vis-à-vis des données officielles Météo-France.

5.1.2.4 Synthèse

Les tendances climatiques constatées sur le territoire d'étude (sur la base des données historiques des stations Météo-France au sol) ont été regroupées par paramètres dans le Tableau 12.

Paramètre	Précipitations	Températures	Vent
Situation historique sur le territoire d'étude	Cumul annuel compris entre 550 et 1000 mm Pluviométrie plus importante en altitude qu'en plaine Répartition saisonnière homogène	Moyenne annuelle comprise entre 8°C (crêtes des monts du Beaujolais) et 11°C (plaine)	Vents moyens = dominance des directions Nord et Sud Vents forts = dominance de la direction Sud-Ouest
Tendances d'évolution historique constatées	Pas d'évolution des cumuls annuels Tendances contrastées sur les cumuls saisonniers Pas d'évolution visible sur la fréquence des jours de fortes précipitations	Augmentation des températures moyennes annuelles et saisonnières Baisse du nombre de jours de gel Augmentation du nombre de jours de chaleur	Pas d'évolution sur le nombre de jours de vents forts Pas d'évolution sur la direction des vents

Tableau 12 : Synthèse de l'évolution climatique du territoire (sur la base des données historiques des stations Météo-France au sol)

5.1.3 Données spatialisées

5.1.3.1 Généralités

Les données spatialisées sont issues du **système d'analyse SAFRAN de Météo-France**, qui permet de reconstruire des profils d'atmosphère à partir d'observations au sol et de modèles de circulation générale à grande échelle.

Ces données se présentent sous la forme de mailles de 8 km x 8 km sur l'ensemble de la France, où plusieurs paramètres hydroclimatiques sont simulés au sein de chaque maille pour différents pas de temps. 17 mailles couvrent intégralement ou en partie le territoire d'étude (Figure 12).

Sur chacune de ces mailles, 9 paramètres pertinents ont été sélectionnés. Ces paramètres hydroclimatiques sont divisés en plusieurs catégories (avec leur abréviation entre parenthèses) :

- Cumul de précipitations :
 - Liquides (PRELIQ)
 - Solides (PRENEI)
 - Totales (PRETOT)
- Températures moyennes (TEMP)
- Cumul d'évapotranspiration :
 - Réelle (EVAP)
 - Potentielle (ETP)
- Cumul de pluie efficace (PE)
- Indice d'humidité des sols (SWI)
- Indice normalisé d'humidité des sols (SSWI)

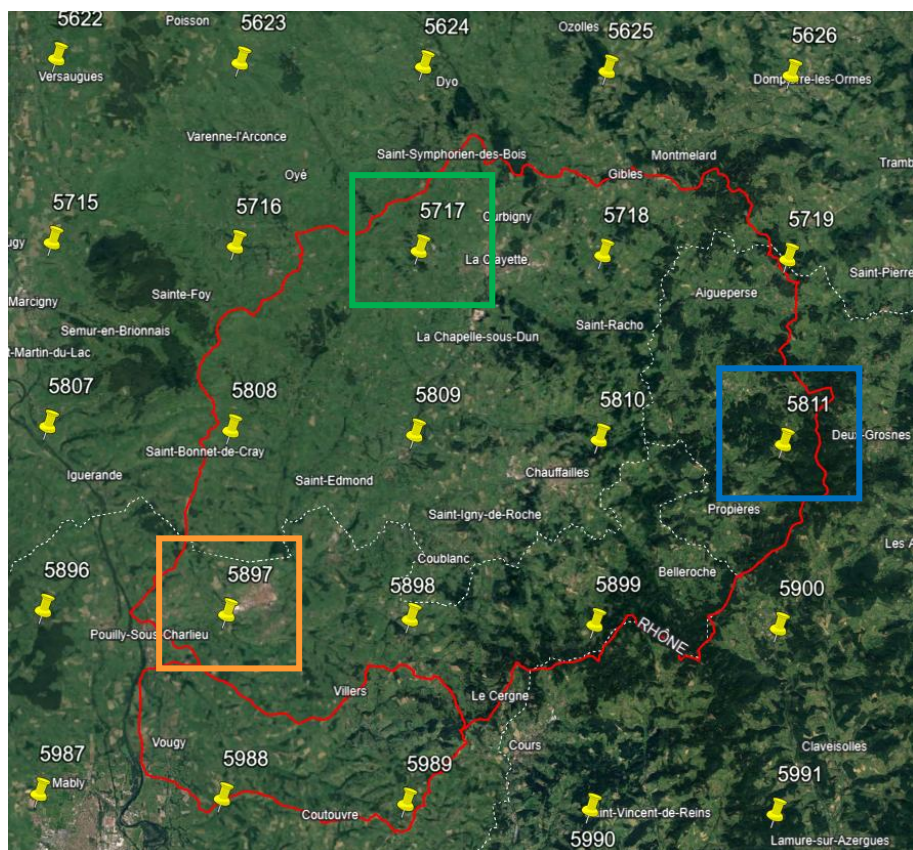


Figure 12 : Maillage SAFRAN sur le territoire d'étude

Comme pour les données des stations météorologiques, ces données SAFRAN ont été téléchargées au pas de temps mensuel (qui permet également un traitement saisonnier et annuel), sur la période 1960-2023.

Les paragraphes ci-après présentent l'évolution de chacun des paramètres sur cette chronique en mettant avant les tendances constatées :

- De manière globale sur l'ensemble des mailles,
- De manière localisée et détaillée sur quelques mailles représentatives.

Trois mailles ont été regardées plus finement (Figure 14) :

- **5717** : représentative des collines du Nord du bassin versant,
- **5811** : représentative de la tête du bassin versant du Sornin en altitude (Est),
- **5897** : représentative de la plaine en aval du bassin versant (Sud-Ouest).

5.1.3.2 Précipitations

Les cumuls de précipitations annuels pour chacune des mailles sont représentés ci-dessous (Figure 13).

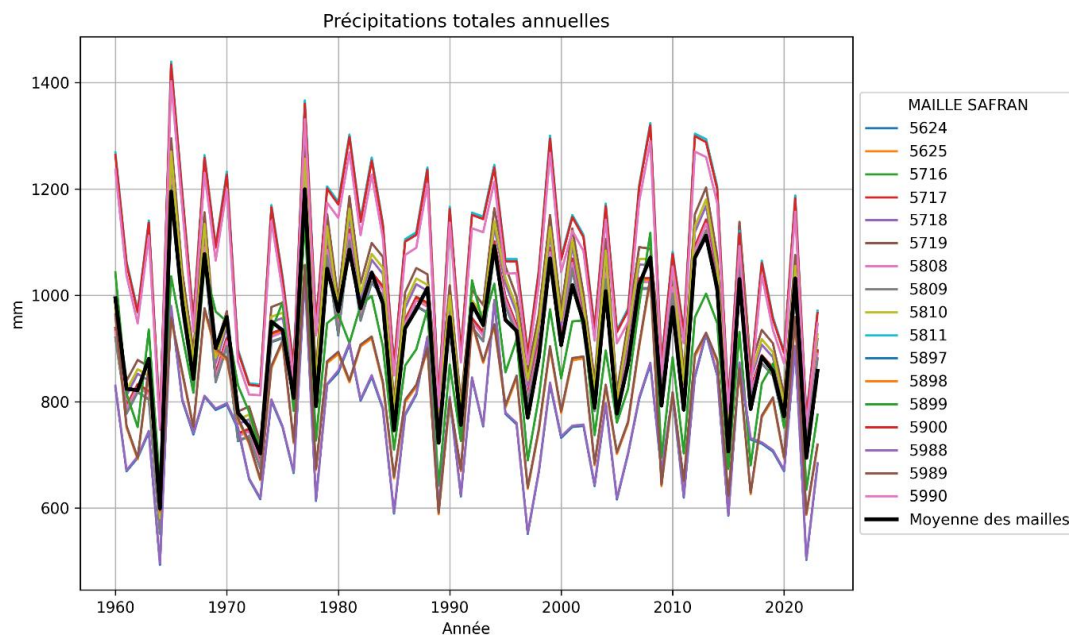


Figure 13 : Evolution des précipitations totales annuelles sur le territoire (1960 – 2023)

Il ne ressort pas de tendance claire d'évolution sur la période considérée. On constate à l'échelle annuelle :

- Une tendance à la baisse des précipitations sur l'amont (maille 5811) et l'aval du bassin versant (maille 5897) : cette baisse est plus marquée sur en altitude sur l'amont du bassin versant (-7% soit -77 mm entre 1960 et 2023) que sur les secteurs de plaine en aval (-4% soit -30 mm),
- Inversement une tendance à la hausse des précipitations sur la partie Nord du bassin versant (maille 5717) : +4% soit +33 mm entre 1960 et 2023.

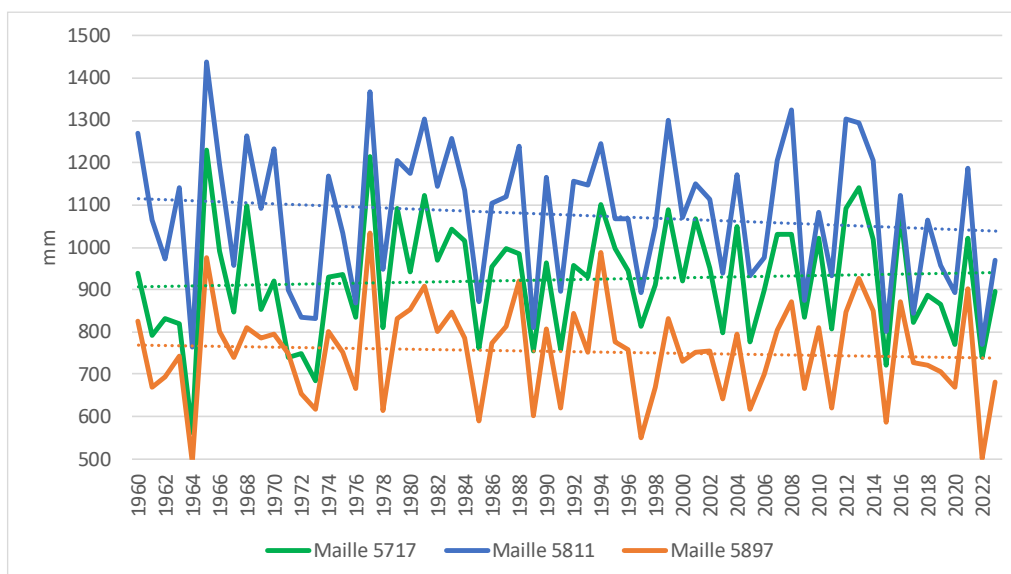


Figure 14 : Evolution des précipitations totales annuelles en altitude (bleu) et en plaine (orange)

5.1.3.3 Températures

Sur la période considérée, les températures moyennes annuelles montrent une tendance à la hausse partout sur le territoire (Figure 15).

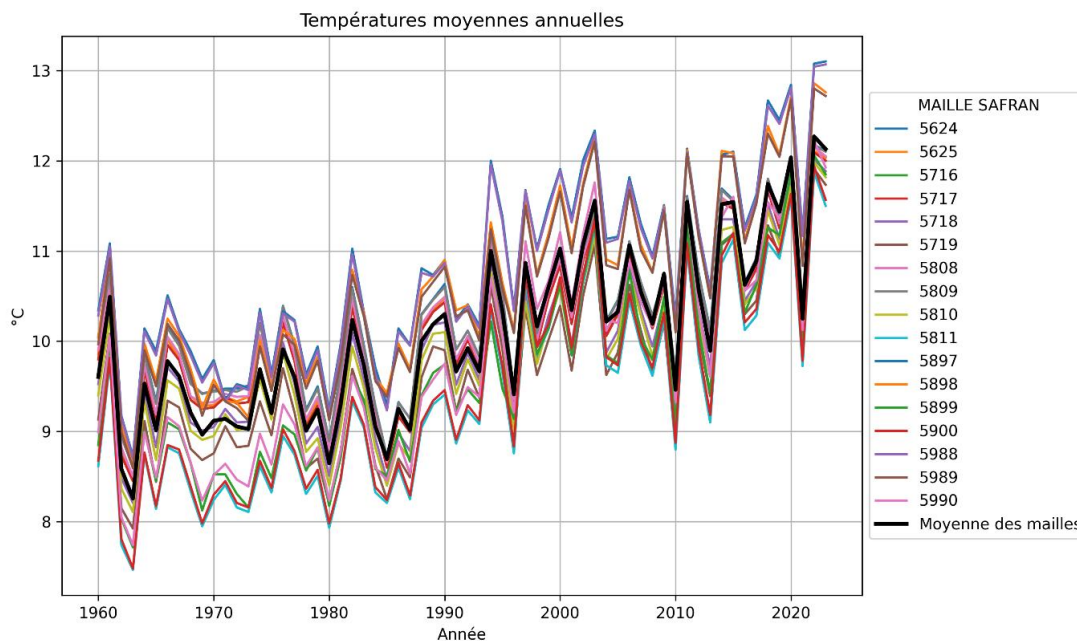


Figure 15 : Evolution des températures moyennes annuelles sur le territoire (1960 – 2023)

Entre 1960 et 2023, l'évolution constatée sur la température moyenne annuelle est (Figure 16) :

- **+3.0°C soit +38%** d'augmentation sur les secteurs d'altitude de l'amont du bassin versant (maille 5811),
- **+2.9°C soit +30%** d'augmentation sur les secteurs de plaine en aval (maille 5897),
- **+2.1°C soit +24%** d'augmentation sur les secteurs collinaires au Nord (maille 5717).

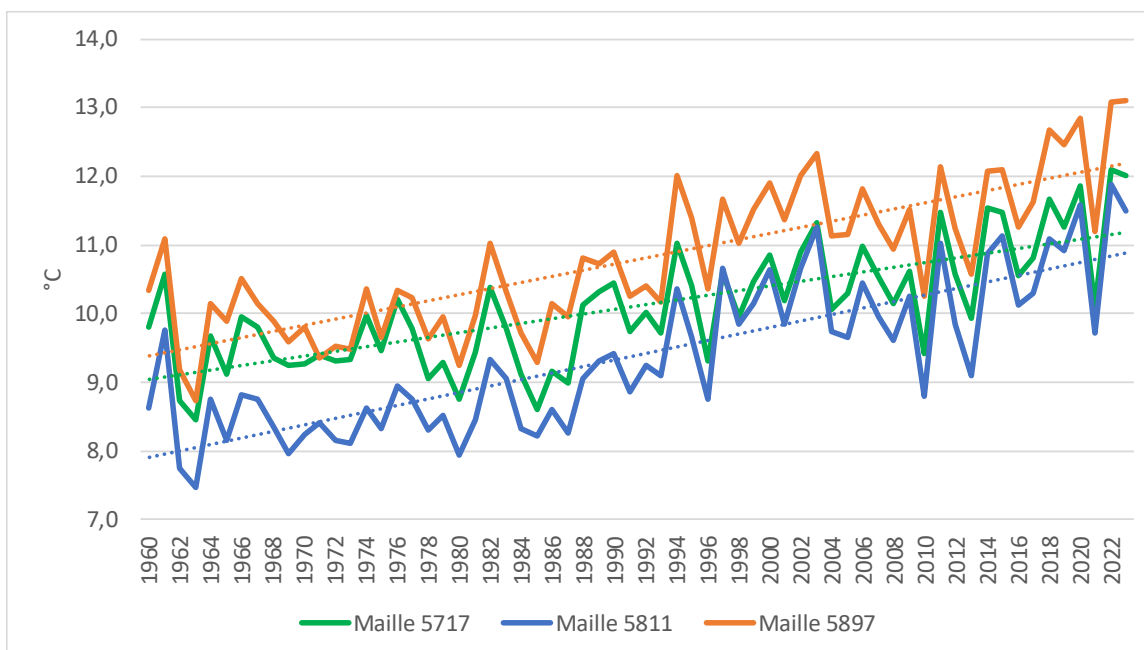


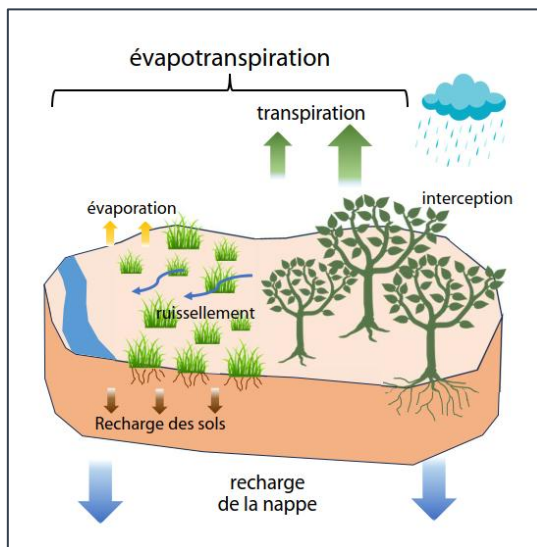
Figure 16 : Evolution des températures moyennes annuelles en altitude (bleu) et en plaine (orange)

5.1.3.4 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un paramètre climatique important car elle conditionne le besoin en eau (Figure 17).

Figure 17 : Schéma conceptuel de l'évapotranspiration

Elle est calculée par Météo-France sur chaque maille SAFRAN à partir de la formule de Penman⁴, qui prend en entrée des données de pluies et de températures. Elle permet par la suite de définir une valeur de **pluie efficace** qui représente l'eau réellement disponible pour les végétaux, en retranchant cette évapotranspiration à la pluie totale.



L'analyse historique des données climatiques montre globalement, à l'échelle du bassin versant, une relative stabilité des précipitations annuelles mais une hausse significative des températures moyennes annuelles, avec pour conséquence une hausse significative de l'évapotranspiration sur l'ensemble des mailles (Figure 18).

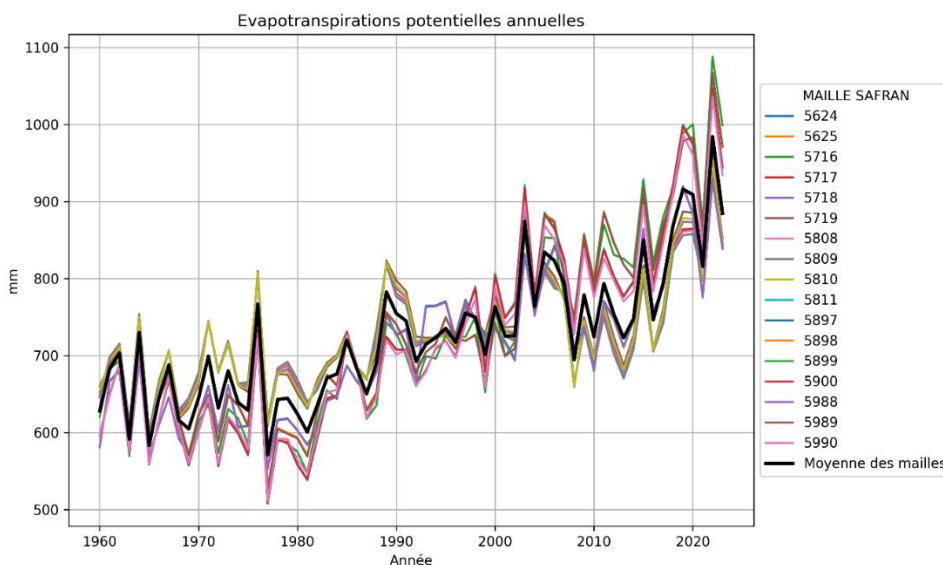


Figure 18 : Evolution des évapotranspirations potentielles annuelles sur le territoire (1960 – 2023)

Moyennée sur l'ensemble des mailles, cette hausse est de +39% soit +235 mm entre 1960 et 2023 (Figure 19).

⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89vapotranspiration#Mod%C3%A9lisation_de_Penman_et_Monteith

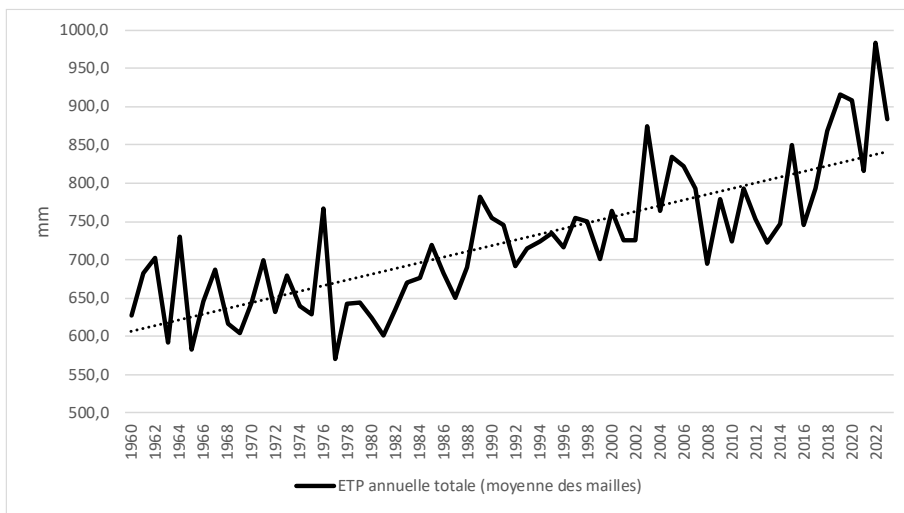


Figure 19 : Evolution de l'évapotranspiration potentielle annuelle sur le territoire (1960-2023)

Cette hausse de l'évapotranspiration entraîne de fait une baisse des pluies efficaces.

L'efficacité des pluies représente leur capacité à alimenter les cours d'eau et les nappes souterraines : quand l'efficacité des pluies est nulle, il n'y a pas de recharge des nappes et d'alimentation des cours d'eau (ces pluies rechargent néanmoins les réserves en eau superficielles du sol dans lesquelles puisent les plantes).

Un bilan hydro-climatique prenant en compte la pluie, la température et l'évapotranspiration permet d'estimer la pluie efficace en tout point du territoire. Ce paramètre « pluie efficace » n'étant pas disponible dans les données SAFRAN, un exemple de bilan hydroclimatique réalisé au pas de temps mensuel à partir d'une station au sol (Charlieu) est présenté ci-après en Tableau 13.

	1991 - 2020	1991 - 2020		
	PLUIE	TEMPERATURES	ETP	Peff
Moyenne mensuelle	(mm)	(°C)	(mm)	infiltration + ruissellement bruts (mm)
JANVIER	56	3,8	9,79	46,21
FEVRIER	43,6	4,5	12,21	31,39
MARS	45,9	7,5	28,89	17,01
AVRIL	58,1	10,5	48,48	9,62
MAI	82,5	14,5	81,80	0,70
JUIN	66,9	18,3	109,88	0,00
JUILLET	71,1	20,2	126,05	0,00
AOUT	73,5	19,9	114,30	0,00
SEPTEMBRE	63,3	15,8	73,89	0,00
OCTOBRE	73,7	12,5	50,01	11,84
NOVEMBRE	76,1	7,2	21,27	27,41
DECEMBRE	58,6	4,4	11,00	36,86

Tableau 13 : Bilan hydroclimatique réalisé sur la station de Charlieu (chronique 1991-2020)

Sur cet exemple on constate qu'à l'échelle mensuelle, la pluie efficace est nulle entre juin et septembre, période durant laquelle les précipitations ne participent que très peu à la recharge des nappes et à l'alimentation des cours d'eau.

5.1.3.5 Humidité des sols (SWI / SSWI)

Météo-France fournit un indice d'humidité des sols nommé SWI (*Soil Wetness Index*), qui s'exprime de la manière suivante :

$$SWI = \frac{W - W_{wilt}}{W_{fc} - W_{wilt}}$$

Avec :

- W = contenu en eau du sol
- W_{wilt} = contenu en eau du sol au point de flétrissement (seuil à partir duquel la plante ne peut plus capter l'eau du sol, trop « rare »)
- W_{fc} = contenu en eau du sol à la capacité au champ (seuil à partir duquel il n'y a plus de drainage gravitationnel dans le sol)

Le SSWI (*Standardized Soil Wetness Index*) est la version normalisée de l'indice SWI (conversion des valeurs d'entrées entre 0 et 1 grâce à une loi normale). Il permet de caractériser les sécheresses dites « agricoles » à partir d'une échelle de sévérité (Tableau 14).

La fiche méthode SIM2 de Météo-France indique à propos de cet indice : « Un SSWI supérieur à zéro met en évidence une période plus humide que la normale, un SSWI inférieur à zéro met en évidence une période de sécheresse. Les conditions plus ou moins normales sont pour des valeurs comprises entre -0,84 et +0,84 (durée de retour inférieure à 5 ans). Un évènement extrêmement sec est défini par un SSWI inférieur à -1,75 (durée de retour supérieure à 25 ans). »

Valeurs des durées de retour	Indice	catégorie
≥ 25 ans	≥ 1,75	Extrêmement humide
10 ans à 25 ans (exclu)	1,28 à 1,75	Très humide
5 à 10ans(exclu)	0,84 à 1,28	Modérément humide
0 à 5 ans(exclu)	-0,84 à 0,84	Autour de la normale
5 à 10 ans(exclu)	-1,28 à -0,84	Modérément sec
10 à 25 ans (exclu)	-1,75 à -1,28	Très sec
≤ 25 ans	≤ -1,75	Extrêmement sec

Tableau 14 : Echelle de sévérité des sécheresses dites « agricoles »

Cet indice est fourni en moyennes glissantes sur 1 mois et sur 3 mois pour chaque maille SAFRAN. Seul le second cas sera étudié, car représentatif d'une sécheresse agricole à l'échelle de la saison.

La représentation graphique des données met bien en évidence les anomalies sèches et humides constatées sur l'historique 1960 – 2023 (Figure 20).

1978, par exemple, ressort avec une anomalie exceptionnelle (> 8) signe d'une année très humide.

Concernant les **anomalies sèches**, on observe qu'elles se sont déjà produites à des niveaux très sévère dans le passé (ex : périodes extrêmement sèches en 1964 et 1976). Cependant **leur récurrence semble s'intensifier sur les dernières années, avec de longues périodes sèches qui sont insuffisamment compensées par de courtes périodes « humides »**.

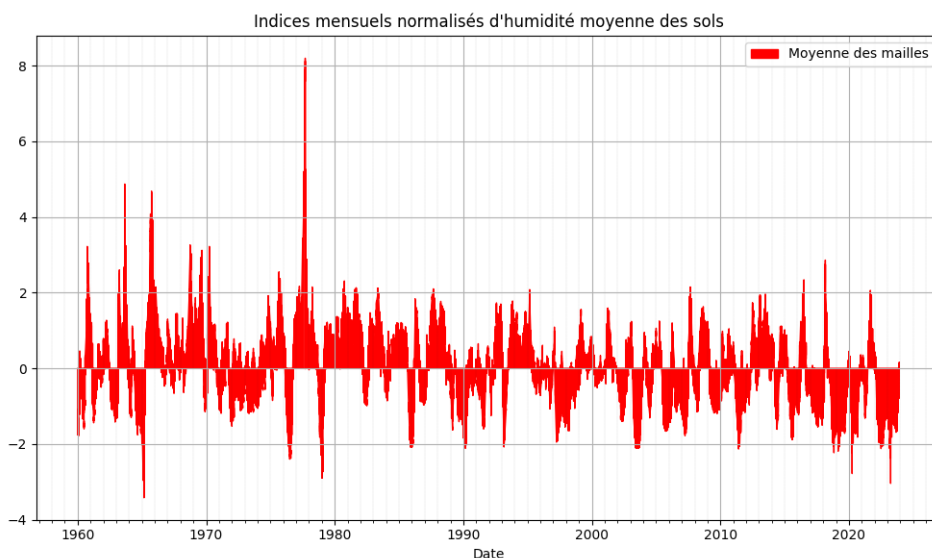


Figure 20 : Indices mensuels normalisés d'humidité moyenne des sols (moyenne de l'ensemble des mailles SAFRAN sur 1960-2023)

5.1.3.6 Synthèse

Le Tableau 15 synthétise les évolutions climatiques du territoire, constatées sur la base des données spatialisées SAFRAN.

Paramètre	Précipitations	Températures	Evapotranspiration	Humidité des sols
Tendances d'évolution constatées	Baisse du cumul annuel plus forte sur les secteurs d'altitude qu'en plaine	Hausse de la moyenne annuelle plus forte sur les secteurs d'altitude qu'en plaine	Augmentation du phénomène sur les dernières années = baisse de la pluie efficace	Assèchement des sols Augmentation de la fréquence des années de sécheresse dite « agricole »

Tableau 15 : Synthèse des l'évolution hydro-climatique du territoire (sur la base des données spatialisées SAFRAN – période 1960-2023)

5.2 Analyse des projections climatiques

A l'échelle planétaire, les activités anthropiques émettent un surplus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ce qui modifie les équilibres régissant le climat de la Terre. Les scientifiques de tous les pays cherchent à modéliser les conséquences de ces modifications et les rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) présentent l'état des connaissances sur le changement du climat, ses causes et ses impacts. La ressource en eau du territoire est dépendante des conditions climatiques locales. Il est donc nécessaire d'étudier les changements attendus concernant le climat local à l'horizon 2050 pour évaluer les conséquences sur les ressources en eau.

5.2.1 Les données disponibles pour simuler le climat futur

La chaîne de modélisation qui permet de proposer une évaluation des conséquences du réchauffement climatique sur le climat et l'hydrologie au niveau local est la suivante (Figure 21) :

- Définition d'un **scénario d'émissions GES futurs (RCP)**,
- Intégration de ce scénario dans un **modèle climatique global GCM (Global Circulation Models)** qui simule les flux atmosphériques à l'échelle de la planète,
- Couplage du modèle climatique global avec un **modèle climatique régional RCM (Regional Climate Models)** qui affine une simulation du climat sur un secteur plus restreint en prenant en compte ses particularités (notion de **descente d'échelle**),
- **Application d'une correction**, qui ajuste la modélisation climatique par rapport aux données historiquement mesurées par les stations au sol.

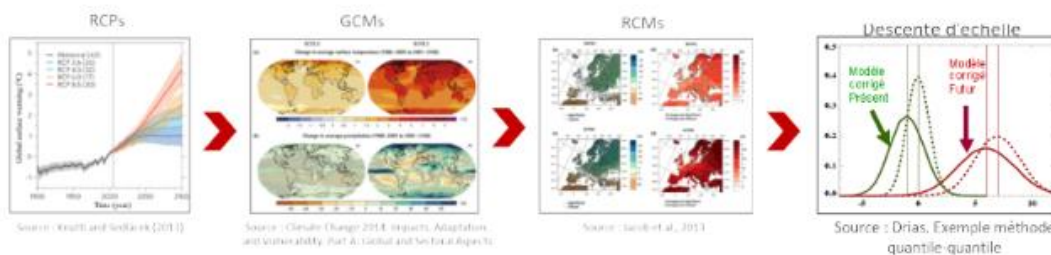


Figure 21 : Chaîne de modélisation Explore2

Il existe de nombreux scénarios d'émissions de Gaz à Effet de Serre et de nombreux modèles climatiques qui aboutissent à une multitude de résultats croisant scénarios et couplages de modèles.

L'ensemble de ces données et les résultats associés sont disponibles sur le portail internet « DRIAS les futurs du climat » (www.drias-climat.fr).

Ce portail met à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM). Ces projections sont disponibles à l'échelle de la France entière et tiennent compte des dernières actualisations du GIEC⁵.

5.2.2 Méthode et choix effectués dans le cadre de l'étude

5.2.2.1 Choix d'un scénario d'émissions GES

⁵ Projet Explore2 : simulations climatiques régionalisées issues de la base internationale EURO-CORDEX, pilotées par un sous-ensemble de projections climatiques globales CMIP5 pour plusieurs scénarios de concentration de gaz à effet de serre pour la période continue 2006-2100 (source : DRIAS).

La modélisation des changements climatiques nécessite l'introduction d'un scénario d'évolution des gaz à effet de serre. Plusieurs scénarios de gaz à effet de serre (GES) sont envisageables. Ils correspondent à des tendances d'évolution plus ou moins marquées de réduction des émissions mondiales et sont appelés **RCP** (*Radiative Concentration Pathways*) (Figure 22).

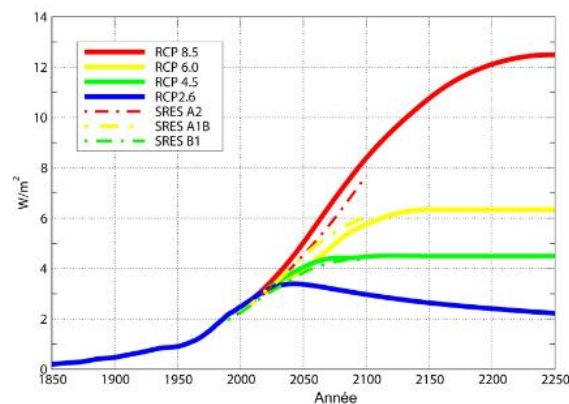


Figure 22 : Scénarios RCP

Trois font habituellement référence :

- **RCP 2.6** : pic des émissions avant 2100, puis déclin,
- **RCP 4.5** : stabilisation des émissions d'ici 2100,
- **RCP 8.5** : pas de réduction des émissions.

N.B. : La valeur chiffrée (2.6, 4.5, ...) correspond à une évolution du bilan radiatif de la planète en W/m^2 (différence entre le rayonnement entrant et le rayonnement sortant au sommet de l'atmosphère).

Ces scénarios d'émissions GES sont proposées à trois horizons temporels futurs par rapport à une période de référence (1976-2005) :

- Horizon proche (2021-2050)
- Horizon moyen (2041-2070)
- Horizon lointain (2071-2100)

Dans le cadre de la présente étude, l'horizon moyen peut être associé à l'échéance 2050 (plus précisément le milieu de la période 2041-2070 est 2055).

Au vu des horizons étudiés, l'enjeu reste modéré sur le choix du scénario de gaz à effet de serre. En effet, comme le montre l'illustration précédente, l'écart entre les scénarios 4.5, 6.0 et 8.5 est faible à l'échelle de la période prospective de l'étude (2050), il deviendrait beaucoup plus déterminant pour une échéance à la fin du siècle.

Aujourd'hui, RCP 2.6 est souvent écarté, étant jugé non réaliste au vu de la trajectoire actuelle des émissions GES. RCP 4.5 semble également trop optimiste. **RCP 8.5, qui était pessimiste au vu des résultats du 5^{ème} rapport du GIEC, se retrouve dans la moyenne des résultats du 6^{ème} rapport** (qui n'étaient pas encore sortis au moment du lancement du projet Explore2).

Ce scénario RCP 8.5 correspond à celui retenu pour établir la Trajectoire d'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) avec une perspective d'une hausse $+2.7^{\circ}C$ sur la température moyenne en France à l'horizon 2050 (source : DRIAS) :

Pour assurer que l'ensemble soit constitué des mêmes simulations quel que soit le niveau de réchauffement ciblé, seules les projections pour le scénario de fortes émissions (RCP8.5) sont utilisées dans le cadre de la TRACC. Ce scénario a été choisi car c'est celui pour lequel le plus grand nombre de simulations sont disponibles (17 couples GCM/RCM), et le seul qui permet de traiter des niveaux de réchauffement planétaire élevés ($+3^{\circ}C$ notamment). Rappelons que l'approche par niveau de réchauffement repose sur l'hypothèse selon laquelle le scénario d'émissions influe peu sur les changements climatiques associés à un niveau de réchauffement donné.

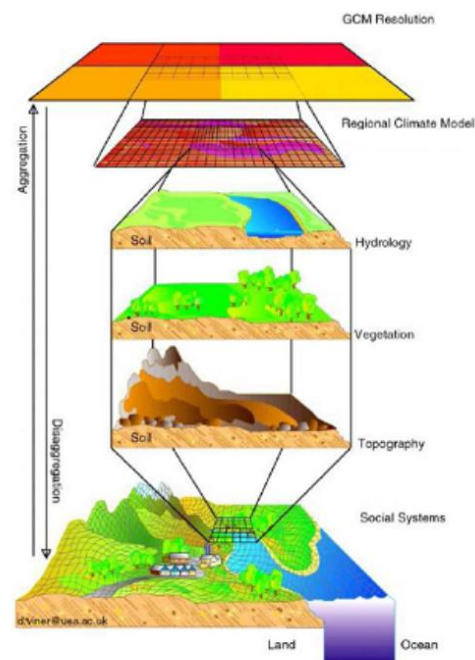
Le scénario RCP 8.5 a ainsi été considéré comme le plus pertinent pour établir les projections climatiques dans le cadre de la présente étude.

5.2.2.2 Modèles climatiques

Les données climatiques disponibles s'articulent en couple GCM / RCM, c'est-à-dire un modèle global couplé avec un modèle régionalisé afin d'affiner la simulation.

Ce couplage s'appelle la « régionalisation » ou « descente d'échelle » (Figure 23), qui consiste à mailler le territoire par une grille et d'étudier les caractéristiques de chaque point de grille (relief, occupation des sols, ...)

Figure 23 : Principe de la régionalisation



Il existe 17 couples de modèles intégrant le scénario RCP 8.5 sur le portail DRIAS « les futurs de l'eau ».

Des diagrammes synthétiques disponibles sur ce portail permettent de discerner les contrastes existants entre ces couples de modèles (Figure 24).

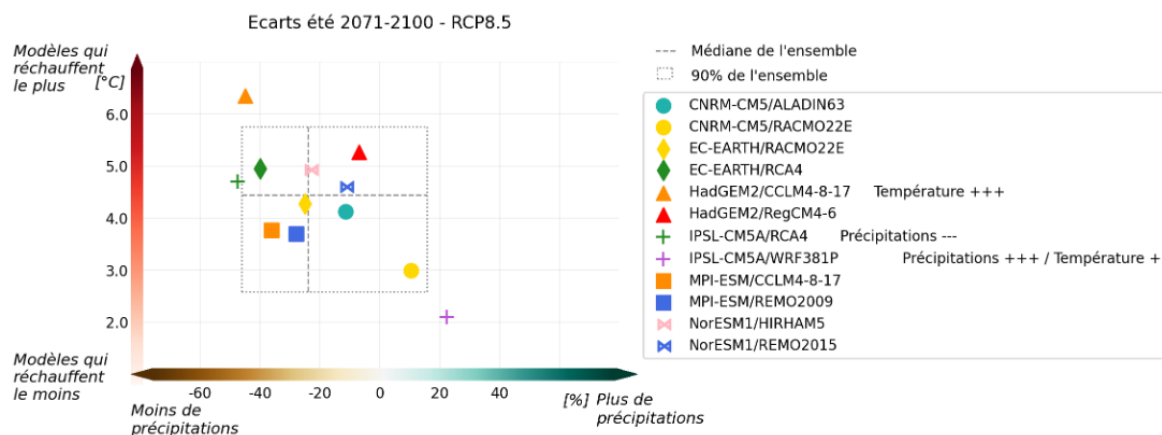


Figure 24 : Exemple de dispersion des modèles sur la période estivale sous scénario RCP 8.5

Lors de la restitution du projet Explore2, il a été conseillé d'orienter les études prospectives vers 4 narratifs, qui sont quatre couples de modèles considérés à la fois comme robustes et illustrant différentes tendances possibles (traduisant ainsi les incertitudes inhérentes à la prospective sur un sujet aussi complexe).

Ces 4 couples sont présentés avec leurs principales caractéristiques (Tableau 16) :

- **le narratif orange (EC-EARTH rcp85 HadREM3-GA7 ADAMONT)** : fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- **le narratif jaune (CNRM-CM5 rcp85 ALADIN63 ADAMONT)** : changements futurs relativement peu marqués
- **le narratif violet (HadGEM2-ES rcp85 CCLM4-8-17 ADAMONT)** : fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations
- **le narratif vert (HadGEM2-ES rcp85 ALADIN63 ADAMONT)** : réchauffement marqué et augmentation des précipitations.

Tableau 16 : Les 4 narratifs Explore2

Parmi ces 4 narratifs, deux (appelées « projection ») sont retenus sachant que l'on s'intéresse notamment à la période des basses eaux :

- **Projection « médiane »** (= narratif jaune) : presque sur la médiane des 12 couples concernant la simulation estivale, ce couplage traduit le risque d'étés plus chauds tout en gardant des précipitations proches des valeurs actuelles ; il constitue un scénario plutôt favorable à médian ;
- **Projection « France »** (= narratif violet) : ce couplage montre le risque d'un fort réchauffement estival s'accompagnant d'une baisse notable des précipitations estivales (en similitude avec les situations vécues ces dernières années) ; en comparaison des autres couplages il conduit à un scénario plus pessimiste.

Ces deux simulations ont pour intérêt de fournir des tendances bien distinctes (l'une étant modérée, l'autre accentuant les extrêmes), et mettent en valeur le fuseau d'incertitudes qu'il peut exister entre les résultats des différents modèles étant donné la complexité des phénomènes en jeu.

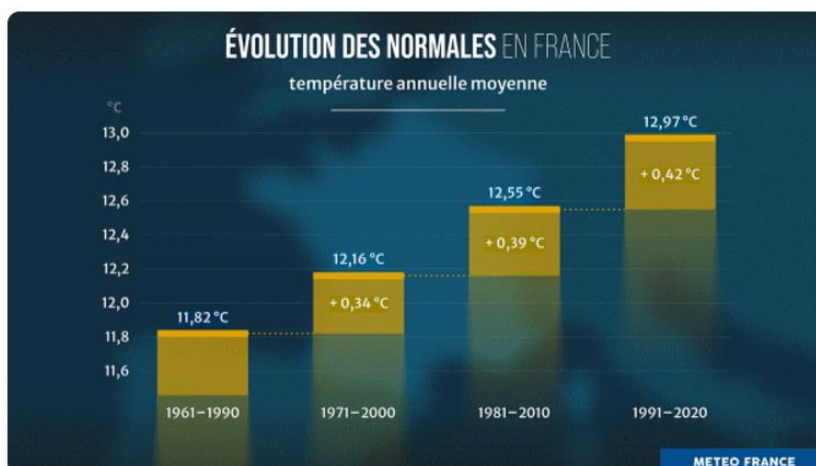
N.B. : Sur le portail DRIAS seule la correction des modèles par la méthode statistique ADAMONT de Météo-France est disponible, il n'y avait donc pas de choix possible sur ce paramètre.

5.2.2.3 Période de référence

La période de référence considérée pour l'étude est 1991-2020.

En effet, cette période est celle considérée actuellement par Météo-France pour le calcul des normales climatiques. Représentative d'un climat centré autour de 2005, elle présente un léger biais par rapport aux années les plus récentes, mais est réaliste vis-à-vis de l'accélération du réchauffement en cours (Figure 25).

Figure 25 : Evolution des normales climatiques en France (source : Météo-France)



5.2.3 Résultats sur les bassins versants sur Sornin et du Jarnossin

Les Figure 27 à Figure 30 présentent de manière cartographique les tendances d'évolution attendues sur le territoire à l'horizon moyen (2041-2070) pour la pluie et la température (source : DRIAS climat).

En synthèse, ces résultats donneraient d'ici **2050** (par rapport à la période de référence 1991-2020) :

- **Pour la projection « médiane » :**
 - +1.7°C sur la température moyenne annuelle, avec un réchauffement plus important sur le printemps et l'automne (+2.0°C),
 - +5 % sur le cumul de précipitations, avec une hausse du cumul plus forte sur l'hiver (+15%) et quasi nulle au printemps.
- **Pour la projection « France » :**
 - +2.4°C sur la température moyenne annuelle, avec un réchauffement plus important sur l'été et l'automne (jusqu'à +3.5°C),
 - -10% sur le cumul de précipitations, mais avec une hausse du cumul sur l'hiver (+20%) et une baisse importante sur l'été (-30%).

Ces deux simulations ont pour intérêt de fournir des tendances bien distinctes (l'une étant relativement modérée, l'autre accentuant les extrêmes), et de mettre en valeur le fuseau d'incertitudes qu'il peut exister entre les modèles.

La comparaison avec des années récentes (Figure 26), permet de mieux cerner ce que représente les tendances climatiques annoncées : l'année 2022 a été très chaude, avec +1,5°C à l'échelle de la France par rapport à la normale 1991-2020 ; mais également très sèche, avec environ -30% de précipitations. **Une année comme 2022, considérée comme exceptionnelle actuellement, serait représentative d'une simulation « pessimiste » pour les précipitations mais plus proche d'une simulation « optimiste » concernant les températures.**

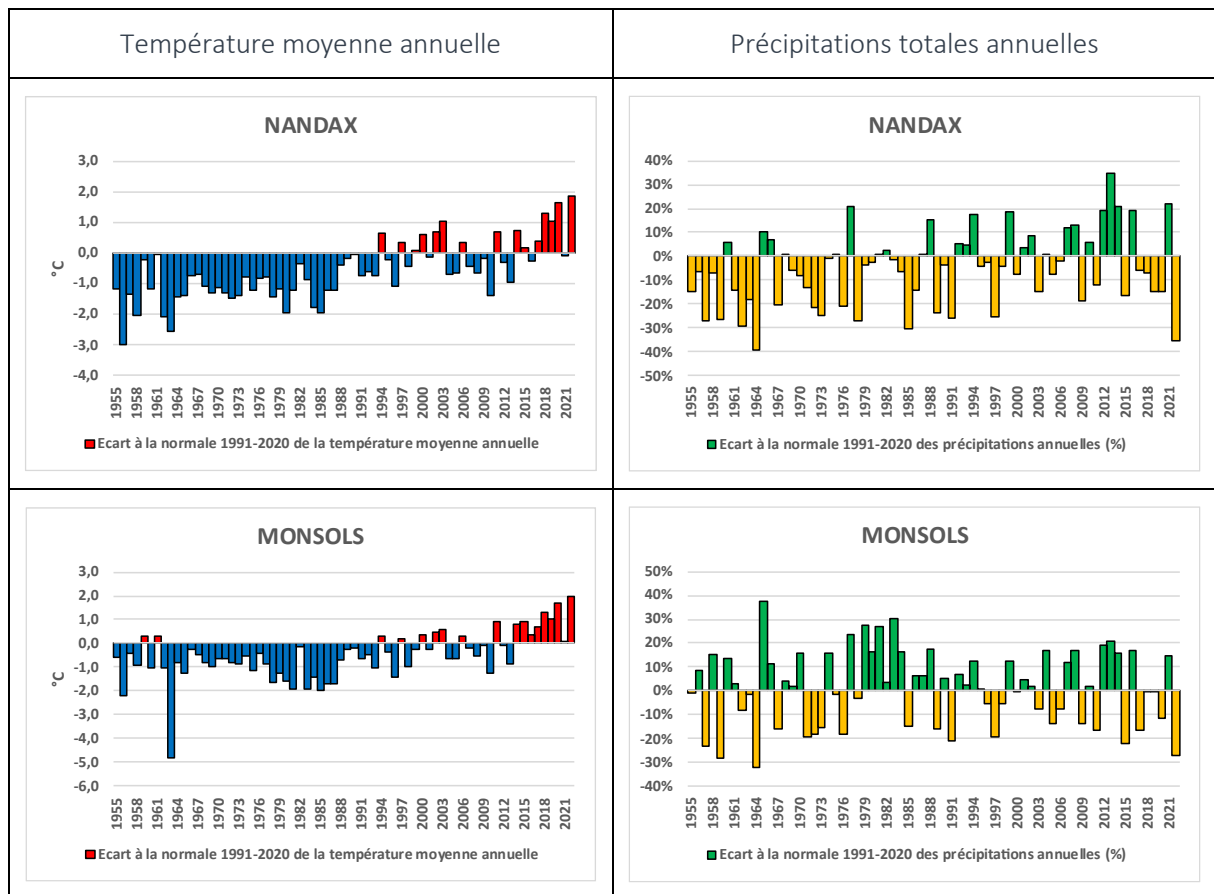


Tableau 17 : Comparaison des températures et précipitations annuelles par rapport à la normale 1991-2020 sur 2 stations météorologiques représentatives du bassin versant :

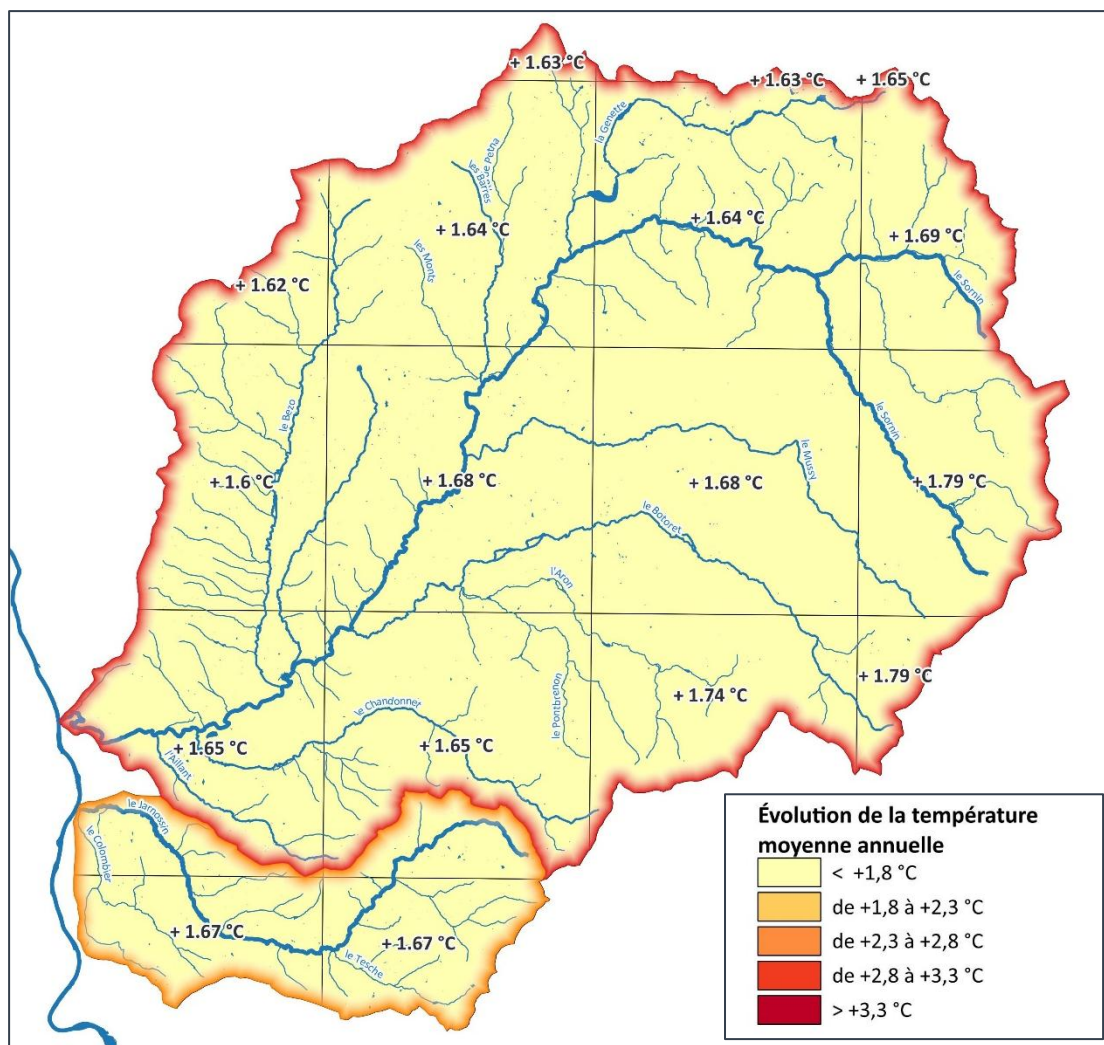
Nandax (42) et Monsols (69)

Globalement, les années anormalement chaudes et sèches que nous avons connues ces dernières années ne seraient plus des années exceptionnelles mais bien des années moyennes à l'horizon 2050.

Les données DRIAS fournissent également des tendances sur le vent (Figure 26) : on ne constate pas d'évolution particulière durant l'année, que ce soit pour la projection « médiane » ou la projection « France ».

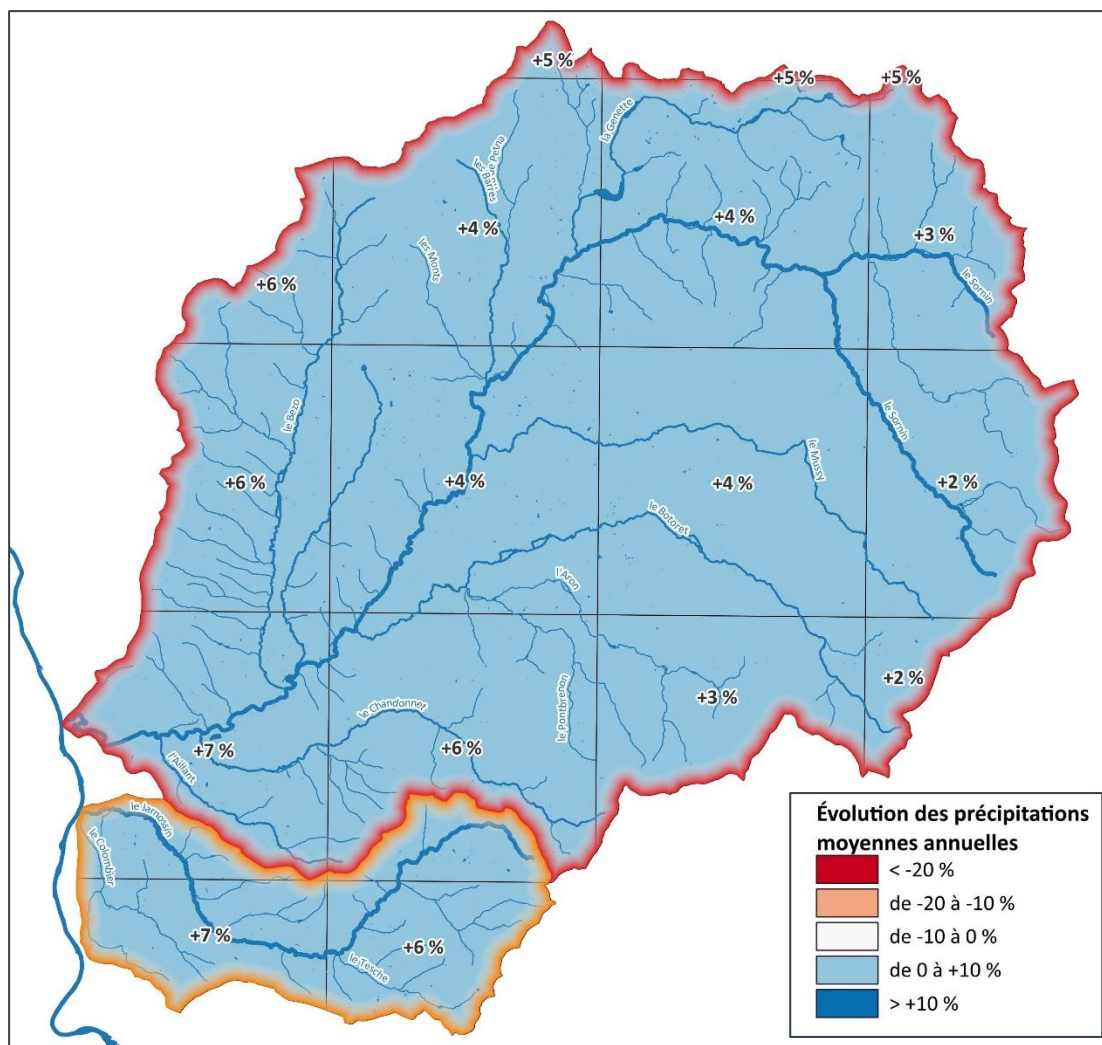
Evolution de la vitesse des vents par saisons		Evolution de la vitesse des vents par saisons	
HIVER	PRINTEMPS	HIVER	PRINTEMPS
Amont du BV : +0.0 m/s Nord du BV : +0.2 m/s Aval du BV : +0.2 m/s	Amont du BV : -0.1 m/s Nord du BV : +0.0 m/s Aval du BV : +0.0 m/s	Amont du BV : +0.3 m/s Nord du BV : +0.3 m/s Aval du BV : +0.3 m/s	Amont du BV : +0.2 m/s Nord du BV : +0.2 m/s Aval du BV : +0.2 m/s
ETE	AUTOMNE	ETE	AUTOMNE
Amont du BV : +0.1 m/s Nord du BV : +0.0 m/s Aval du BV : +0.1 m/s	Amont du BV : -0.4 m/s Nord du BV : -0.4 m/s Aval du BV : -0.2 m/s	Amont du BV : -0.3 m/s Nord du BV : -0.3 m/s Aval du BV : -0.4 m/s	Amont du BV : -0.1 m/s Nord du BV : -0.1 m/s Aval du BV : -0.1 m/s

Figure 26 : Evolution de la vitesse du vent sur le territoire d'étude – Horizon moyen (2041-2070) (à gauche : projection « médian », à droite : projection « France »)



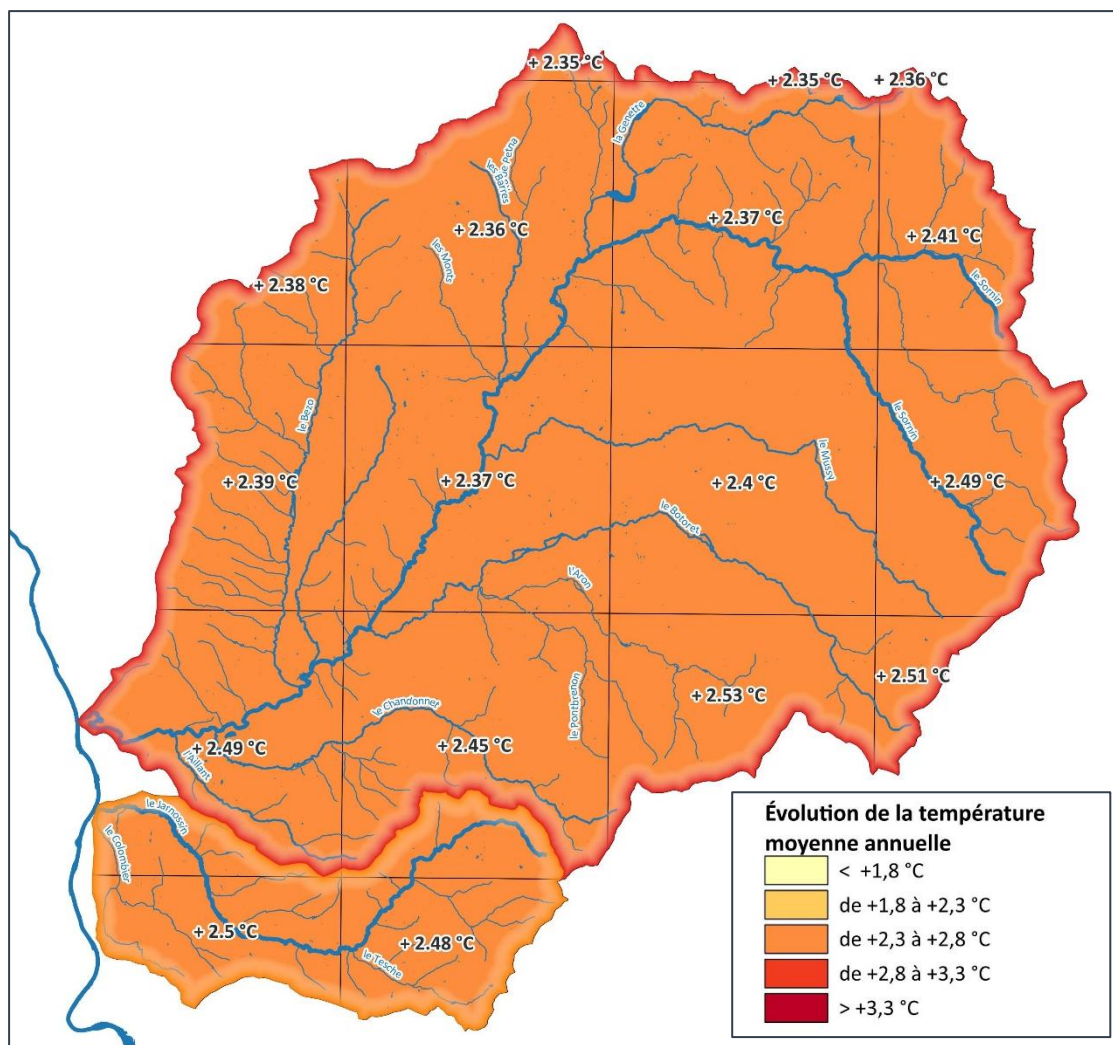
Evolution des températures moyennes par saisons	
HIVER	PRINTEMPS
Amont du BV : +1.7°C Nord du BV : +1.5°C Aval du BV : +1.5°C	Amont du BV : +1.9°C Nord du BV : +1.7°C Aval du BV : +1.7°C
ETE	AUTOMNE
Amont du BV : +1.6°C Nord du BV : +1.4°C Aval du BV : +1.4°C	Amont du BV : +2.1°C Nord du BV : +2.0°C Aval du BV : +2.0°C

Figure 27 : Evolution des températures moyennes
Projection « médiane » – Horizon moyen (2041-2070)



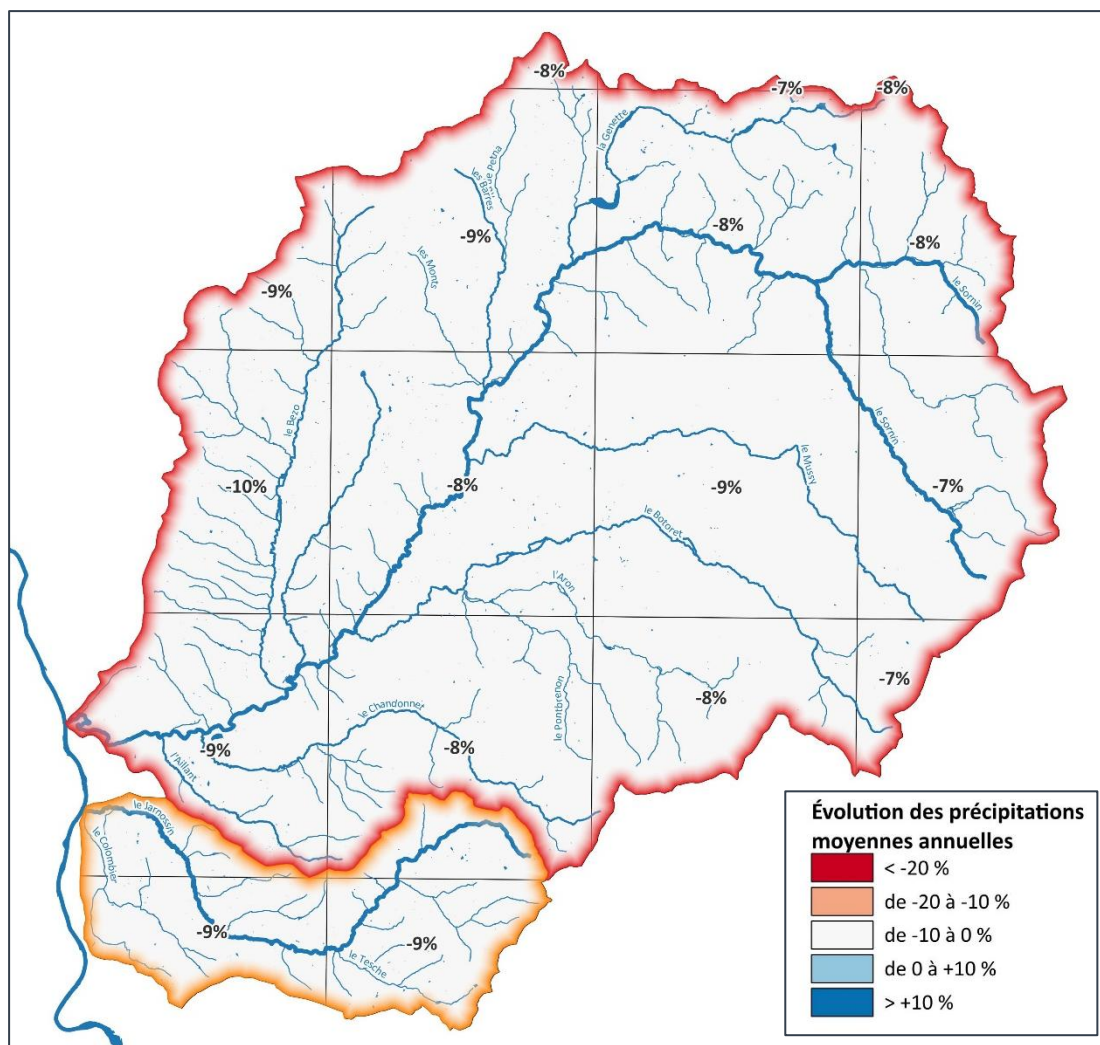
Evolution du cumul de précipitations par saisons	
HIVER	PRINTEMPS
Amont du BV : +14 % Nord du BV : +14 % Aval du BV : +16 %	Amont du BV : +0 % Nord du BV : +1 % Aval du BV : +4 %
ETE	AUTOMNE
Amont du BV : +4 % Nord du BV : +5 % Aval du BV : +11 %	Amont du BV : +6 % Nord du BV : +6 % Aval du BV : +10 %

Figure 28 : Evolution du cumul des précipitations
Projection « médiane » – Horizon moyen (2041-2070)



Evolution des températures moyennes par saisons	
HIVER	PRINTEMPS
Amont du BV : +1.8°C Nord du BV : +1.7°C Aval du BV : +1.9°C	Amont du BV : +1.9°C Nord du BV : +1.8°C Aval du BV : +1.8°C
ETE	AUTOMNE
Amont du BV : +3.7°C Nord du BV : +3.5°C Aval du BV : +3.7°C	Amont du BV : +2.9°C Nord du BV : +2.8°C Aval du BV : +2.9°C

Figure 29 : Evolution des températures moyennes
 Projection « France » – Horizon moyen (2041-2070)



Evolution du cumul de précipitations par saisons	
HIVER	PRINTEMPS
Amont du BV : +21 % Nord du BV : +19 % Aval du BV : +20 %	Amont du BV : +0 % Nord du BV : -1 % Aval du BV : -1 %
ETE	AUTOMNE
Amont du BV : -29 % Nord du BV : -29 % Aval du BV : -32 %	Amont du BV : -5 % Nord du BV : -12 % Aval du BV : -12 %

Figure 30 : Evolution du cumul des précipitations
Projection « France » – Horizon moyen (2041-2070)

5.2.4 Remarque sur la problématique de l'accentuation des extrêmes

Le site « ClimaDiag commune » a été développé par Météo-France afin de fournir l'évolution attendue de plusieurs paramètres climatiques à l'horizon 2050 à l'échelle communale.

Ces indicateurs ponctuels peuvent être valorisés en complément du maillage DRIAS qui couvre l'ensemble du bassin versant. Deux communes distantes sont ciblées pour l'analyse : Charlieu (42) et Aigueperse (69), cf. Figure 31.

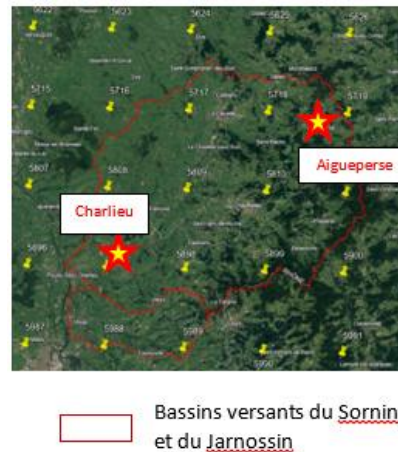


Figure 31 : Localisation des communes ciblées

Les indicateurs retenus sont les suivants :

- Nombre de jours par saison avec fortes précipitations,
- Cumul de précipitations dites « remarquables » (= valeur dépassée un jour sur 100, soit 3 ou 4 jours par an),
- Nombre de jours de très fortes chaleurs (= maximale > 35°C),
- Nombre de nuits chaudes (= minimale > 20°C),
- Nombre de jours de gel (= minimale < 0°C),
- Nombre de jours de « vague de froid » (= épisode d'au moins 5 jours consécutifs durant lesquels la température minimale quotidienne est inférieure de 5 degrés à la normale)

Les résultats pour les deux communes étudiées en considérant la projection climatique « France » sont synthétisés dans le Tableau 18.

Cette accentuation des extrêmes peut avoir un **impact sur des phénomènes indirectement liés au climat, comme les feux de forêt.**

Le portail DRIAS intègre des modélisations futures concernant le risque d'apparition de feux de forêt.

Deux indicateurs peuvent être retenus :

- Nombre de jours avec « risque feux de forêt » élevé,
- Nombre de jours avec « risque feux de forêt » modéré.

Indicateur	Charlieu (42)	Aigueperse (69)	Constat
Nombre de jours par saison avec fortes précipitations	<p>Hiver: 0, Printemps: 1, Été: 1, Automne: 2</p>	<p>Hiver: 1, Printemps: 2, Été: 2, Automne: 2</p>	Peu d'évolution du nombre de jours avec fortes précipitations
Cumul de précipitations dites « remarquables »	<p>Hiver: 21, Printemps: 21, Été: 25, Automne: 27</p>	<p>Hiver: 24, Printemps: 24, Été: 27, Automne: 28</p>	Augmentation des jours avec cumul quotidien remarquables (= risque de ruissellement)
Nombre de jours de très fortes chaleurs	<p>Hiver: 1, Printemps: 4, Été: 6, Automne: 10</p>	<p>Hiver: 1, Printemps: 2, Été: 3, Automne: 6</p>	Augmentation du nombre de jours de très fortes chaleurs
Nombre de nuits chaudes	<p>Hiver: 3, Printemps: 10, Été: 16, Automne: 22</p>	<p>Hiver: 4, Printemps: 11, Été: 18, Automne: 25</p>	Augmentation du nombre de nuits chaudes

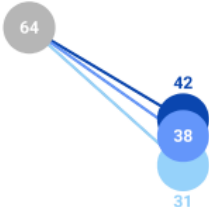
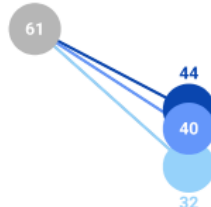
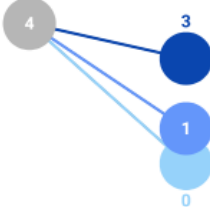
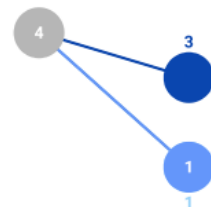
<p>Nombre de jours de gel</p>			<p>Diminution du nombre de jours de gel</p>
<p>Nombre de jours de « vague de froid »</p>			<p>Raréfaction des épisodes de « vague de froid »</p>

Tableau 18 : Evolution à l'horizon 2050 de plusieurs indicateurs climatiques sur les communes de Charlieu (42) et Aigueperse (69) (source : « ClimaDiag commune »)



Les Figure 32 et Figure 33 présentent l'évolution pressentie de ces indicateurs entre la situation actuelle et l'horizon 2050 selon la projection « France ».

En situation actuelle, seulement 5 jours par an sont considérés comme à « risque feux de forêt » modéré, et aucun à risque élevé.

En 2050, en moyenne 30 jours par an (= 1 mois) seront considérés à risque modéré, et 7 jours par an (= 1 semaine) à risque élevé.

Les feux de forêt seront donc un risque réel à prendre en compte dans les années à venir sur le territoire.

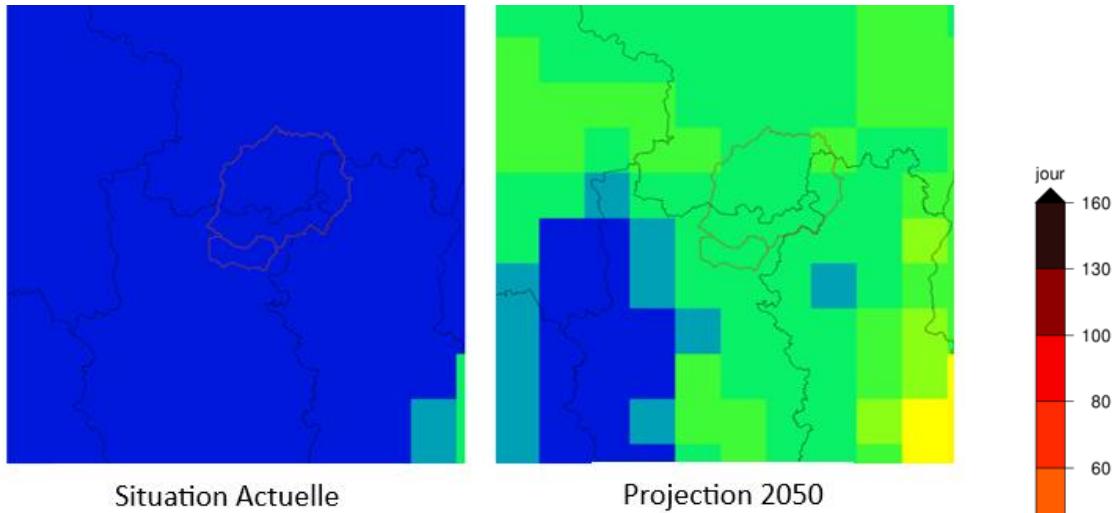


Figure 32 : Nombre de jours avec « risque feux de forêt » élevé – situation actuelle et projection « France » 2050 (source : DRIAS)

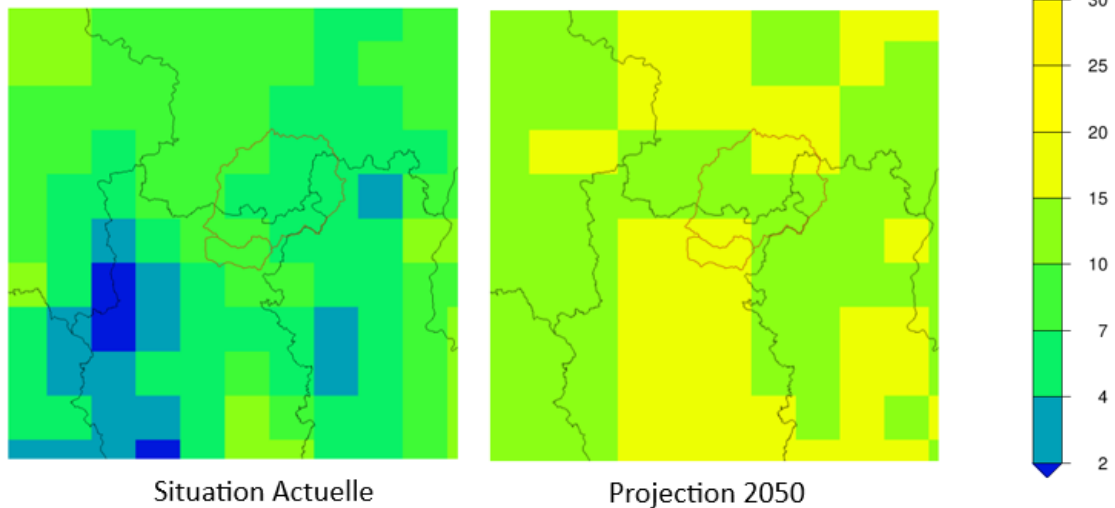


Figure 33 : Nombre de jours avec « risque feux de forêt » modérée – situation actuelle et projection « France » 2050

5.2.5 Conséquences sur les ressources en eau

Les précipitations sur un territoire assurent l'alimentation des cours d'eau et des ressources souterraines. Les phénomènes d'évapotranspiration, liés à des processus physiques et biologiques, interceptent toutefois une grande partie des précipitations. Ainsi, **la ressource en eau est dépendante des pluies efficaces (= précipitations – évapotranspiration)**.

Pour illustrer le « fuseau des possibles » concernant les ressources en eau à l'horizon 2050, deux projections « climatiques » ont été retenues :

- Le narratif jaune (CNRM-CM5 / ALADIN63) comme projection « médiane »,
- Le narratif violet (HadGEM2 / CCLM4-8-17) comme projection « France ».

5.2.5.1 Evolution de l'évapotranspiration potentielle

La hausse des températures engendre de fait une augmentation du phénomène d'évapotranspiration potentielle. Couplée à une baisse des précipitations (notamment en période estivale), le déficit hydrique se trouve accentué.

Le portail DRIAS « les futurs du climat » présente les taux d'évolution de l'évapotranspiration potentielle pour chaque modèle climatique disponible.

Les Tableau 19 et Tableau 20 montrent l'évolution du cumul d'évapotranspiration potentielle sur le territoire d'étude, entre la période de référence (1991-2020) et l'horizon 2050 (2041-2070) pour les simulations « médiane » et « France » qui ont été retenues précédemment.

Evolution du cumul d'évapotranspiration - projection type "médiane"				
(par rapport à la référence 1991-2020)	Hiver	Printemps	Été	Automne
Nord du BV	+3mm (+8%)	+21mm (+10%)	+16mm (+5%)	+12mm (+10%)
Amont du BV	+6mm (+13%)	+22mm (+11%)	+15mm (+5%)	+11mm (+9%)
Aval du BV	+3mm (+8%)	+19mm (+9%)	+14mm (+4%)	+10mm (+8%)

Tableau 19 : Evolution du cumul saisonnier d'évapotranspiration – projection « médiane » 2050

Evolution du cumul d'évapotranspiration - projection type "France"				
(par rapport à la référence 1991-2020)	Hiver	Printemps	Été	Automne
Nord du BV	+4mm (+9%)	+18mm (+8%)	+69mm (+21%)	+23mm (+20%)
Amont du BV	+5mm (+10%)	+14mm (+8%)	+58mm (+19%)	+20mm (+17%)
Aval du BV	+4mm (+9%)	+14mm (+7%)	+59mm (+17%)	+17mm (+15%)

Tableau 20 : Evolution du cumul saisonnier d'évapotranspiration – projection « France » 2050

A l'échelle du territoire, les deux simulations aboutissent à une augmentation de l'évapotranspiration (Tableau 21), de l'ordre de :

- +8% pour la simulation « médiane », avec une augmentation plus forte en hiver et au printemps (+10 à +15%),
- +15% pour la simulation « France », avec une augmentation plus forte en été (+20%).

Cumul annuel d'évapotranspiration			
Secteur	Référence actuelle	Projection « Médiane »	Projection « France »
Amont du BV	672 mm	726 mm (+8 %)	773 mm (+15 %)
Nord du BV	710 mm	767 mm (+8 %)	824 mm (+16 %)
Aval du BV	731 mm	782 mm (+7 %)	826 mm (+13 %)

Tableau 21 : Evolution du cumul annuel d'évapotranspiration (projections « médiane » et « France » - 2050)

5.2.5.2 Evolution de la sécheresse des sols

Le portail DRIAS permet de simuler l'évolution du paramètre « SWI » selon la projection « médiane ».

La projection « France » met en évidence une augmentation en fréquence des sécheresse dites « agricoles » (Figure 34) et « France » (Figure 35).

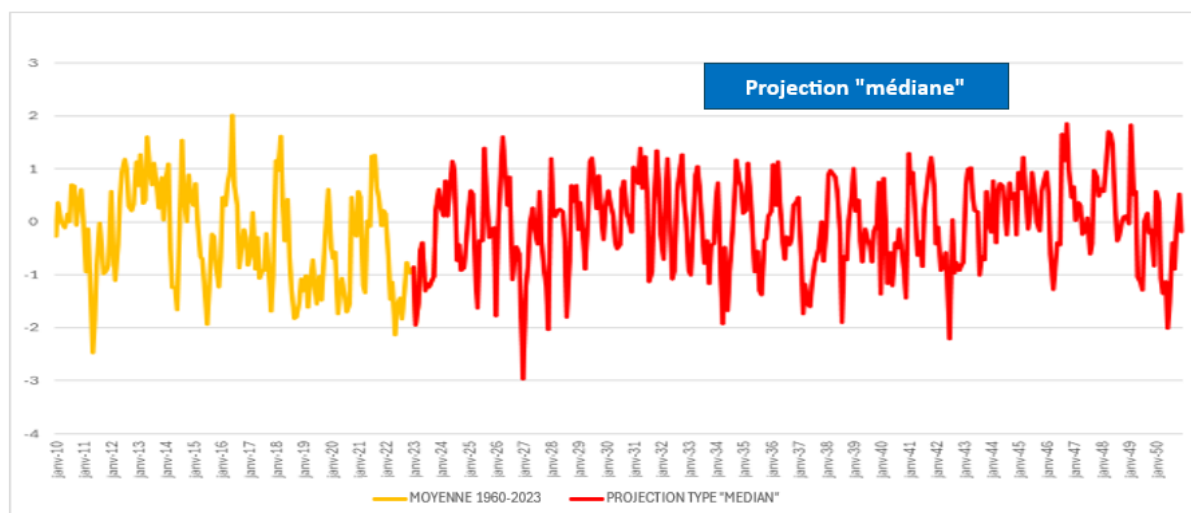


Figure 34 : Evolution de l'indice d'humidité des sols (SWI) – Projection « médiane » 2050

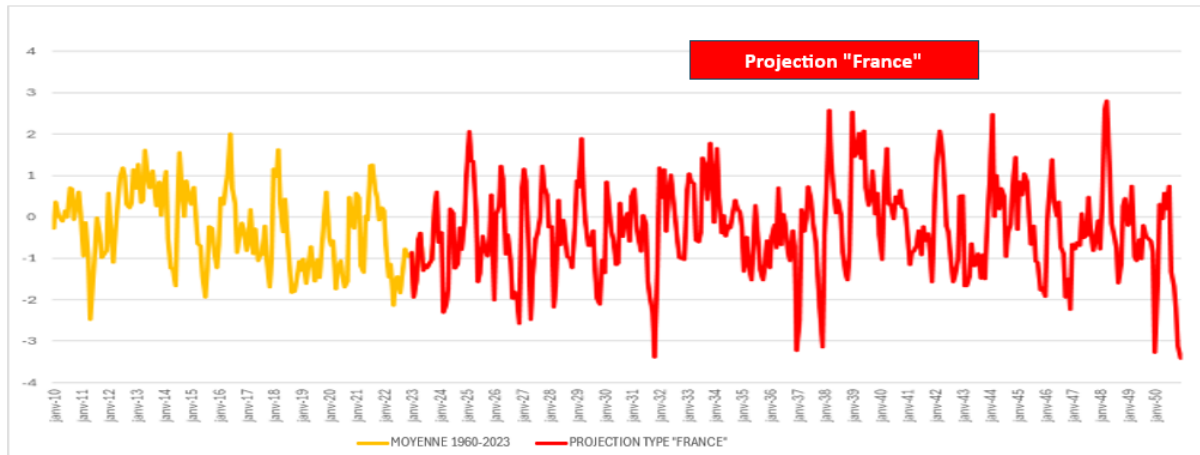


Figure 35 : Evolution de l'indice d'humidité des sols (SWI) – Projection « France » 2050

5.2.5.3 Evolution des ressources en eau superficielles

Ces résultats ont pour conséquence de **réduire les précipitations efficaces** qui contribuent notamment à l'alimentation des ressources superficielles (donc des cours d'eau) et souterraines.

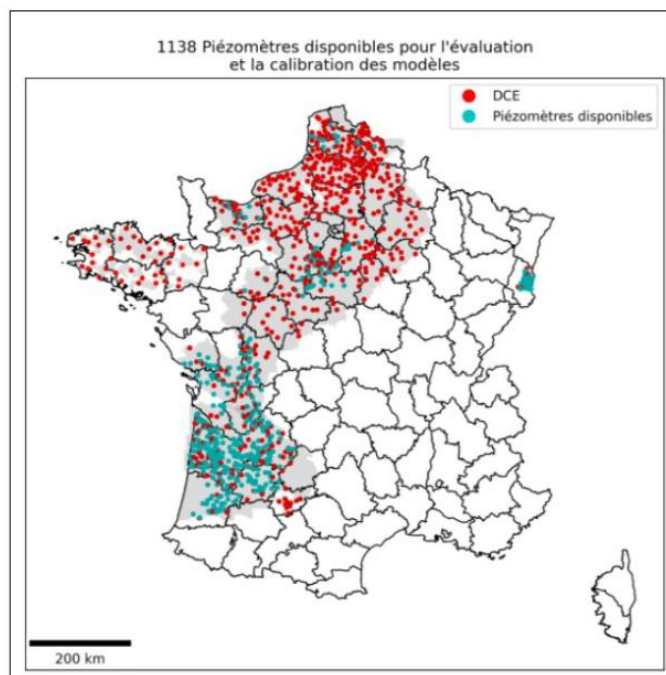
L'évolution attendu des débits des cours d'eau sera développée en détail dans le volet « Hydrologie » dédié (cf. ci-après).

5.2.5.4 Evolution de la recharge des ressources en eau souterraines

A précipitations équivalentes, l'augmentation de l'évapotranspiration entraîne une baisse des pluies efficaces, notamment en périodes printanière et automnale (les pluies efficaces étant souvent déjà nulles en été). Or la recharge des aquifères démarre sur la période automnale, **le changement climatique pourrait donc impacter cette recharge et diminuer en partie les ressources en eau souterraines.**

Le projet Explore2 comprend un volet sur les eaux souterraines, toutefois l'analyse de l'évolution de la recharge des aquifères se concentre sur des aquifères vastes et modélisables. Aucune donnée n'est disponible pour le Massif Central (Figure 36).

Figure 36 : Aquifères français modélisés par le projet Explore2



Par le passé, le projet « Explore2070 » (2012, mené par différents organismes dont notamment l'INRAE, le BRGM, ...), a évalué les impacts du changement climatique sur l'évolution de la recharge des aquifères métropolitains., à l'échelle de larges bassins. L'estimation de la recharge actuelle (Figure 37) a été réalisée à partir de données sectorisées de pluies annuelles et de coefficients de ruissellement (indice IDPR) des sols. Pour cette étude, la référence « temps présent » était **1961-1990**.

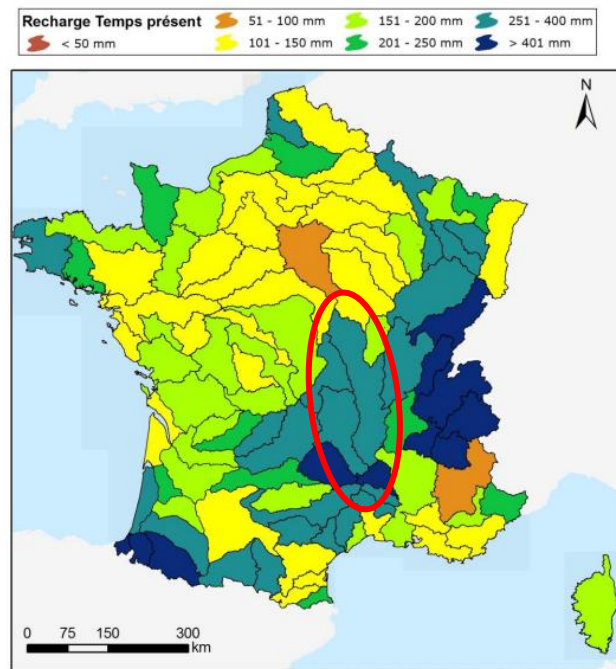


Figure 37 : Recharge actuelle des aquifères français – période 1961-1990
(source : Explore2070)

L'évolution future était proposée à l'échéance 2046-2065, ce qui peut être représentatif de l'horizon 2050. Les résultats se présentaient sous forme d'un écart entre la recharge temps présent et la recharge future, calculée avec une modélisation hydrodynamique (modèle GARDENIA du BRGM) à partir de pluies efficaces (modèle pluie-débit GR4J) et l'indice IDPR (évaluant les taux d'infiltration).

Les 7 modèles climatiques utilisés en clé d'entrée de ces modélisations permettaient de présenter des évolutions potentielles de la recharge des nappes, exprimées en % (Figure 38).

Sur le bassin versant de la Loire amont (cerclé en rouge), il est envisagé une baisse de la recharge des aquifères comprise entre -20 % (taux moyen) et -30 % (taux maximal).

Avec une baisse déjà entamée entre la période de référence 1961-1990 et aujourd'hui, on retiendrait donc une **baisse potentielle de la recharge des aquifères de l'ordre de -20 % d'ici 2050**.

Cet ordre de grandeur est à considérer avec prudence puisque chaque réservoir présente des modalités de recharge et de fonctionnement spécifique. Sur le territoire d'étude il n'y a pas d'aquifères de grande extension mais⁶ :

- Une nappe alluviale le long du Sornin aval (déjà sollicitée pour l'alimentation en eau potable) ;
- Quelques petits aquifères dans les complexes sableux tertiaire (mauvaise connexion hydraulique et donc difficulté d'exploitation) ;
- Des réservoirs de petite capacité dans les franges d'altération du socle granitique (avec zones de sources, enjeux locaux).

⁶ Cf. paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

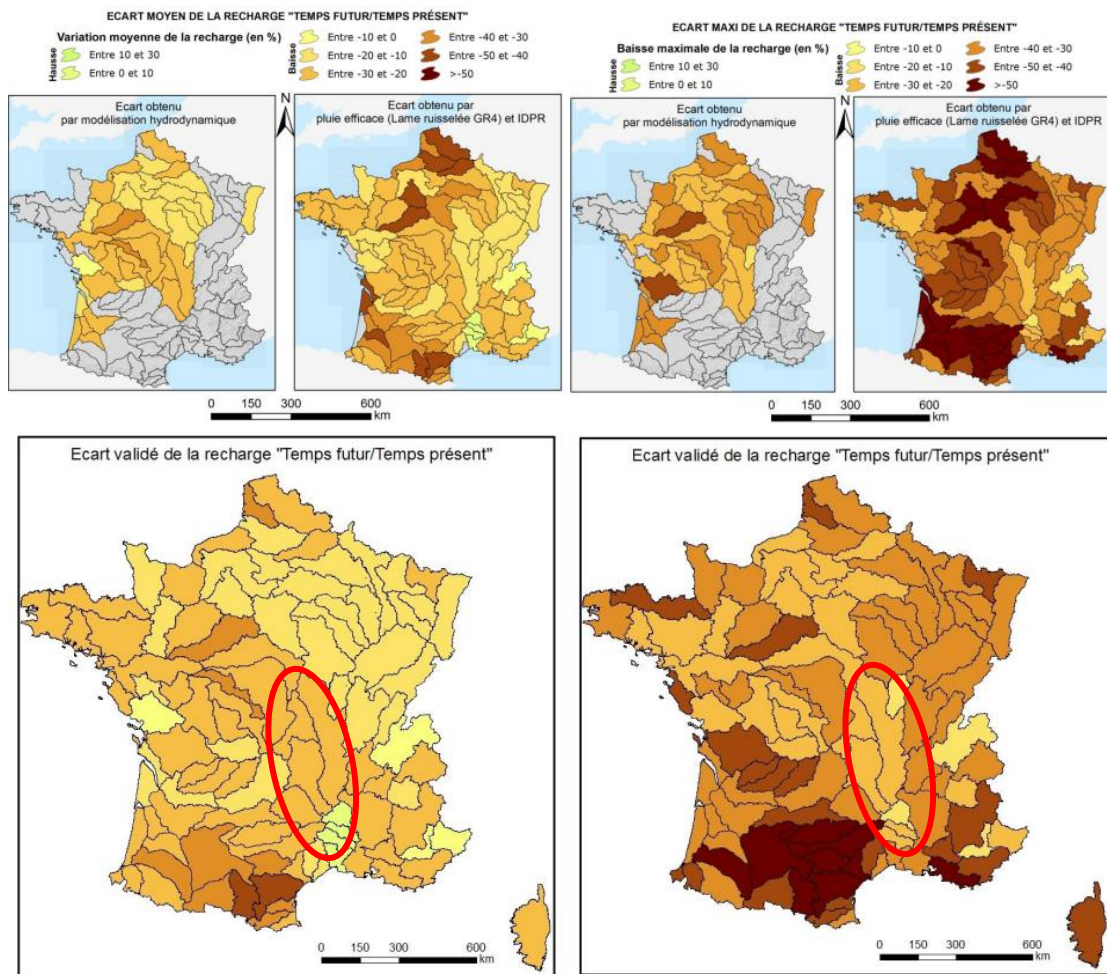


Figure 38 : Ecart moyen et maximal entre recharge actuelle et recharge future (source : Explore 2070)

L'infiltration qui alimente les réservoirs est parfois contrainte plus par les modalités d'infiltration (capacité des « drains » par lesquels l'eau passe, vitesses de circulation de l'eau vers le sous-sol, ...) que par les apports d'eau. Dans ce cas, les réservoirs souterrains préserveront des fonctionnements proches de la situation actuelle. Le maintien d'une pluviométrie hivernale à l'échelle pluriannuelle est également un paramètre favorable pour les ressources souterraines.

Cependant, le risque d'accentuation de **la variabilité météorologique d'une année sur l'autre** laisse craindre **quelques années exceptionnelles aux hivers secs**. Par ailleurs, les périodes chaudes peuvent modifier les taux de saturation en eau des sols avec pour conséquence une augmentation des taux de ruissellement au détriment de l'infiltration vers les niveaux aquifères.

Globalement, il faut retenir un **risque de diminution des ressources souterraines, pas forcément de manière systématique** mais avec des épisodes de baisses de niveau d'eau (ou baisse de débits des sources) plus marqués que par le passé.

Ce phénomène est traduit de manière implicite dans les évolutions des débits des cours d'eau, car les simulations hydrologiques futures se basent sur des modèles-réservoirs qui cherchent à recréer l'effet tampon propre à chaque bassin versant (lié aux caractéristiques géologiques).

Ceci impacte donc plus fortement les têtes de bassins versants où se trouvent les zones de sources, que l'aval où le ruissellement superficiel est prépondérant.

5.2.6 Synthèse

Le Tableau 22 récapitule les tendances d'évolutions issues des 2 projections retenues :

Tendance d'évolution à « l'horizon 2050 »	Projection « Médiane »	Projection « France »
Températures	Année : +1.7°C Réchauffement plus important au printemps et en automne (+2.0°C)	Année : +2.4°C Réchauffement plus important en été et en automne (jusqu'à +3.5°C)
Précipitations	Année : +5% Hausse du cumul plus forte en hiver (+15%), et quasi nulle au printemps	Année : -10% Hausse du cumul en hiver (+20%), et baisse importante en été (-30%)
Evapotranspiration	Année : +8% Augmentation plus forte en hiver et au printemps (+10% à +15%)	Année : +15% Augmentation plus forte en été (+15%)

Tableau 22 : Synthèse de l'évolution climatique envisagée sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin à l'horizon 2050 (prise en compte du scénario GES RCP 8.5)

6. Volet hydrologie – Ressources en eau

Rappel : le contexte hydrographique est présenté dans le § 4.4.

Sont présentées ci-après :

- Les réseaux de suivis qui permettent d'appréhender les ressources en eau superficielles (suivi hydrologique des cours d'eau)
- Une caractérisation des ressources en eau superficielles dites « désinfluencées » des prélèvements et rejets (cette ressource ne peut pas être considérée comme « naturelle » car certains paramètres anthropiques, non mesurables et non quantifiables, ne peuvent être intégrés à l'analyse).

Plusieurs notions sont abordées ci-après, qu'il convient de définir :

- **Période de « basses eaux »** : mois de l'année où le débit moyen mensuel est inférieur au module,
- **Période « hors basses eaux »** : reste des mois où la définition de la période de « basses eaux » ne s'applique pas,
- **Hydrologie influencée** : hydrologie impactée par les usages de l'eau (un prélèvement est considéré comme une réduction du débit du cours d'eau, et un rejet comme un apport d'eau),
- **Hydrologie désinfluencée** : hydrologie reconstituée de manière théorique, en enlevant les volumes des différents usages de l'eau au volume total du cours d'eau.

6.1 Suivi hydrologique existant

6.1.1 Stations hydrométriques

Cf. Carte 13 : Stations de suivi hydrométrique

Il existe **4 stations hydrométriques** sur le bassin versant du Sornin (aucune station sur celui du Jarnossin) :

- Une station DREAL à Pouilly-sous-Charlieu,
- 4 stations hydrométriques en réseau local (CENEAU), équipées par le SYMISOA (depuis 2013) : 2 sur le Sornin (La Chapelle-sous-Dun et St-Maurice-lès-Châteauneuf), 1 sur le Botoret aval (Tancon) et une en aval du Bézo.

Les chroniques de suivi de la station de Charlieu permet une analyse statistique des **débits influencés** du Sornin, au travers de différents indicateurs disponibles sur l'HydroPortail :

- Les débits moyens mensuels,
- Le **module** : débit moyen interannuel,
- Le **Q50** ou débit médian : débit en-dessous duquel le cours d'eau se trouve 50 % du temps (plus représentatif de l'écoulement moyen que le module qui est souvent « gonflé » par les épisodes de crues),
- Le **QMNA5** : débit mensuel d'étiage de fréquence de retour 5 ans,
- Notion de **débits spécifiques** : débits rapportés à la surface du bassin versant concerné (ces valeurs permettent de comparer les cours d'eau entre eux sur la base des apports d'eau par unité de surface).

Plus le suivi est long sur une station de mesure, plus ces indicateurs statistiques seront robustes, car la variabilité d'une année sur l'autre est très importante.

Ces indicateurs sont synthétisés dans le Tableau 23, avec en en-tête les caractéristiques des stations (code, nom, chronique de mesure, altitude et surface de bassin versant). Il faut signaler que 2 stations ont connu des changements de matériel au cours de leur historique :

- A Pouilly-sous-Charlieu (code K1063010), une station a été mise en place entre 1970 et 1987, puis remplacée par une nouvelle station active depuis 2005,
- A la Chapelle-sous-Dun (code K1040001), une première station a été mise en servie entre 2013 et 2019, remplacée par une nouvelle station à partir de 2019.

Ces renouvellements de matériel entraînent des « coupures » dans la chronique de mesure, ce qui peut influencer les statistiques, exemples :

- Les données de la station de la Chapelle-sous-Dun n'ont pu être exploitées qu'à partir de 2019 en raison d'une différence importante entre l'ancienne courbe de tarage (2013-2019) et la nouvelle en cours actuellement,
- Les données de la station de Pouilly-sous-Charlieu ne sont exploitables qu'à partir de 2005.

Code station	K1063010		K1050003		K1040001		K1050002	
Intitulé	Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu		Le Sornin à Saint-Maurice-lès-Châteauneuf		Le Sornin à la Chapelle-sous-Dun		Le Botoret à Tancon	
Chronique	2005 - 2023		2013 - 2023		2019 - 2023		2013 - 2023	
Altitude (m NGF)	265		289		328		290	
Surface bassin versant (km ²)	498		247		149		99	
	l/s	l/s/km ²	l/s	l/s/km ²	l/s	l/s/km ²	l/s	l/s/km ²
Janvier	10 155	20,4	2781	11,3	3028	20,3	1239	12,5
Février	8 786	17,6	2958	12,0	2670	17,9	1327	13,4
Mars	6 497	13,0	2214	9,0	1510	10,1	1084	10,9
Avril	4 839	9,7	1525	6,2	1128	7,6	653	6,6
Mai	5 610	11,3	1359	5,5	1197	8,0	702	7,1
Juin	3 941	7,9	1016	4,1	754	5,1	573	5,8
Juillet	2 693	5,4	703	2,8	1010	6,8	364	3,7
Août	1 468	2,9	611	2,5	333	2,2	273	2,8
Septembre	1 607	3,2	671	2,7	416	2,8	271	2,7
Octobre	2 758	5,5	1135	4,6	1097	7,4	485	4,9
Novembre	7 183	14,4	1792	7,3	1646	11,0	887	9,0
Décembre	10 502	21,1	2333	9,4	5831	39,1	1144	11,6
Module	5 503	11,1	1550	6,3	1771	11,9	759	7,7
Module sec quinquennal	3 808	7,6						
Q50	2 910	5,8	1155	4,7	1025	6,9	592	6,0
QMNA5	301	0,6	194	0,8	113	0,8	49	0,5
Q50 / Module	53%		75%		58%		78%	
QMNA5 / Module	5%		12%		6%		6%	
Module sec q. / Module	69%							

Tableau 23 : Stations hydrométriques et débits caractéristiques associés (source : HydroPortail et Ceneau)

A la station de Pouilly-sous-Charlieu, située tout à l'aval du bassin versant du Sornin, **le cours d'eau présente un régime hydrologique pluvial océanique, avec une période de basses eaux entre juin et octobre, et des hautes eaux le reste de l'année.**

La lame d'eau écoulée est relativement abondante (débits spécifiques à 11,1 l/s/km² au module, valeur supérieure à la moyenne nationale estimée à 8,0 l/s/km²).

En revanche les basses eaux sont marquées, avec des débits spécifiques < 5 l/s/km² entre juillet et septembre. En étiage quinquennal (QMNA5), le débit spécifique est estimé à 0,6 l/s/km² (5% du module), ce qui est très sévère pour une rivière de cette importance.

Une **analyse historique** a été réalisée la chronique récente disponible (2005-2023) de cette station.

Sur le module (Figure 39), on constate une baisse de **16% soit -936 l/s** en l'espace de 18 ans.

Concernant l'analyse en période de basses eaux (Figure 40), une comparaison a été effectuée entre les débits moyens mensuels minimaux de chaque année et le QMNA5. **L'historique révèle que le QMNA5 est fréquemment sous-passé sur les dernières années (4 occurrences depuis 2018).**

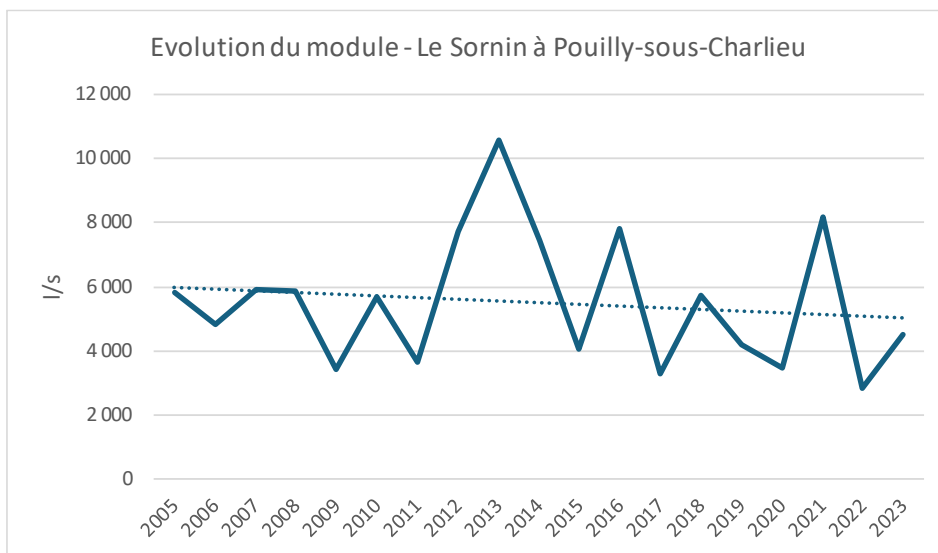


Figure 39 : Evolution du module 2005/2023 – Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)

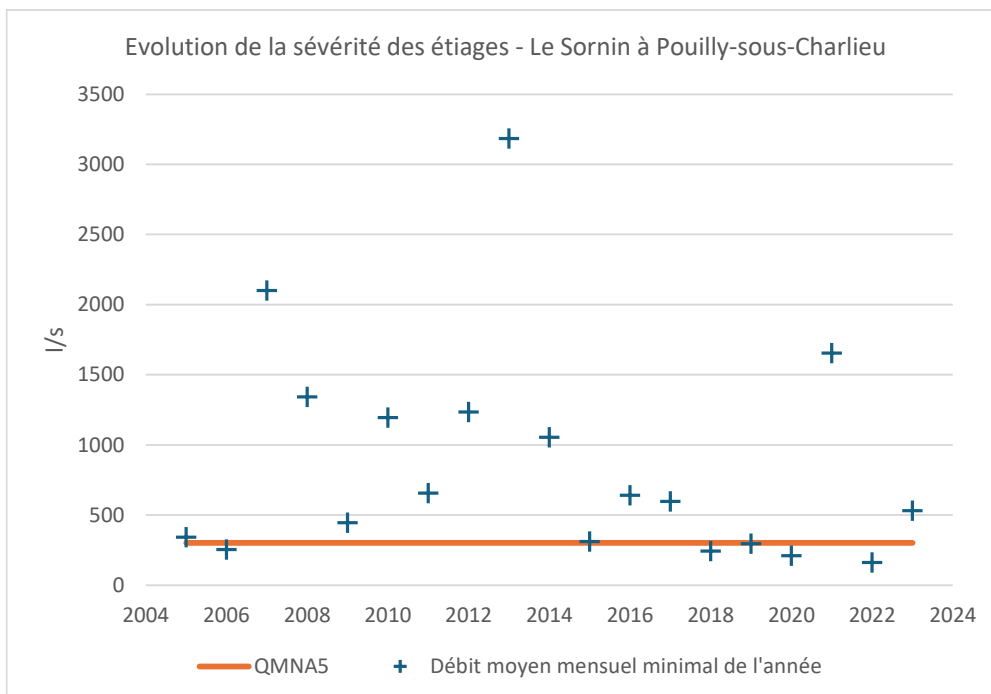
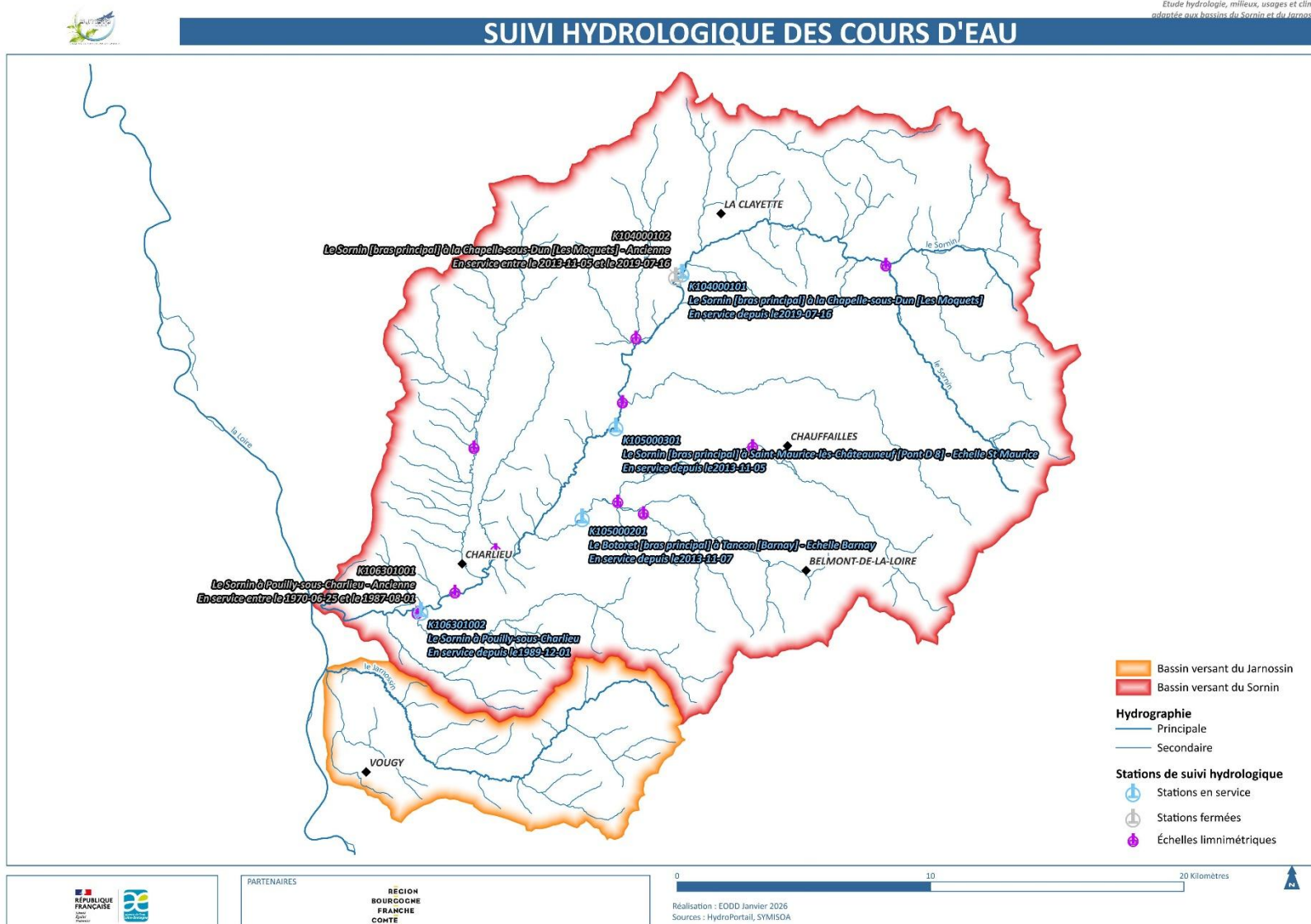


Figure 40 : Evolution de la sévérité des étiages 2005/2023 – Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)



Carte 13 : Stations de suivi hydrométrique

6.1.2 Réseaux complémentaires

6.1.2.1 Réseau ONDE

Cf. Carte 14 : Stations de suivi des étiages

Le réseau ONDE (Observatoire National des Etiages), développé à l'échelle nationale depuis 2012 par l'OFB, vise à caractériser de façon qualitative des cours d'eau non-jaugés, souvent de petites tailles.

Le suivi s'effectue de manière régulière (tous les 15 jours ou tous les mois selon les cours d'eau) au niveau d'un point d'observation fixé.

4 constats peuvent être faits dans les chroniques de suivi :

- Ecoulement visible acceptable
- Ecoulement visible faible
- Ecoulement non visible
- Assec

3 points d'observations sont recensés dans le périmètre d'étude, dont 2 sur des affluents du Sornin et 1 sur le Jarnossin. Ces points d'observation sont les suivants :

- Le ruisseau de Pontbrenon à Coublanc (code K1050001)
- Le Chandonnet à Mars (code K1063011)
- Le Jarnossin à Nandax (code K1010001)

Les chroniques (Tableau 24 à Tableau 26) montrent que **les deux affluents du Sornin ont connu des assecs lors des été récents (2019, 2020, 2022, ...)**.

Ces relevés localisés ne peuvent toutefois pas être extrapolés au reste des affluents d'eau non-jaugés du Sornin (ni au Sornin en lui-même), car ils peuvent potentiellement présenter des conditions hydrologiques différentes.

Le suivi effectué sur le **Jarnossin** est mieux représentatif du bassin versant, car la station est implantée directement sur le Jarnossin (qui n'est suivi par aucune station de mesure des débits). L'historique montre qu'il a déjà connu des assecs (exemple : le 09/07/2015). **Ce cours d'eau semble donc présenter des étiages parfois très sévères, allant jusqu'à l'assèchement total.**

Suivi ONDE				
		1	: écoulement visible acceptable	
		2	: écoulement visible faible	
		3	: écoulement non visible	
		4	: assec	
Année	Date	Le ruisseau de Pontbrenon à Coublanc (K1050001)	Le Chandonnet à Mars (K1063011)	Le Jarnossin à Nandax (K1010001)
2012	25/05/2012	1	1	1
	25/06/2012	1	1	1
	24/07/2012		1	1
	25/07/2012	1		
	24/08/2012		1	1
	27/08/2012	1		
	25/09/2012	1	1	1
	25/10/2012		1	1
	27/11/2012		1	1
2013	25/01/2013		1	1
	25/02/2013		1	1
	26/03/2013		1	1
	24/05/2013	1		
	27/05/2013		1	1
	27/06/2013		1	1
	28/06/2013	1		
	25/07/2013		1	1
	26/07/2013	1		
	26/08/2013		1	1
	27/08/2013	1		
	25/09/2013	1		
	26/09/2013		1	1
2014	26/05/2014		2	2
	27/05/2014	1		
	17/06/2014		2	2
	24/06/2014	1		
	25/06/2014		1	1
	25/07/2014	1	1	1
	25/08/2014	1		
	27/08/2014		2	2
	24/09/2014		2	2
	25/09/2014	2		
2015	25/05/2015	1		
	26/05/2015		2	2
	25/06/2015	1	2	2
	09/07/2015		4	4
	16/07/2015	2		
	22/07/2015		3	3
	27/07/2015	2		
	14/08/2015	1		
	24/08/2015	1		
	27/08/2015		2	2
	24/09/2015		1	1
25/09/2015	1			
2016	25/05/2016	1		
	26/05/2016		2	2
	24/06/2016	1		
	26/06/2016		2	2
	25/07/2016	1		
	26/07/2016		1	2
	25/08/2016	1		
	26/08/2016		2	2
	23/09/2016	1		
26/09/2016		2	2	

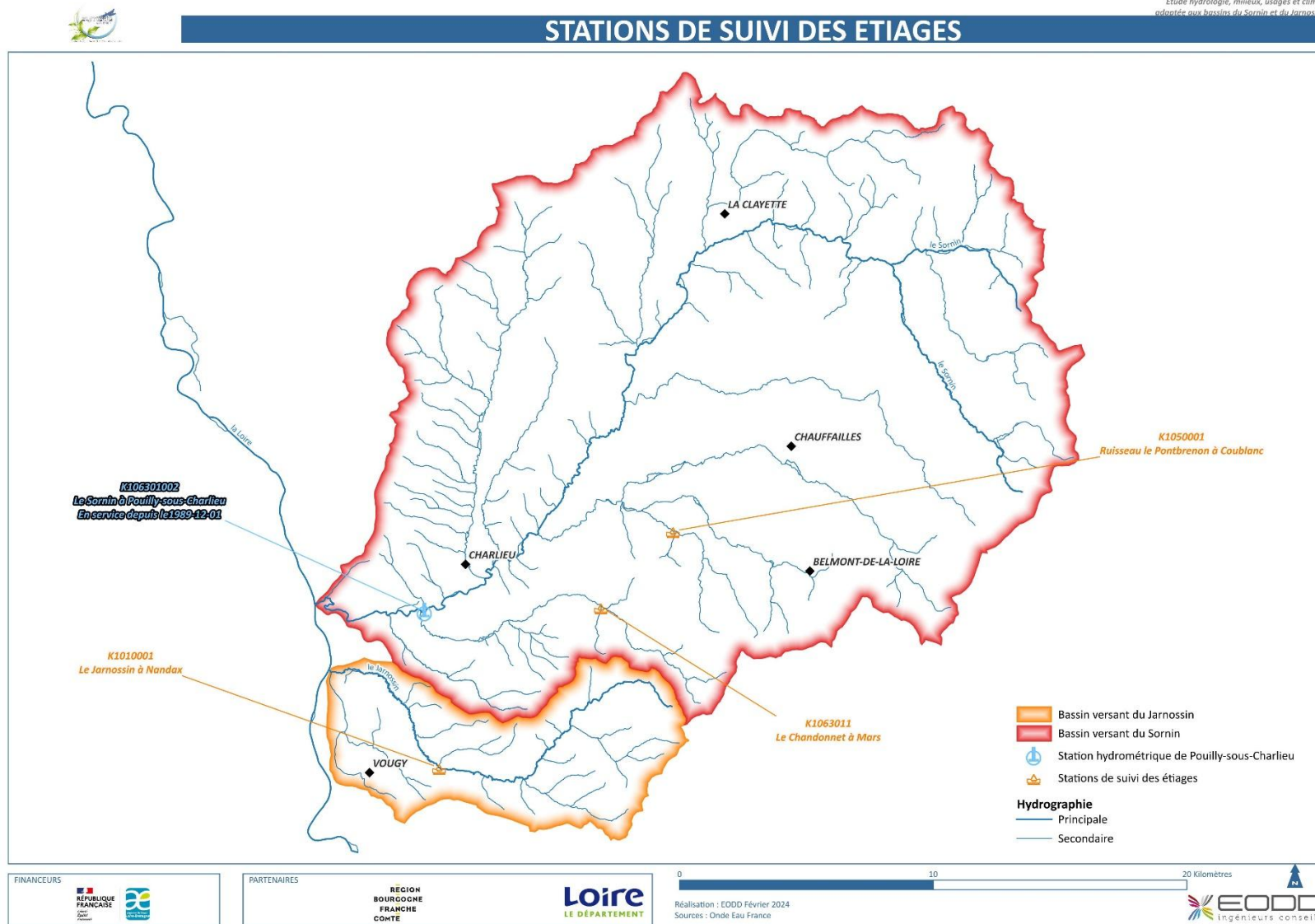
Tableau 24 : Suivi ONDE (1) (source : OFB)

Suivi ONDE				
		1	: écoulement visible acceptable	
		2	: écoulement visible faible	
		3	: écoulement non visible	
		4	: assec	
Année	Date	Le ruisseau de Pontbrenon à Coublanc (K1050001)	Le Chandonnet à Mars (K1063011)	Le Jarnossin à Nandax (K1010001)
2017	23/05/2017	1		
	24/05/2017		1	1
	23/06/2017		2	2
	26/06/2017	1		
	03/07/2017		2	2
	18/07/2017	1		
	25/07/2017		2	2
	27/07/2017	1		
	25/08/2017	2	2	2
	26/09/2017	2	1	1
	26/10/2017		1	1
2018	27/05/2018		1	1
	28/05/2018	1		
	26/06/2018		1	1
	27/06/2018	1		
	23/07/2018	1		
	24/07/2018		1	2
	07/08/2018	1		
	24/08/2018		1	2
	27/08/2018	1		
	25/09/2018	1		
	26/09/2018		3	2
	25/10/2018	2	2	2
	26/11/2018		1	1
2019	06/05/2019	1	1	2
	27/05/2019	1	1	1
	24/06/2019	1		
	25/06/2019		1	2
	11/07/2019	1		
	24/07/2019		2	2
	25/07/2019	4		
	06/08/2019	2		
	20/08/2019	1		
	23/08/2019		1	1
	26/08/2019	1		
	19/09/2019	4		
	25/09/2019		2	2
	26/09/2019	1		
14/10/2019	1			
25/10/2019	1	1	1	

Tableau 25 : Suivi ONDE (2) (source : OFB)

Suivi ONDE				
		1	: écoulement visible acceptable	
		2	: écoulement visible faible	
		3	: écoulement non visible	
		4	: assec	
Année	Date	Le ruisseau de Pontbrenon à Coublanc (K1050001)	Le Chandonnet à Mars (K1063011)	Le Jarnossin à Nandax (K1010001)
2020	21/04/2020	1		
	13/05/2020		1	1
	26/05/2020	1	1	1
	23/06/2020	1		
	25/06/2020		1	1
	06/07/2020	1		
	23/07/2020	1		
	27/07/2020		2	1
	03/08/2020	4		
	24/08/2020		2	2
	25/08/2020	4		
	25/09/2020	4	2	2
	26/10/2020	1		
2021	15/04/2021		1	1
	25/05/2021	1	1	1
	25/06/2021	1		
	26/06/2021		1	1
	26/07/2021	1		
	27/07/2021		1	1
	27/08/2021	1	1	1
	27/09/2021	1	1	1
2022	24/05/2022	2	1	1
	26/06/2022	1		
	27/06/2022		1	1
	13/07/2022		2	2
	15/07/2022	3		
	25/07/2022	4	4	2
	16/08/2022	4		
	25/08/2022	4	4	2
	26/09/2022	2	1	1
	25/10/2022		1	1
	26/10/2022	1		
2023	21/03/2023	1		
	25/03/2023		1	1
	23/04/2023		2	2
	25/04/2023	1		
	23/05/2023	1		
	25/05/2023		1	1
	25/06/2023		1	1
	26/06/2023	1		
	10/07/2023	1		
	22/07/2023		1	2
	25/07/2023	1		
	21/08/2023	2		
	24/08/2023		2	3
	25/08/2023	3		
	13/09/2023	4		
	24/09/2023		1	1
	25/09/2023	1		
25/10/2023	1	1	1	

Tableau 26 : Suivi ONDE (3) (source : OFB)

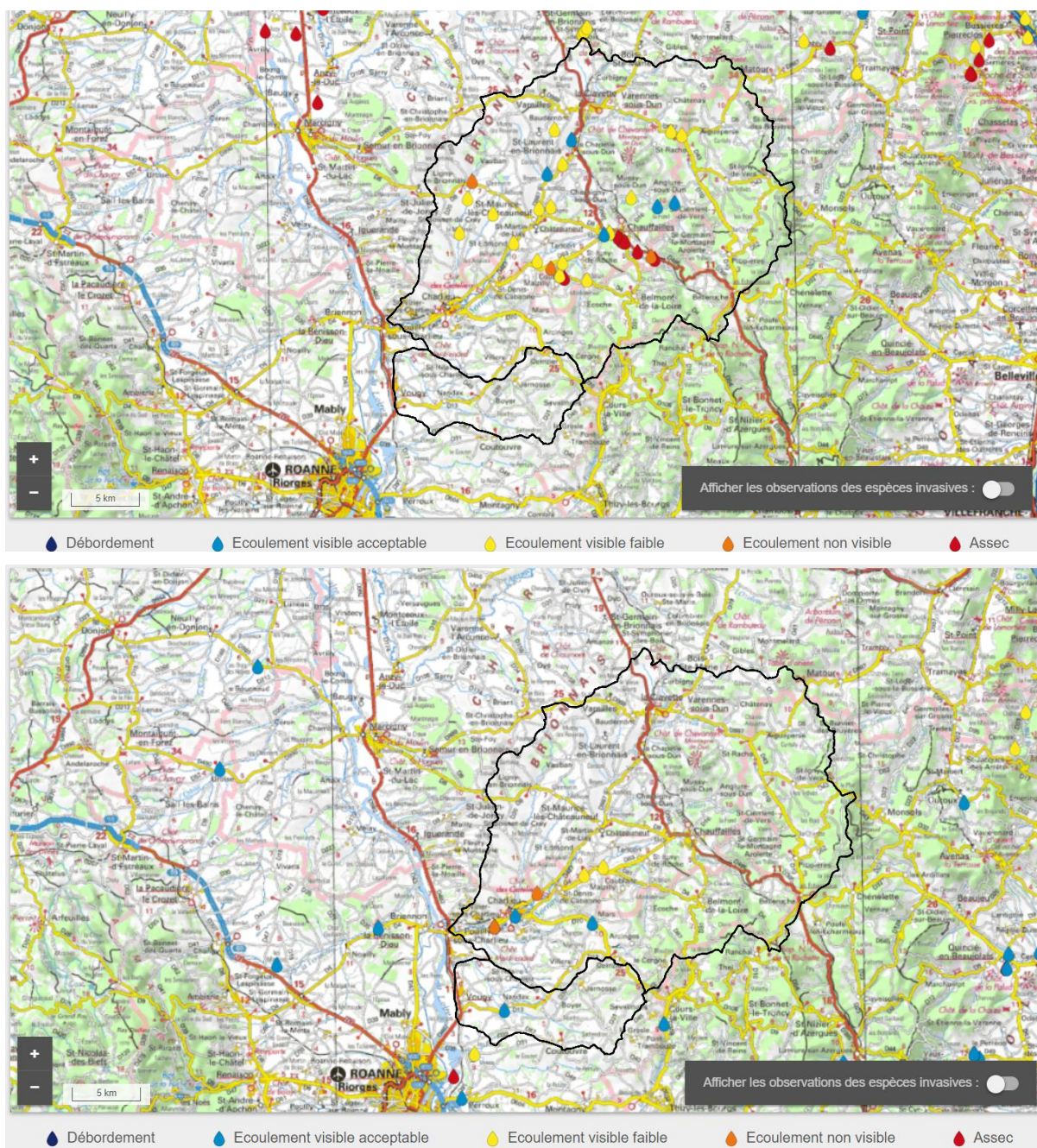


Carte 14 : Stations de suivi des étiages

6.1.2.2 Réseau « EN QUÊTE D'EAU »

Le réseau « EN QUÊTE D'EAU » est un programme scientifique participatif qui permet à tout particulier possédant un compte sur la plateforme de renseigner, pour une date donnée, une photo du cours d'eau et d'estimer son statut d'écoulement sur une échelle allant de « débordement » à « assec » (il est également possible de renseigner la présence ou non d'espèces invasives).

Dans le périmètre d'étude de nombreux points d'observations existent (Figure 41). Dans la plupart des cas il n'y a qu'une observation renseignée par point, ce réseau se veut donc plutôt informatif sur l'état des cours d'eau à un instant donné, mais il n'est pas possible d'en tirer des tendances statistiques.



6.1.2.3 Suivi complémentaire EODD

Afin d'affiner la connaissance hydrologique du Jarnossin, qui n'est suivi par aucune station hydrologique officielle, une sonde de niveau d'eau a été installée par EODD sur l'aval du cours d'eau, à proximité de la confluence avec la Loire (commune de Pouilly-sous-Charlieu, Figure 42). Couplé à **plusieurs campagnes de jaugeage**, ce suivi des niveaux permettra d'établir une courbe de tarage permettant d'appréhender les débits du Jarnossin en aval de son bassin versant.



Figure 42 : Localisation de la sonde niveau d'eau du Jarnossin

Le suivi débuté le 25/07/2024 a été valorisé pour préciser les ressources « désinfluencée » et « influencée » de ce cours d'eau (Tableau 27).

JAR_SN	Date	Heure	Débit (l/s)	Ratio / Module IRSTEA	Ratio / Module simulé EODD	Ratio / Module HydroPortail K1063010
C1	25/07/2024	13:00	260	0,68	0,62	0,88
C2	12/08/2024	11:00	14	0,04	0,03	0,16
C3	17/09/2024	16:00	286	0,75	0,68	0,59
C4	24/09/2024	09:00	149	0,39	0,35	0,37
C5	07/10/2024	17:00	91	0,24	0,22	0,62
C6	16/10/2024	14:00	327	0,86	0,77	1,19
C7	02/12/2024	11:00	405	1,07	0,96	1,00

Tableau 27 : Campagnes de débits effectuées pour le tarage de la sonde (K1063010 = station DREAL « le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu »)

6.1.3 Synthèse

Seule la station DREAL de Pouilly-sous-Charlieu permet d'avoir des statistiques suffisamment robustes sur l'hydrologie du Sornin (aucune statistique disponible sur celui du Jarnossin).

Le réseau de suivi complémentaire, globalement peu développé, fournit des infos locales, non extrapolables à tous les cours d'eau des bassins versants et même à l'ensemble du linéaire des cours d'eau suivi. Des hypothèses devront donc être formulées pour caractériser les ressources en eau superficielle sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'amélioration des connaissances et du suivi de l'hydrologie des cours d'eau apparaît déjà comme un enjeu fort sur ce territoire.

6.2 Hydrologie désinfluencée

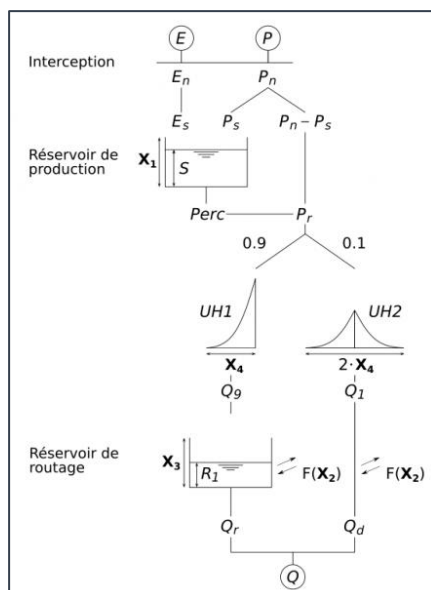
6.2.1 Reconstitution des débits désinfluencés théoriques

Afin de caractériser l'hydrologie désinfluencée sur l'ensemble du territoire étudié, en situation actuelle et en situation future (horizon 2050), un modélisation pluie-débit a été établie sur la base du GR4J. Ce modèle est très largement utilisé du fait de sa simplicité et de sa robustesse liée au faible nombre de paramètres à caler, ce qui limite le risque de surajustement et permet une calibration stable, même dans un contexte de données limitées. Dans le cas du bassin versant du Sornin, la modélisation est pertinente du fait du faible nombre de stations hydrométriques présentes sur le territoire avec une chronique de débit conséquente. L'utilisation de GR4J permet ainsi de reconstituer une chronique de débit journalière en plusieurs points stratégiques du bassin, et permet de reconstituer une dynamique hydrologique sur le bassin versant, malgré les incertitudes liées au manque de mesures.

6.2.1.1 Le modèle GR4J

Le modèle GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) est un modèle conceptuel de type pluie-débit, permettant de transformer une chronique météorologique en une chronique de débit journalier (Perrin et al., 2003). Ce modèle est largement utilisé pour la modélisation hydrologique en raison de sa simplicité et de son efficacité. Il nécessite des données de pluviométrie et d'évapotranspiration potentielle pour fonctionner.

Il s'agit d'un modèle à deux réservoirs (réservoir de production et réservoir de routage) reposant sur **quatre paramètres** (Figure 43). La calibration de ces quatre paramètres est réalisée en ajustant les valeurs sur des chroniques de débit observées. Une période de cinq ans est utilisée pour le remplissage du modèle et la calibration des paramètres, puis une autre période de cinq ans est utilisée pour la validation de ces paramètres.



Paramètre (unité)	Signification	Borne inférieure	Borne supérieure
X1 (mm)	Volume du réservoir de production	100	1 200
X2 (mm/jour)	Coefficient d'échange souterrain	-5	3
X3 (mm)	Volume du réservoir de routage	20	300
X4 (jour)	Hydrogramme unitaire	1.1	2.9

Figure 43 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4J (INREA) et les différents paramètres de calage avec bornes associées (Perrin et al., 2003)

Pour faciliter la calibration des paramètres, un package nommé AirGR (Coron et al., 2020) a été développé par l'INRAE. Ce package permet une calibration automatique des paramètres en utilisant les chroniques météorologiques et de débit sur les bassins versants équipés de stations hydrométriques avec une chronique d'enregistrement des débits moyens journaliers. Ce package a été utilisé pour cette étude afin d'optimiser le processus de calibration.

Le modèle GR4J inclut également un module neige, appelé CemaNeige, qui peut être activé pour les bassins versants où le stockage de neige est potentiellement significatif. Ce module est utilisé sur le territoire d'étude, en intégrant des paramètres régionaux issus de la bibliographie (Valéry et al., 2010).

6.2.1.2 Application aux bassins versants du Sornin et du Jarnossin

• Calibrage du modèle

Pour calibrer le modèle, ont été utilisées :

- Les chroniques journalières de la station hydrométrique du Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010), seule station exploitable sur le bassin versant en raison de l'absence de données fiables (chroniques > 10 ans) sur les autres stations.
- Les données spatialisées SAFRAN de Météo-France (période 1960-2023).

Pour utiliser ces données, il a été nécessaire d'affecter les bonnes pluviométrie et évapotranspiration potentielle (ETP) à chaque bassin versant. Un code Python a été développé pour attribuer la pluviométrie associée à chaque sous bassin versant, en fonction des mailles SAFRAN recoupées, en calculant le pourcentage de chaque maille à l'intérieur de chaque bassin versant. Ce processus a permis de distribuer précisément les données de précipitations sur les différentes zones du bassin.

Le schéma conceptuel en Figure 44 illustre ce processus : les précipitations et évapotranspiration sont réparties sur le bassin versant selon les proportions de chaque maille intersectant le bassin. Par exemple, la pluviométrie totale du bassin versant ci-dessous est calculée comme suit :

Pluviométrie et ETP totale du bassin versant = 50 % × Maille 1 + 15 % × Maille 2 + 30 % × Maille 3 + 5 % × Maille 4.

Ce processus permet de tenir compte des spécificités géographiques de chaque maille pour une meilleure représentation des données climatiques à l'échelle du bassin versant

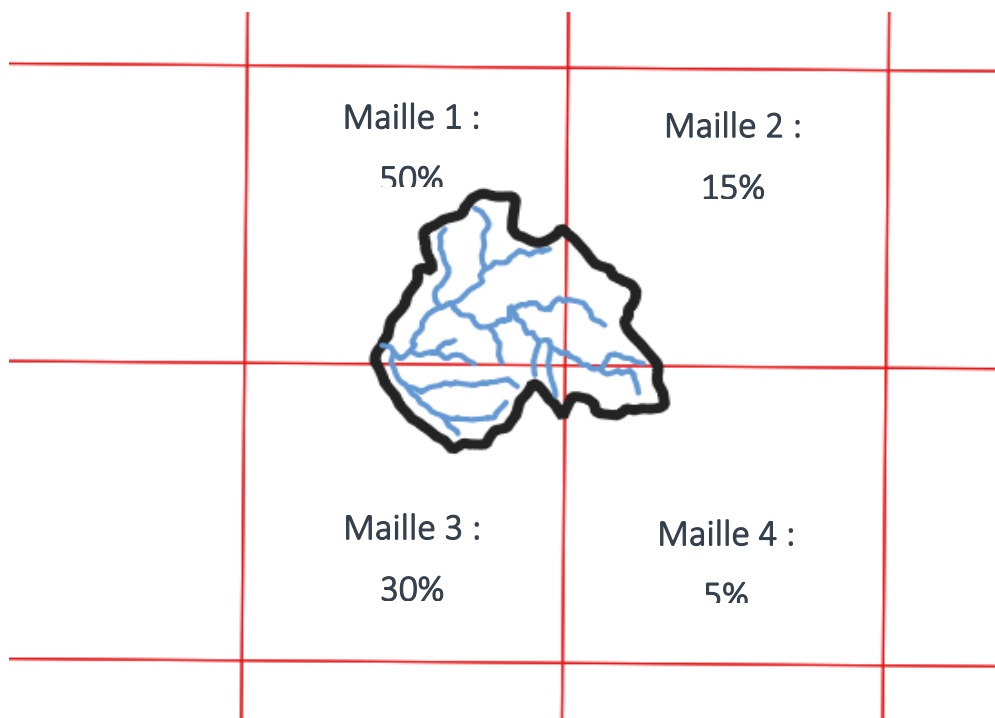


Figure 44 : Schéma conceptuel de distribution des données climatiques SAFRAN-ISBA (précipitations et ETP) sur un bassin versant

Les données DRIAS, qui fournissent des projections climatiques journalières futures, ont également été utilisées. Plusieurs modèles de climat futur et leurs périodes de référence ont été intégrés afin de comparer ces projections avec les valeurs et modélisations actuelles. Ces données disposant d'un maillage identique à celui des données SAFRAN, il a été également nécessaire de les traiter de la même manière pour assurer une cohérence dans la modélisation. Cela a impliqué l'application du même code Python pour attribuer une climatologie future (précipitations et évapotranspiration) en fonction des projections climatiques issues de plusieurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre.

- **Critère de calage :**

Afin d'assurer une calibration cohérente du modèle, un calage automatique du modèle a été effectué, reposant sur un algorithme mathématique permettant de déterminer les paramètres les plus appropriés pour permettre au modèle de se rapprocher au mieux de la réalité. Ce choix a été privilégié par rapport au calage manuel afin de limiter les biais dû à la subjectivité de l'utilisateur calibrant le modèle.

Le critère d'ajustement retenu est le « **KGE** » (= écart-type entre débit modélisé et simulé, compris entre 0 et 1). Appliqué à notre modélisation, il affiche de très bonnes performances :

- 0.84 sur la période de calibration (2006-2010)
- 0.91 sur la période de validation (2011-2015)

Prise en compte des usages sur les débits mesurés :

Afin de calibrer les paramètres du modèle, les débits simulés sont comparés aux débits mesurés au niveau de la station hydrométrique du Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010).

Comme indiqué dans le paragraphe 6.1.1 (*stations hydrométriques*), ces débits mesurés sont des débits influencés. Il est proposé une première approche pour estimer dans quelle part les débits mesurés aux stations hydrométriques sont modifiés par les prélèvements et les rejets sur le bassin versant en amont de la station.

L'approche est la suivante (Tableau 28) :

- Les débits influencés de la station hydrométrique sont récupérés sur HydroPortail, en l/s, sur la chronique 2005-2023 : **A**
- Les prélèvements annuels BNPE recensés sur le bassin versant de la station sont téléchargés sur la période 2008-2022 et moyennés sur cette période (m³/an puis converti en l/s), complétés par les prélèvements « diffus » estimés (plans d'eau et élevage) : **B**
- Les données de rejets AELB recensés sur le bassin versant sont téléchargés (volume de rejet en m³/j puis converti en l/s) : **C**
- Les prélèvements sont sommés et les rejets sont soustraits aux débits influencés pour obtenir des débits désinfluencés : **D = A + B – C**
- Des taux d'influence (%) sont calculés : **D/A**

Cette station, représentative de l'ensemble du bassin versant du Sornin, révèle que sur ce cours d'eau l'influence des usages est très faible (voir légèrement positive) pour la plupart des conditions hydrologiques moyennes.

Lors des étiages sévères (assimilables aux conditions de QMNA5), le débit du cours d'eau est toutefois diminué de plus d'un tiers de son débit naturel (37%).

Débits influencés (A)	Module	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)	5 503	10 155	8 786	6 497	4 839	5 610	3 941	2 693	1 468	1 607	2 758	7 183	10 502	301
Prélèvements totaux (B)	Module	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)	89,2	42,5	47,5	60,6	93,0	117,4	142,9	152,6	132,8	104,8	78,1	57,2	38,6	155,0
Rejets totaux (C)	Module	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0
Débits désinfluencés (D = A + B - C)	Module	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)	5 550	10 155	8 791	6 516	4 890	5 685	4 042	2 803	1 559	1 669	2 794	7 198	10 499	414
Taux d'influence en % (D/A)	Module	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)	0,9%	0,0%	0,1%	0,3%	1,1%	1,3%	2,6%	4,1%	6,2%	3,9%	1,3%	0,2%	0,0%	37,5%

Tableau 28 : Méthodologie pour désinfluencer les débits de la station de Pouilly-sous-Charlieu (K1063010) – chronique 2005-2023

6.2.2 Ressource désinfluencée théorique actuelle

6.2.2.1 Ressource naturelle théorique moyenne

Le modèle a été appliqué pour chaque sous-bassin versant amont des points de calcul considérés. On parle alors de **tronçon** dont le nom est associé au point de calcul aval.

Le modèle permet de calculer pour chaque tronçon un débit moyen journalier à partir des données SAFRAN sur la période de référence allant du 01/01/1991 au 31/12/2020. La somme des débits de chaque tronçon permet d'avoir alors le débit estimé en tout point de calcul du territoire d'étude : par exemple le débit du Sornin à la confluence avec la Loire (point de calcul « SOR-12 ») est la somme des débits de tous les tronçons du bassin versant.

Le traitement de ces chroniques journalières permet par la suite d'obtenir des statistiques de débit à l'échelle mensuelle, afin de définir **une ressource naturelle théorique moyenne**.

La Figure 45 illustre le débit moyen interannuel (= module) issu de la modélisation EODD au niveau des 45 points de calcul, exprimé en débit spécifique. On constate un gradient important sur le territoire d'étude avec :

- Des valeurs élevées sur les têtes de bassins versants du Haut-Beaujolais (> 16 l/s/km²),
- Des valeurs comprises entre 13 et 15 l/s/km² sur une grande partie du bassin versant du Sornin,
- Des valeurs faibles sur les affluents rive gauche de l'aval du Sornin et le Jarnossin (< 10 l/s/km²).

La modélisation permet ainsi de rendre compte des spécificités locales.

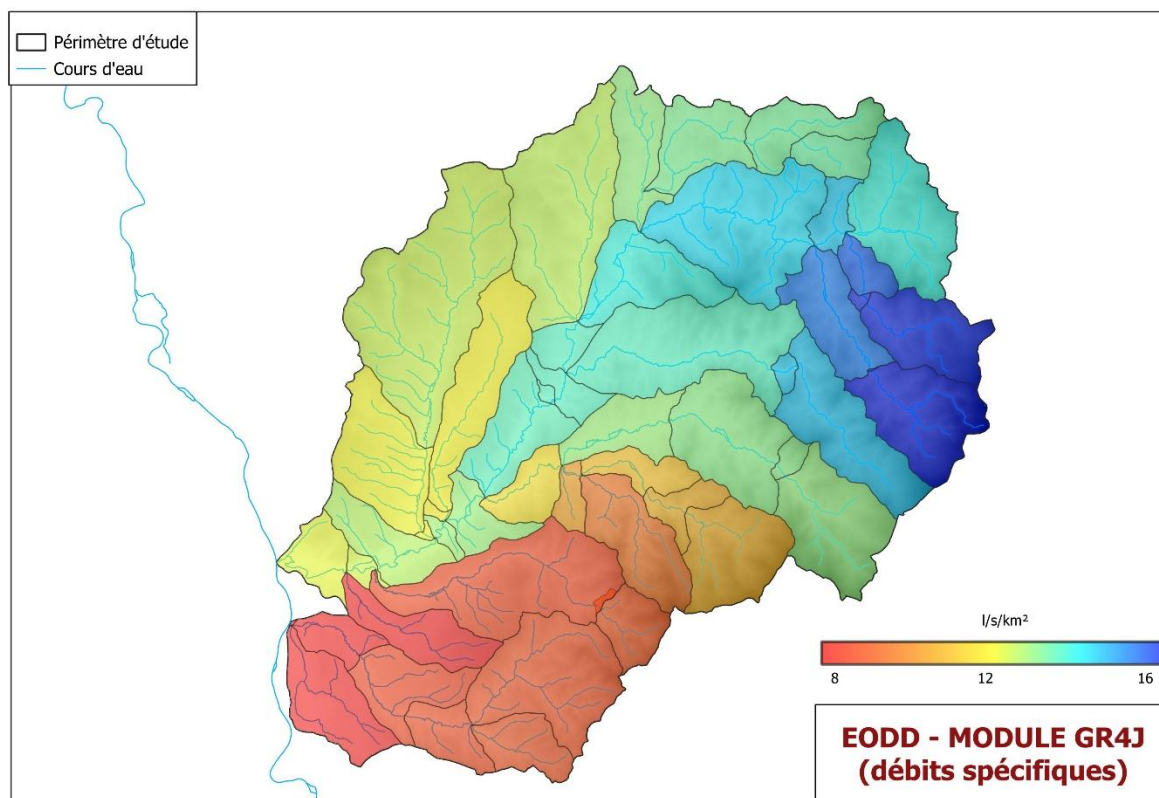


Figure 45 : Débit moyen interannuel (= module) exprimé en débit spécifique sur l'ensemble des points de calcul du territoire d'étude (période 1991-2020)

6.2.2.2 Ressource naturelle théorique en année sèche

Le traitement des chroniques journalières peut également fournir des statistiques plus fines sur les périodes de basses eaux (QMNS, VCN, ...)

La Figure 46 illustre le débit moyen mensuel de fréquence quinquennale (= QMNA5) issu de la modélisation EODD au niveau des 45 points de calcul, exprimé en débit spécifique.

A nouveau un gradient est constaté entre l'amont et l'aval du bassin versant, et l'on note l'apparition de valeurs anormalement faibles sur les cours d'eau descendant du Charollais (Bezo, Equetteries) pouvant mettre en évidence un caractère « séchant ».

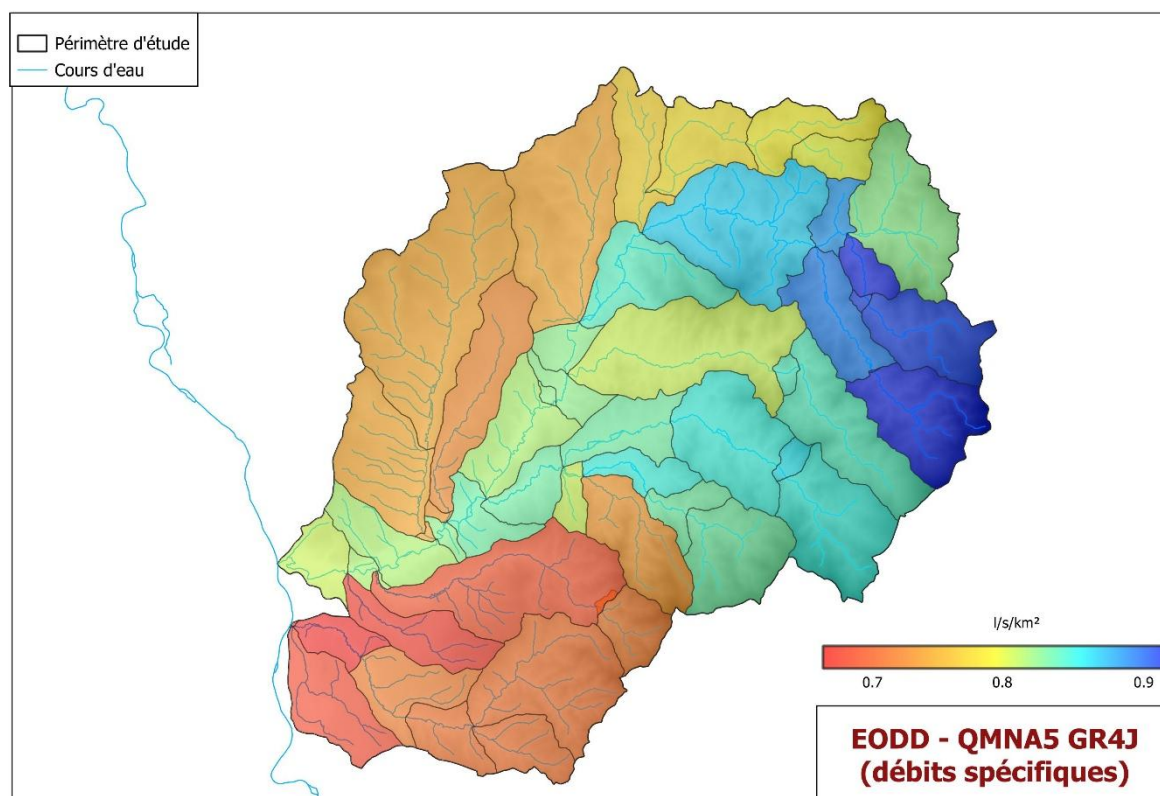


Figure 46 : Débit moyen mensuel de fréquence quinquennale (= QMNA5) exprimé en débit spécifique sur l'ensemble des points de calcul du territoire d'étude (période 1991-2020)

6.2.2.3 Mise en perspective de la modélisation

- Base de données utilisées en comparaison

Afin de valider la robustesse de nos simulations, les résultats disponibles dans différentes bases de données ont été comparés à nos débits simulés.

Les **données HydroPortail** : débits mesurés et désinfluencés de la station du Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010).

Les **débits mensuels « LoiEau »** : La base de données « LoiEau » est une interface web développée par l'INRAE. Elle propose à tout utilisateur créant son compte (gratuitement) les résultats de la méthodologie éponyme à l'exutoire de plus de 130 000 bassins versants non instrumentés du territoire national.

La méthodologie « LoiEau » se base sur un modèle pluie-débit à deux paramètres de calage appelés « GRLoieau2J ».

Les résultats sont calculés sur la période 1970-2015 (avec un intervalle de confiance), et présentés sous forme de fiche de synthèse indiquant :

- Les débits moyens mensuels et annuel (= module),
- Des débits caractéristiques de l'étiage (QMNA2, QMNA5, VCN10-5, VCN3-5, ...)

Les chroniques journalières reconstituées du portail « CARMEN » (INRAE) :

Depuis 2018, l'IRSTEA propose pour de nombreux cours d'eau métropolitain une reconstitution des chroniques hydrologiques journalières ponctuelles, simulée pour la période 1959-2016.

Ces simulations s'appuient sur l'utilisation d'un modèle « pluie-débit ». Ce modèle de type GR4J permet à partir de données météorologiques complexes, provenant des données METEOFRACTE SAFRAN (données quotidiennes intégrant notamment des calculs de pluie efficace et du niveau de saturation des sols fournies sur un maillage couvrant l'ensemble du territoire français), d'évaluer la réponse hydrologique des cours d'eau.

Les constantes de calage, au nombre de quatre, sont déterminées au niveau de chaque point de calcul à partir de celles obtenues pour des points voisins pour lesquels il existe un suivi hydrologique journalier (données issues d'HydroPortail).

La reconstitution des chroniques journalières en un point s'appuie généralement sur l'utilisation de trois à cinq stations hydrologiques de référence situées à proximité dans des contextes morphologiques, géologiques, hydroclimatiques si possible similaires.

Pour les 11337 stations non jaugées mais simulées, il est possible sur un portail dédié mis à disposition par l'OFB de télécharger les chroniques sous format csv. Pour chacune des stations, trois séries journalières de débits sont produites sur la période allant du 01/08/1959 au 31/07/2016 :

- la série journalière des bornes basses de l'intervalle de confiance à 90%, correspondant au quantile 5% (Qsim_05),
- la série journalière de débits issus de la simulation déterministe (Qsim),
- la série journalière des bornes hautes de l'intervalle de confiance à 90%, correspondant au quantile 95% (Qsim_95).

De plus chaque fichier fournit les coordonnées de la station, de la surface du bassin contributeur et les codes d'HydroPortail des bassins donneurs ayant servi à calculer les paramètres du modèle.

4 points modélisés ont été retenus pour l'analyse comparative effectuée ci-après : 4420047, 4420271, 4710242, 4719023.

• Résultats

Au niveau de la station hydrométrique du Sornin (point de calcul « SOR-11 »), toutes les bases de données peuvent être comparées sur une période commune 2005-2015.

Les débits mensuels moyens exprimés en débits spécifiques (l/s/km²) sont présentés en Figure 47 ci-après.

Il apparaît que **la modélisation EODD (en courbe noir avec symboles violets) est proche des données mesurées désinfluencées** (histogramme « HydroPortail ») : un léger déficit est constaté sur le printemps, alors qu'une surestimation est visible sur les mois d'automne. En période de basses eaux (juin à septembre) l'écart est très faible.

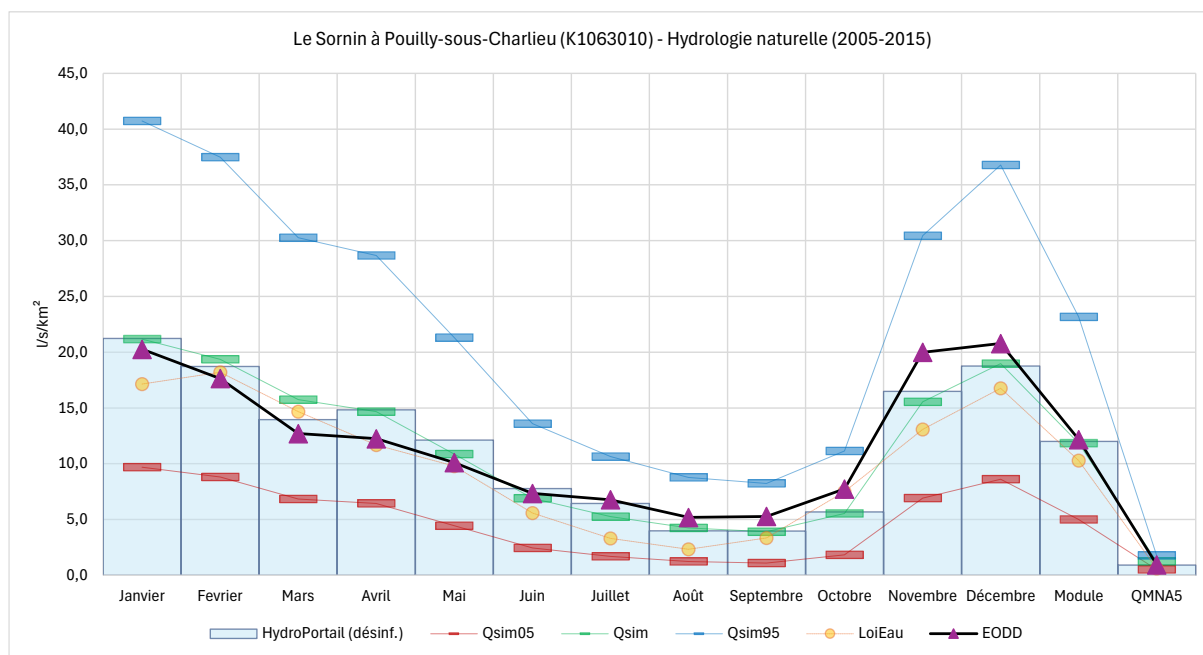


Figure 47 : Comparaison des débits modélisés au niveau de la station du Sornin à Pouilly-sous-Charlieu sur la période 2005-2015 (K1063010)

Vis-à-vis des chroniques reconstituées « CARMEN », la modélisation EODD se situe toujours au sein du fuseau d’incertitude délimité par les séries « Qsim05 » et « Qsim95 », elle est même souvent proche de la valeur moyenne « Qsim ».

Sur les autres points de calculs, il n’existe pas de données mesurées pour appuyer notre modélisation. Toutefois la comparaison est possible avec les diverses bases de données théoriques (« CARMEN » et « LoiEau ») sur la période commune 1970-2015.

Les graphiques en Figure 48 illustrent la comparaison effectuée au niveau de 3 points de calcul situés sur le Mussy (MUS-1), le Bezo (BEZ-1) et l’Aillant (AIL-1).

Là encore la modélisation EODD se situe bien au sein du fuseau d’incertitude délimité par « Qsim05 » et « Qsim95 » ce qui confirme sa robustesse.

On constate par ailleurs que le calage est meilleur sur les cours d’eau d’altitude au débit spécifique élevé (comme le MUS-1) que sur les cours d’eau de plaine (assimilables à BEZ-1 et AIL-1) où une surestimation des débits est visible durant la majeure partie de l’année.

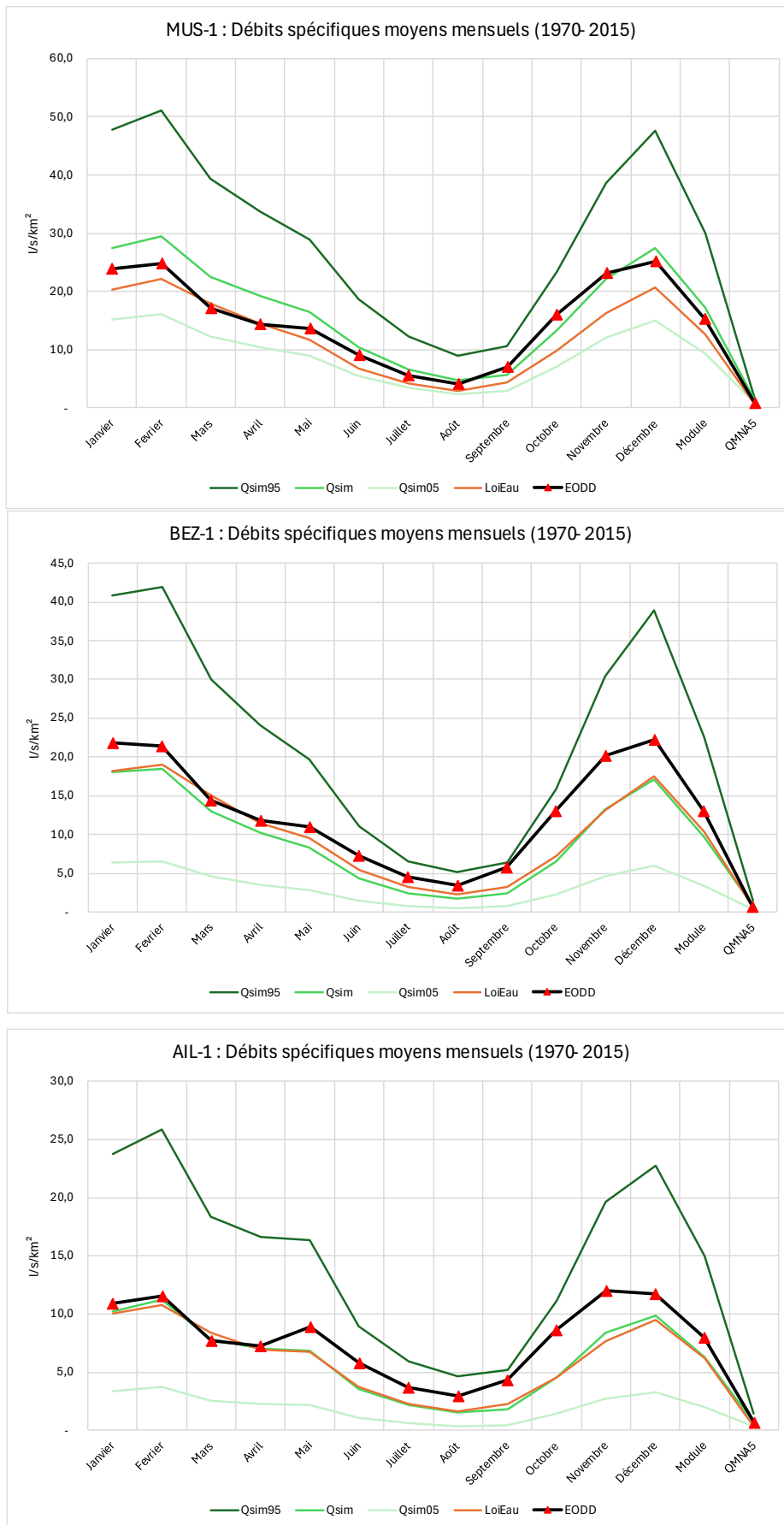


Figure 48 : Comparaison entre la modélisation EODD et les bases de données existantes au niveau de points de calcul sur la période 1970-2015 (de haut en bas : MUS-1, BEZ-1, AIL-1)

6.2.2.4 Débits désinfluencés retenus en situation actuelle

La modélisation EODD utilisant GR4J permet de simuler en tout point du bassins versants des débits naturels théoriques à l'échelle journalière, en situation actuelle et future. Le Tableau 29 ci-dessous présente quelques valeurs indicatives des débits désinfluencés théoriques moyens retenus pour la situation actuelle (période 1991-2020).

Débits simulés "EODD" (l/s) - période 1991-2020					
Code	Masse d'eau	Référence actuelle		Sévérité des étiages	
		Module	QMNA5	QMNA5/Module	Indicateur
FRGR1085	Sornin amont	3 561	172	4,8%	FORT
FRGR1086	Sornin aval	6 255	334	5,3%	MODERE
FRGR1087	Botoret	1 148	68	5,9%	MODERE
FRGR1722	Jarnossin	514	41	8,0%	MODERE
FRGR1724	Aillant	78	6	8,3%	FAIBLE
FRGR1735	Chandonnet	283	22	7,8%	MODERE
FRGR1740	Equetteries	228	12	5,1%	MODERE
FRGR1777	Bezo	776	39	5,1%	MODERE
FRGR2262	Genette	489	24	4,9%	FORT

Tableau 29 : Débits caractéristiques en fermeture de masse d'eau (en l/s), issus de la simulation « EODD » (période considérée : 1991-2020)

Indicateur de sévérité des étiages : la présente étude s'intéresse à l'ensemble du cycle hydrologique des cours d'eau, avec toutefois une attention particulière à la période de « basses eaux hydrologiques », c'est-à-dire celle où les débits dans les cours d'eau sont les plus faibles. Tous les cours d'eau ne réagissent pas de la même façon aux épisodes de sécheresses climatiques ; un **indicateur de sévérité des étiages** est ainsi proposé pour illustrer cette réponse ; il s'appuie sur le ratio « QMNA5 / module ». Plus ce ratio est élevé, moins le cours d'eau est considéré comme « sensible » aux sécheresses climatiques. Trois classes sont considérées pour caractériser les masses d'eau (cf. Tableau 29) du territoire d'étude :

- Ratio > 8% : sensibilité FAIBLE,
- Ratio compris entre 5% et 8% : sensibilité MODEREE,
- Ratio est < 5% : sensibilité FORTE.

Les débits moyens, convertis en volumes, permettent d'évaluer les ressources en eau superficielles produites à l'échelle mensuelle et annuelle, au niveau de chaque bassin versant et globalement à l'échelle des bassins versant du Sornin et du Jarnossin. La synthèse à l'échelle des masses d'eau est reprise sur le graphe ci-dessous (Figure 49).

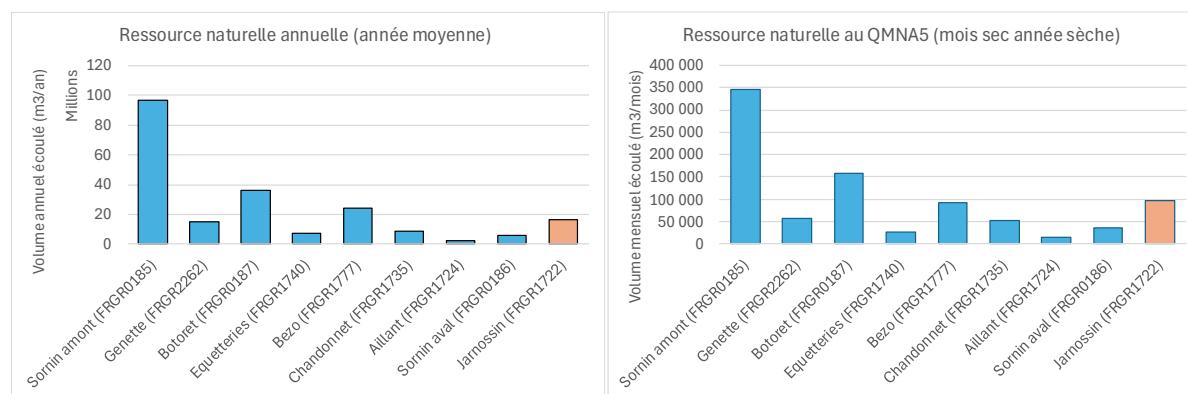


Figure 49 : Ressource naturelle sur le territoire d'étude (période 1991-2020)

6.2.3 Débits désinfluencés retenus en situation future

6.2.3.1 Méthode

Les tendances d'évolution de la ressource en eau ont été établies sur la base des projections climatiques retenues, pour rappel (cf. § 5.2) :

- Projection « médiane » (= narratif jaune),
- Projection « France » (= narratif violet).

Pour chacune de ces simulations, les chroniques journalières sont comparées entre la période dite « de référence » (1991-2020) et « l'horizon 2050 » (2041-2070).

Chaque projection fournit alors une tendance distincte d'évolution pour la ressource en eau, ce qui permet de créer un **fuseau de tendance**. Ce fuseau reflète l'éventail des projections possibles à « l'horizon 2050 », en englobant les différentes trajectoires fournies par les narratifs Explore2.

Ces tendances agrégées à l'échelle mensuelle par notre modélisation ont ensuite été **appliquées à la ressource actuelle afin d'estimer les débits mensuels naturels théoriques à l'horizon 2050 en tout point de calcul du territoire d'étude**.

Les résultats des 2 projections en chaque point de calcul sont présentées en annexe.

N.B. : il faut savoir que ces évolutions ne traduisent pas directement le débit simulé futur des cours d'eau, étant donné que le débit d'un tronçon « aval » est le cumul du débit de chaque tronçon « amont » :

$$Q_{futur_N} = Q_{actu_1} \times \%évolution_1 + Q_{actu_2} \times \%évolution_2 + \dots + Q_{actu_{N-1}} \times \%évolution_{N-1}$$

$N =$ nombre de tronçons

Par exemple l'évolution des débits mensuels futurs du Sornin à la confluence avec la Loire sera différente des tendances attribuées au tronçon « SOR-12 ».

6.2.3.2 Résultats sur le territoire d'étude

La modélisation EODD utilisant GR4J permet de simuler en tout point du bassins versants des débits naturels théoriques à l'échelle journalière en situation future.

En tenant compte des deux projections futures (« médiane » et « France »), le Tableau 30 ci-dessous présente quelques valeurs indicatives du fuseau des débits naturels théoriques moyens pour la situation future sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin (période 2041-2070).

Débits simulés "EODD" (l/s) - période 2041-2070							
Code	Masse d'eau	Référence actuelle		2050 "médian"			Sévérité des étiages
		Module	QMNA5	Module	QMNA5	QMNA5/Module	
FRGR1085	Sornin amont	3 561	172	3 913	143	3,7%	FORT
FRGR1086	Sornin aval	6 255	334	6 991	286	4,1%	FORT
FRGR1087	Botoret	1 148	68	1 278	59	4,7%	FORT
FRGR1722	Jarnossin	514	41	605	39	6,5%	MODERE
FRGR1724	Aillant	78	6	94	6	6,1%	MODERE
FRGR1735	Chandonnet	283	22	332	20	6,1%	MODERE
FRGR1740	Equetteries	228	12	260	10	3,9%	FORT
FRGR1777	Bezo	776	39	893	34	3,8%	FORT
FRGR2262	Genette	489	24	538	20	3,6%	FORT

Débits simulés "EODD" (l/s) - période 2041-2070							
Code	Masse d'eau	Référence actuelle		2050 "France"			Sévérité des étiages
		Module	QMNA5	Module	QMNA5	QMNA5/Module	
FRGR1085	Sornin amont	3 561	172	3 596	98	2,7%	FORT
FRGR1086	Sornin aval	6 255	334	6 263	194	3,1%	FORT
FRGR1087	Botoret	1 148	68	651	19	2,9%	FORT
FRGR1722	Jarnossin	514	41	501	26	5,3%	MODERE
FRGR1724	Aillant	78	6	76	4	5,3%	MODERE
FRGR1735	Chandonnet	283	22	284	13	4,7%	FORT
FRGR1740	Equetteries	228	12	228	7	3,1%	FORT
FRGR1777	Bezo	776	39	754	24	3,1%	FORT
FRGR2262	Genette	489	24	492	14	2,9%	FORT

Tableau 30 : Débits caractéristiques « 2050 » en fermeture de masse d'eau (en l/s), selon les projections futures « médiane » et « France » (période considérée : 2041-2070)

Rappel : Pour mieux cerner les évolutions les valeurs sont données au l/s près mais ces résultats s'accompagnent d'une marge d'incertitude et doivent être considérés comme des ordres de grandeur, ci-dessous un extrait du rapport sur les incertitudes du projet « Explore2 » (source : DRIAS Eau) :

Les changements projetés sur le climat ont évidemment des conséquences directes sur les changements hydrologiques projetés en France. Pour le débit annuel moyen, l'incertitude sur l'évolution des précipitations totales conduit à des tendances très incertaines sur la France (très légères hausses projetées dans le Nord et très légères baisses dans le Sud) principalement liées aux variabilités entre GCMs et RCMs (et au choix du scénario dans le sud de la France). Les tendances projetées pour le débit journalier maximal annuel (QJXA) sont similaires et très peu claires (légères tendances à la hausse), les variabilités entre modèles hydrologiques s'ajoutant à ceux des GCMs et RCMs dans l'est de la France. Sur les trois indicateurs hydrologiques présentés dans ce rapport (QA, QJXA et QMNA), les seules certitudes portent sur le QMNA pour lequel l'ensemble de projections indique une tendance nette à la baisse dans le sud de la France (changements projetés moyens de [-30%, -60%]) avec le scénario RCP8.5.

Figure 50 : Extrait du rapport sur les incertitudes du projet « Explore2 » (source : DRIAS Eau)

Afin d'illustrer les contrastes de tendances au sein du territoire d'étude, 4 points de calcul représentatifs des contextes variés (topographie, géologie, occupation du sol, ...) sont décrits plus précisément (Figure 51) :

- MUS-1 : bassin versant d'altitude en contexte pentu et boisé (= débits spécifiques élevés),
- BEZ-1 : bassin versant en plaine en contexte calcaire (= débits spécifiques moyens),
- AIL-1 : bassin versant de plaine en contexte peu pluvieux (= débits spécifiques faibles),
- SOR-11 : proche de la fermeture du bassin versant, situé au niveau de la station hydrométrique DREAL.

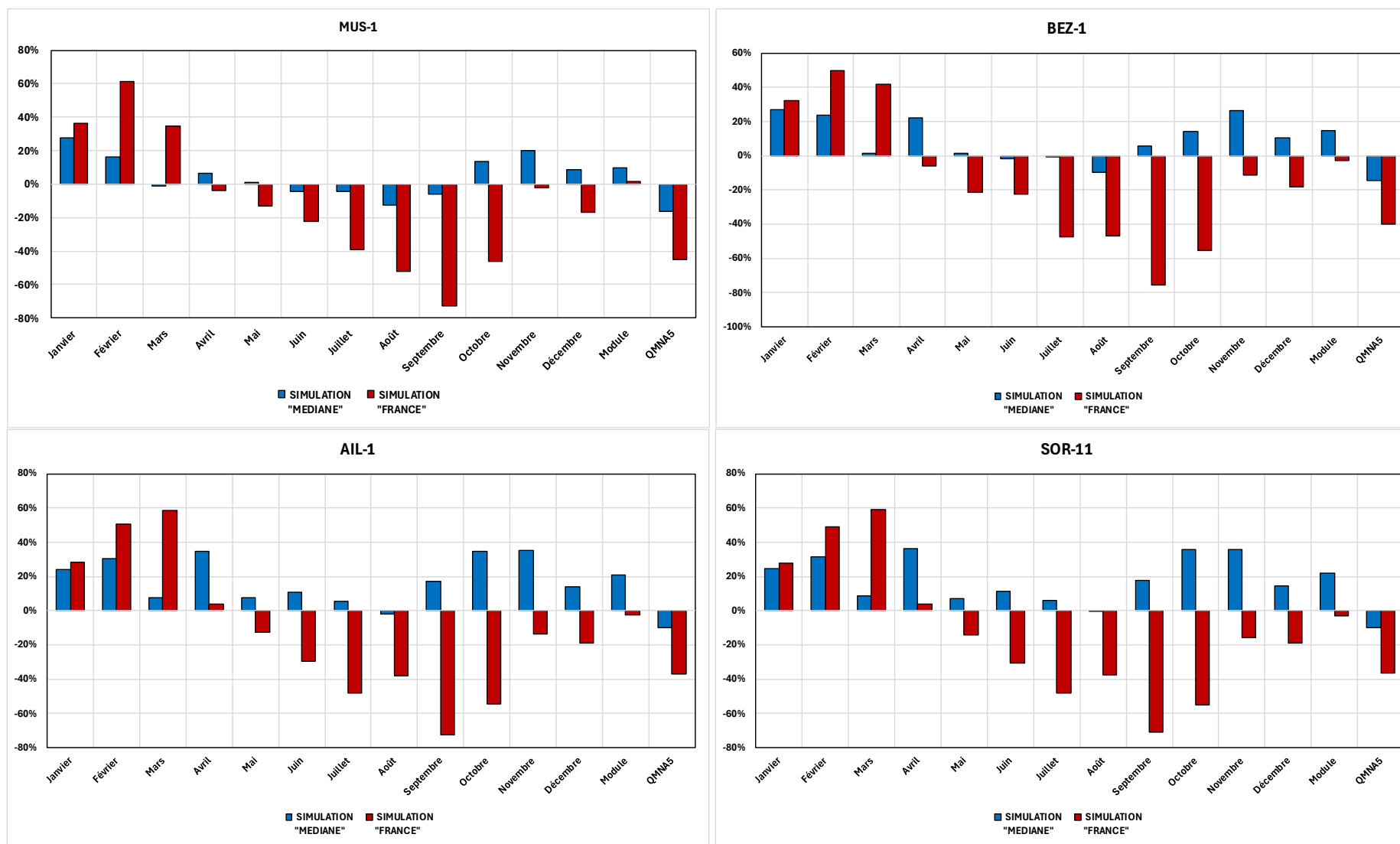


Figure 51 : Evolution de la ressource naturelle sur le territoire d'étude pour 4 points représentatifs, selon les 2 projections climatiques retenues, en année moyenne future théorique (période 2041-2070)

L'analyse effectuée sur ces 4 entités met principalement en évidence :

- Une hausse des débits en période hivernale :
 - Modérée et s'étalant d'octobre à avril pour la projection « médiane (+20% à +40%),
 - Forte et concentrée entre janvier et mars pour la projection « France » (+40% à +60%),
- Globalement une baisse des débits sur le reste de l'année, avec de fortes divergences en période de basses eaux :
 - Faible baisse, voir légère hausse pour la projection « médiane » (-10% à +20%),
 - Très forte baisse pour la projection « France » (-40% à -70% en septembre),
- Une évolution contrastée des modules :
 - Projection « médiane » : +15%,
 - Projection « France » : pas d'évolution,
- Une baisse forte à très forte des QMNA5 :
 - Projection « médiane » : -10%,
 - Projection « France » : -40%.

Concernant les débits mensuels futurs, les évolutions possibles sont illustrées ci-après (Figure 52 / Figure 53) au niveau des 4 points de calculs de référence servant à la trame du rapport : **MUS-1, BEZ-1, AIL-1 et SOR-11**.

Sur les graphiques mensuels après (Figure 52), nous pouvons constater que :

- Les 2 projections sont globalement convergentes sur la période courant du printemps au milieu de l'été (avril – août), puis de fortes divergences apparaissent sur l'automne et se poursuivent en hiver,
- La projection « France » (en rouge) est la plus contrastée, avec une forte augmentation des débits en hiver (à partir de janvier) et un assèchement important en été mais aussi en automne,
- Sur l'hypothèse « pessimiste », on observe également un décalage du mois le plus sec d'août vers septembre, avec souvent un mois d'octobre « au niveau » d'un mois de septembre actuel.

L'évolution des modules et des QMNA5 a également été représentée de manière graphique après (Figure 53), avec une mise en perspective de l'année 2022 pour le point « SOR-11 » situé au niveau de la station hydrométrique (= année considérée comme anormalement sèche par rapport à notre référence actuelle).

N.B. : Pour effectuer une comparaison avec le QMNA5, le mois le plus sec constaté durant l'année 2022 a été retenu (à savoir août).

Sur les graphiques représentant les modules et les QMNA5, la mise en perspective de l'année 2022 illustre que le mois le plus sec (septembre) de se rapproche du niveau du QMNA5 « pessimiste » : **ce constat tend à un indiquer qu'une année anormalement sèche de nos jours (= revenant à minima tous les 5 ans) sera la norme d'ici 2050.**

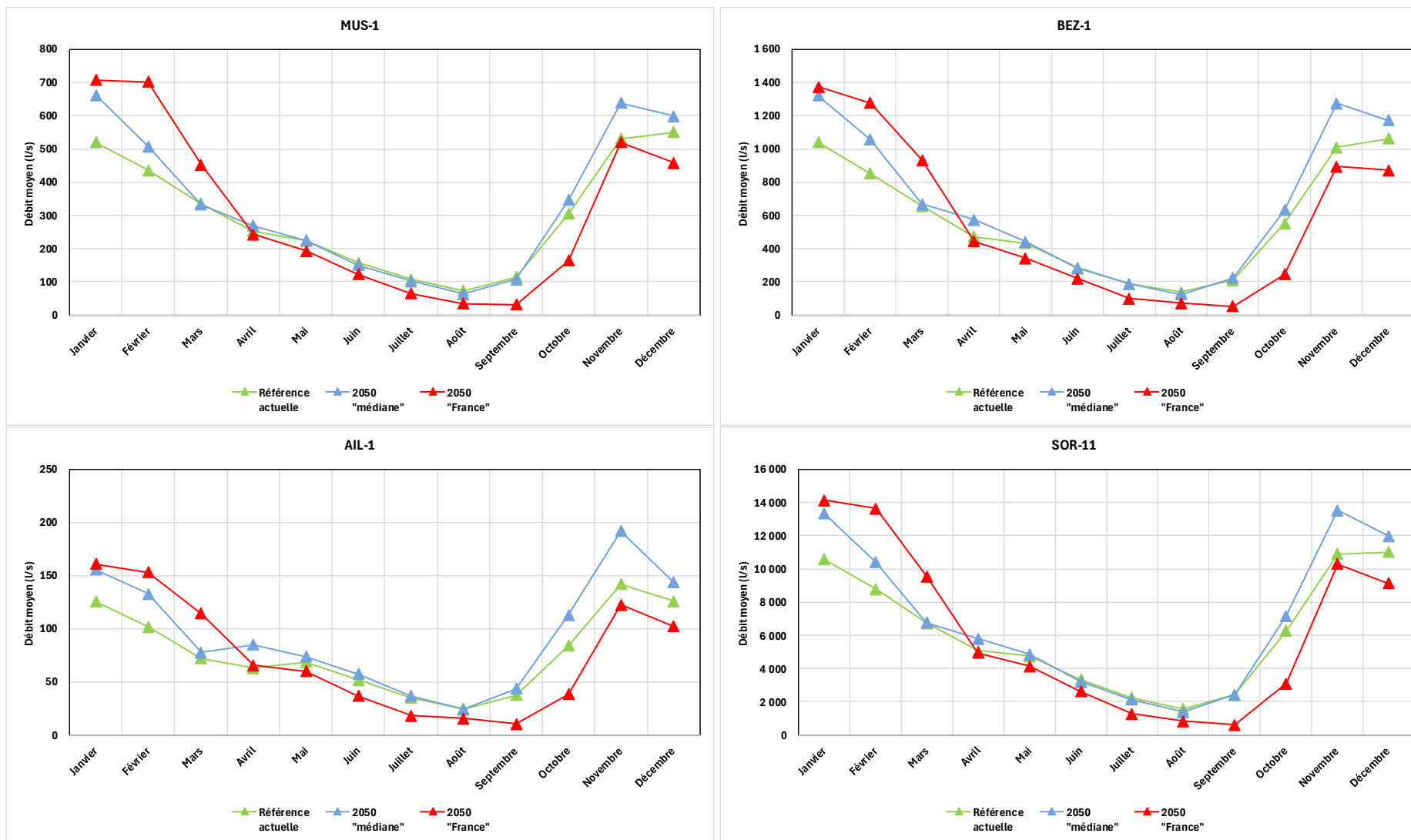


Figure 52 : Evolution de la ressource naturelle sur le territoire d'étude, selon les projections retenues (1)

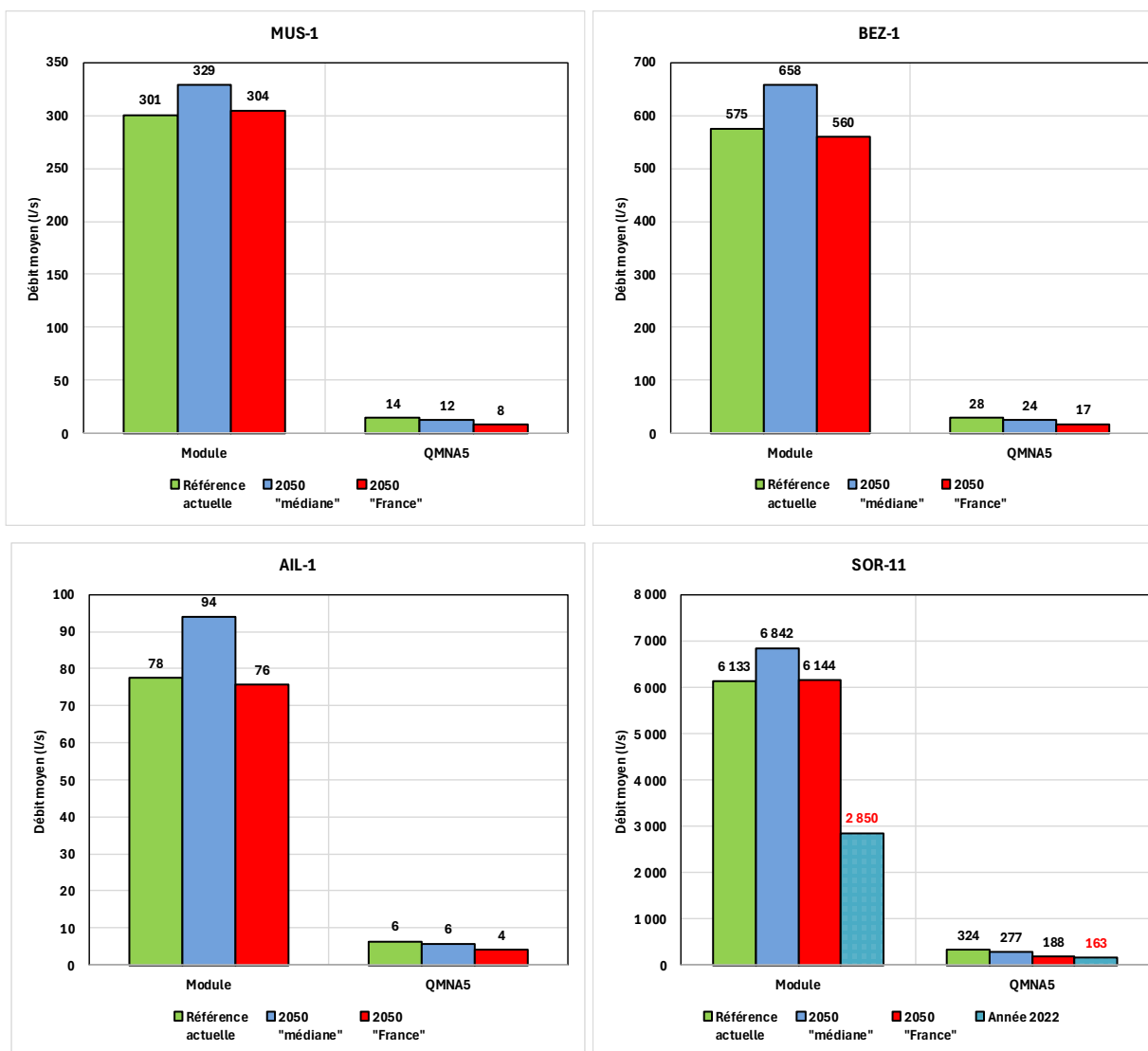


Figure 53 : Evolution de la ressource naturelle sur le territoire d'étude, selon les projections retenues (2)

6.2.3.3 Zoom sur la période de basses eaux

L'échelle d'analyse retenue dans le cadre de cette étude est le pas de temps mensuel.

Toutefois, le portail DRIAS met à disposition des fiches diagnostic qui informent sur des statistiques basées sur une échelle journalière. Ces fiches illustrent les tendances associées à chaque narratif Explore2, par rapport à leur référence en vigueur 1976-2005.

Par exemple, des graphiques illustrant l'évolution de la **période de basses eaux**⁷ sont disponibles : l'exemple ci-dessous concerne le Sornin à Charlieu à l'horizon 2050 (Figure 54).

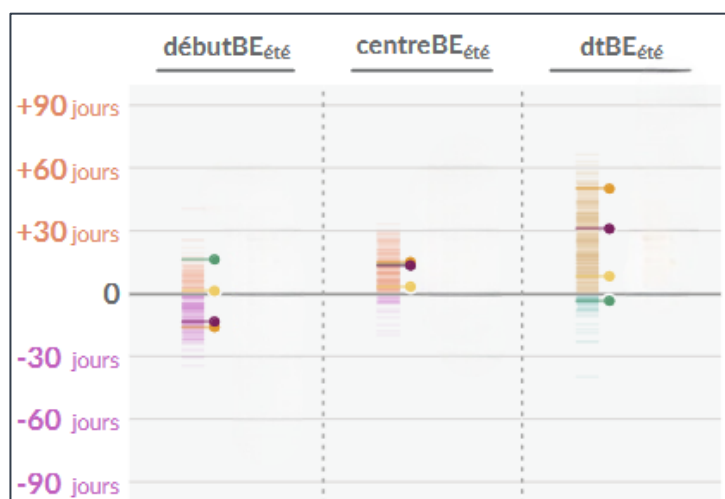


Figure 54 : Evolution de la période de basses eaux selon les 4 narratifs Explore2 (= code couleur)

Période 2041-2070 (source : DRIAS)
 (débutBE_{été} = date du début des basses eaux
 centreBE_{été} = date du centre des basses eaux
 dtBE_{été} = date de fin des basses eaux)

Les 4 narratifs convergent assez unanimement vers :

- Une avancée dans l'année du début des basses eaux,
- Un décalage du « pic » plus tard dans l'année,
- Un allongement de la fin des basses eaux plus tard dans l'année.

Sans retenir de valeur chiffrée⁸, **cette illustration traduit un phénomène d'allongement de la période de basses eaux en 2050 par rapport à la situation actuelle.**

Le décalage du « pic » est à relier aux résultats de la projection « France », qui montraient un décalage vers septembre du mois le plus sec de l'année.

Concernant l'étiage en lui-même (= pic des basses eaux), des graphiques informant sur l'évolution à l'horizon 2050 du **VCN10-5**⁹ sont également disponibles : exemple du Sornin à Charlieu en Figure 55.

⁷ DRIAS retient la même définition qu'EODD, à savoir « les mois où le débit moyen est inférieur au module »

⁸ Etant donné que la période de référence DRIAS (1976-2005) diffère de celle prise en considération dans l'étude (1991-2020)

⁹ VCN10-5 : débit moyen minimal enregistré sur 10 jours consécutifs, de fréquence de retour 5 ans

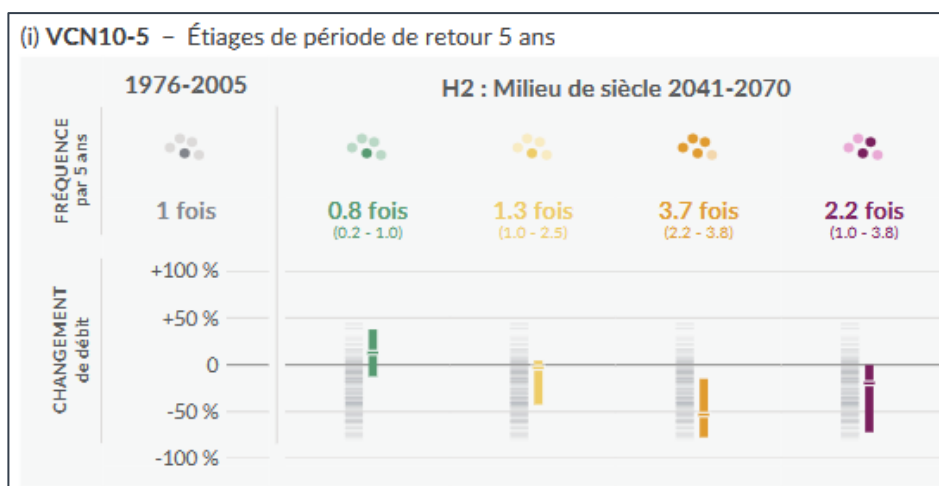


Figure 55 : Evolution du VCN10-5 selon les 4 narratifs Explore2 (= code couleur) – période 2041-2070 (source : DRIAS)

A titre indicatif, 3 des 4 narratifs (dont ceux retenus par EODD en tant que projection future) sont en accord sur une **augmentation en fréquence des étiages « sévères »** : ce qui produisait une fois tous les 5 ans en moyenne sur 1976-2005, devrait se produire jusqu'à 4 années sur 5 d'ici 2050 (cas du narratif orange et du narratif violet = projection « France »).

6.2.4 Synthèse

Le Tableau 31 récapitule les principales valeurs à retenir concernant l'hydrologie actuelle désinfluencée et les tendances d'évolutions basées sur les 2 projections climatiques retenues :

Tendance d'évolution à « l'horizon 2050 »	Référence actuelle (1991-2020)	Projection « Médiane » (2041-2070)	Projection « France » (2041-2070)
Ressources actuelles et Débits naturels des cours d'eau	Ressource naturelle annuelle sur les bassins versants (Estimation EODD)	Hausse des débits en hiver et stabilité en été (+20% à +40%) Module : +15% QMNA5 : -10%	Hausse des débits en hiver (+40% à +60%) et très forte baisse en été (-40% à -70%) Module : pas d'évolution QMNA5 : -40%
	Sornin : 197 Mm ³ /an Jarnossin : 16 Mm ³ /an	Allongement de la période de basses eaux Décalage de l'étiage plus tard dans l'année Augmentation en fréquence des étiages « sévères »	

Tableau 31 : Synthèse de l'hydrologie désinfluencée sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin (prise en compte du scénario GES RCP 8.5)

L'ensemble des valeurs détaillée par point de calcul de la ressource naturelle en situation actuelle est disponible en annexe.

7. Volet milieux

7.1 Les cours d'eau

7.1.1 Hydromorphologie des cours d'eau

Source : CESAME 2020 - « Etude pour le rétablissement de la continuité écologique sur 14 ouvrages du bassin versant du Sornin », CESAME 2016 – « Étude bilan, évaluation et perspectives ; Phase 3 : Diagnostic et réactualisation des enjeux du territoire »

Le bassin versant du Sornin peut être divisé en 4 contextes hydromorphologiques :

- **Plateaux d'altitudes et têtes de bassin versant** : zones de vallées plus ouvertes aux pentes modérées (amont Genette, Bézo et Équetteries, Sornin de Propières et Sornin de Saint-Igny) avec des zones humides au sein de prairies. Les zones sourceuses sont pentues et encaissées dans des versants boisés sur les zones amont du Haut-Beaujolais.
- **Affluents rive gauche** : ces cours d'eau dévalent des vallées granitiques avec une pente généralement importante. Le profil en travers est naturellement contraint par l'encaissement tandis que dans les vallons prairiaux, l'épaisseur des sols plus importante favorise le développement de petits méandres selon l'emprise de la végétation sur les berges (Sornin à l'amont de St-Maurice-les-Châteauneuf, Genette aval, Mussy et Botoret).
- **Affluents rive droite** : les petites rivières du Brionnais s'écoulent le long de vallons généralement ouverts sur des colluvions argileux ou sablo-argileux érodables avec des pentes modérées à faibles (Bézo, Équetteries, Barres) ;
- **Sornin en aval du Botoret** : sur sa partie aval, la faible emprise de la végétation et le substrat relativement tendre dans les alluvions récentes permettent aux cours d'eau de développer de larges méandres au sein d'un lit relativement large et peu encaissé. Sur le Sornin, malgré une pente plus faible à l'aval de Charlieu (environ 0,2 %), la puissance spécifique du cours d'eau (environ 100 W/m²) lui permet de bonnes capacités d'ajustement jusqu'à la confluence avec la Loire.

Les investigations réalisées dans le cadre des études disponibles ne mettent pas en évidence des dysfonctionnements géomorphologiques majeurs sur de grands linéaires. Des problèmes locaux sur de petits tronçons sont cependant observés ce qui impacte les usages et la qualité écologique du cours d'eau.

En ce qui concerne les **boisements de berge**, ils sont **relativement impactés sur l'ensemble du territoire** par un historique et des pratiques d'entretien soutenues. Ils sont souvent vieillissants et présentent des densités faibles. **Le taux de linéaire dépourvu, ou quasiment dépourvu de ripisylve est situé entre 40 et 50 % sur le bassin versant.**

Des résineux sont aussi présents en bordure de cours d'eau sur les têtes de bassin versant.

Pour le Jarnossin, l'étude menée par CESAME en 2016 indique que près de 41 % des linéaires sont complètement ou quasiment dépourvus de ripisylve. L'absence des boisements joue un rôle direct dans la présence ou non d'habitats et leur diversité. L'absence de la ripisylve réduit aussi la possibilité d'ombrage et induit donc un risque de réchauffement des eaux.

Le secteur du Jarnossin médian (depuis l'aval de Nandax jusqu'au Haut de Rajasse) est soumis à une érosion de berge importante. Cette érosion est principalement issue d'un rééquilibrage du profil faisant suite à un encaissement du lit. Cet encaissement peut être associé à deux facteurs :

- Les usages passés
- La capacité naturelle du Jarnossin à présenter un profil légèrement encaissé de par la nature parfois cohésive des substrats en berge.

A cela peut s'ajouter l'analyse réalisée par les fédérations de pêches dans le cadre des PDPG :

- **Bassin versant Sornin** : Le principal facteur de dégradation est l'élevage avec le piétinement, la dégradation de la ripisylve, l'érosion et l'ensablement sur le tronçon aval du Sornin. Le Mussy, présente-lui aussi un ensablement dû à l'enrésinement des berges. Enfin, un impact important est relevé sur l'Aron avec la présence du plan d'eau de Cadollon modifiant l'hydromorphologie du cours d'eau.
- **Bassin versant Jarnossin** : la morphologie est globalement altérée avec de nombreux secteurs dépourvus d'une ripisylve fonctionnelle, des rives soumises à l'érosions et un lit soumis à l'incision.

7.1.2 Continuité écologique

La liste exhaustive des obstacles sur le bassin versant du Sornin a été transmise par le maître d'ouvrage. En excluant ceux considérés comme « disparu » ou « effacé » dans la base de données, **416 obstacles à l'écoulement sont recensés**.

La plupart sont des seuils ou des buses en travers du cours d'eau (Figure 56). Il existe quelques prises d'eau (17 au total) avec parfois un tronçon court-circuité (TCC) associé.

6 plans d'eau sont également renseignés dans la base de données.

Typologie des ouvrages		TCC sur le bassin versant	
Catégorie	Nombre	Longueur (m)	Nombre
SEUIL	116	< 100	5
BUSE	104	100 à 250	9
PONT	50	250 à 500	11
BLOCS	45	> 500	9
PRISE D'EAU	17	TOTAL	34
CHUTE	14		
EMBACLE	10		
PASSERELLE	9		
RADIER	9		
GUE	8		
ETANG	6		
RACINES	6		
AUTRES	22		
TOTAL	416		

Figure 56 : Typologie des ouvrages présents sur le bassin versant du Sornin (source : SYMISOA)

Près de la moitié de ces ouvrages sont infranchissables pour la population piscicole des cours d'eau (Figure 57).

Franchissabilité des ouvrages	
Catégorie	Nombre
Franchissable	122
Incertain	96
Infranchissable	198
TOTAL	416

Figure 57 : Franchissabilité des ouvrages présents sur le bassin versant du Sornin (source SYMISOA)

Sur le bassin versant du Jarnossin le référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE) recense 31 ouvrages existants, dont 4 détruits partiellement.

7.1.3 Qualité de l'eau

La présente étude n'a pas vocation à dresser un état des lieux précis de la qualité des eaux des bassins versants. Néanmoins la qualité d'un cours d'eau peut être liée directement aux conditions de débits (facteur de dilution des pressions polluantes), d'où l'intérêt de s'intéresser à ce critère dans le cadre d'une étude visant à définir une stratégie de gestion des ressources en eau.

7.1.3.1 Principales pressions sur la qualité de l'eau

Le territoire d'étude compte de nombreux dispositifs d'assainissement collectif dont les rejets s'effectuent dans les cours d'eau.

L'activité agricole est susceptible d'engendrer une augmentation des concentrations en nutriments et en produits phytosanitaires dans les cours d'eau, en fonction des surfaces en cultures traitées et des pratiques d'épandage (pression théoriquement assez faible sur ce territoire compte tenu de la prédominance de l'élevage bovins et des prairies).

Sur les secteurs de forêts et de prairies la pression sur la qualité de l'eau est globalement plus faible.

7.1.3.2 Etat des lieux du SDAGE

Pour chacune des 9 masses d'eau superficielles situées dans le périmètre d'étude, le SDAGE fixe des objectifs d'atteinte du bon état écologique et chimique :

- **Etat écologique** : résulte de l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés à cette masse d'eau,
- **Etat chimique** : déterminé au regard du respect de normes de qualité environnementales (NQE) via des valeurs seuils de la présence (ou non) et de la teneur d'un certain nombre de substances (ex : présence de métaux type arsenic / cuivre / nitrate avec des taux > 50mg/L).

En situation actuelle (Tableau 32) :

- Concernant l'état écologique, seul le Botoret est considéré comme en « bon état », le reste des masses d'eau étant catégorisé en état « moyen », voir « mauvais » pour le Jarnossin. A échéance 2027, le SDAGE considère qu'il y a un risque de non-atteinte du bon état pour toutes les masses d'eau (ou de dégradation dans le cas du Botoret).
- Concernant l'état chimique, seules 3 masses d'eau sont en « Bon » état chimique. Cet état n'est pas caractérisé pour les autres masses d'eau. A échéance 2027, le SDAGE considère que seul le Sornin aval a un risque de non-atteinte du bon état chimique.

Code de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Surface de la masse d'eau (ha)	Etat des lieux (période de référence 2014 à 2019)		Risque de non atteinte ou de respect de l'objectif de bon état, période SDAGE 2022-2027	
			Etat écologique	Etat chimique	Risque écologique	Risque chimique
FRGR0185	Le Sornin depuis la source jusqu'à la confluence avec le Botoret	22 451	Moyen	Bon	Risque	Respect
FRGR0186	Le Sornin de la confluence avec le Botoret jusqu'à la confluence avec la Loire	2 526	Médiocre	Bon	Risque	Risque
FRGR0187	Le Botoret	10 184	Bon	Indisponible	Risque	Respect
FRGR1722	Le Jarnossin	6 758	Mauvais	Bon	Risque	Respect
FRGR1724	L'Aillant	1 138	Moyen	Indisponible	Risque	Respect
FRGR1735	Le Chandonnet	3 683	Moyen	Indisponible	Risque	Respect
FRGR1740	Les Equetteries	1 905	Moyen	Indisponible	Risque	Respect
FRGR1777	Le Bezo	6 289	Moyen	Indisponible	Risque	Respect
FRGR2262	La Genette	3 661	Moyen	Indisponible	Risque	Respect

Tableau 32 : Etat des lieux des masses d'eau superficielles et Risque de non atteinte du Bon Etat (source : SDAGE Loire Bretagne 2022-2027)

Des cartes sont disponibles en annexe pour illustrer ces informations.

Les paramètres déclassants et les facteurs de risques pour chacune des masses d'eau sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Code masse d'eau	Nom masse d'eau	Paramètre(s) déclassant(s)		Facteur de risque	
		État écologique	État chimique	Risque écologique	Risque chimique
FRGR0185	Sornin depuis la source jusqu'à la confluence Botoret	Diatomées (IBD) et poissons (IPR)		Morphologie Obstacles à l'écoulement Hydrologie	
FRGR0186	Sornin depuis confluence Botoret jusqu'à la Loire	Diatomées (IBD)		Macro-polluants ponctuels Micropolluants Morphologie	Paramètres non connus
FRGR0187	Le Botoret		Ind.	Macro-polluants ponctuels Morphologie Obstacles à l'écoulement	
FRGR1722	Le Jarnossin	Diatomées (IBD)		Macro-polluants ponctuels Morphologie Hydrologie	
FRGR1724	L'Aillant	N.C	Ind.	Macro-polluants ponctuels Morphologie Obstacle à l'écoulement Hydrologie	
FRGR1735	Le Chandonnet	N.C	Ind.	Macro-polluants ponctuels Obstacles à l'écoulement Hydrologie	
FRGR1740	Les Équetteries	N.C	Ind.	Obstacles à l'écoulement	
FRGR1777	Le Bézo	Poissons (IPR)	Ind.	Macro-polluants ponctuels Obstacles à l'écoulement	
FRGR2262	Le Genette	Diatomées (IBD)	Ind.	Morphologie Obstacles à l'écoulement Hydrologie	

Tableau 33 : Paramètres déclassants et facteurs de risque identifiés dans le SDAGE

Concernant l'état écologique, deux paramètres sont souvent identifiés comme déclassants à savoir l'indice biologique diatomées (IBD) et l'indice poisson rivière (IPR).

Le facteur de risque le plus récurrent sur le bassin versant sont les obstacles à l'écoulement, limitant la circulation des espèces aquatiques et le transport solide. Toutefois, il ne s'agit pas du seul paramètre : la morphologie semble aussi assez impactée. A cela s'ajoute la présence ponctuelle de macro et de micropolluants.

Enfin, l'aspect quantitatif lié à l'hydrologie fait aussi partie des facteurs de risques identifiés sur certaines masses d'eau : Sornin amont, Jarnossin, l'Aillant, le Chandonnet ainsi que la Genette.

7.1.3.3 Résultats des suivis de la qualité des eaux

7.1.3.3.1 Qualité physicochimique

Une analyse approfondie peut être proposée notamment concernant l'oxygène et les nutriments grâce au rapport bilan de bassin produit par le SYMISOA pour l'année 2022. Un historique de 2002 à 2022 est aussi proposé.

- **Oxygène :**

Le bilan 2022 est présenté de manière annuelle est mensuelle dans les figures ci-après.

Sornin :



Figure 58 : Bilan oxygène 2022 – Sornin (Source : Bilan 2022, Fédération de Pêche 42)

Le paramètre oxygène présente un état globalement bon sur l'année pour les stations suivies sur le bassin versant. Quelques stations subissent un déclassement en état moyen à la suite d'un mois classé comme tel. Ce déclassement survient en particulier sur la période estivale (entre juin et août) où les débits sont plus faibles.

Le bilan entre 2002 et 2022 (Tableau 34) fait ressortir 2 stations ayant été classées au moins une année en état médiocre : les Équetteries à Charlieu (2010 et 2012) et le Sornin en amont de la RD487 (2003). Pour l'ensemble des autres années et des autres stations, le bilan oxygène est moyen à très bon.

Sornin	Bilan de l'oxygène																					
Stations	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Botoret (29) Pont de Montvener, aval du pt	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
EQUETTERIES (204) À CHARLIEU	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sornin (30) 150 m en amont RD487 et Chandonnet	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bézo (102) Amont confluence Sornin, aval RD 487	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
CHANDONNET (119) À POUILLY-SOUS-CHARLIEU	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
AILLANT (203) À POUILLY-SOUS-CHARLIEU	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ARON (283) A COUBLANC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PONTBRENON (284) A COUBLANC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
BOTORET (285) A TANCON	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
CHANDONNET (286) A CHANDON	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tableau 34 : Évolution de la qualité du paramètre « oxygène » depuis 2002 sur le Sornin (Source : Bilan 2022, Fédération de Pêche 42)

Jarnossin :

Sur les cinq stations du Jarnossin, 4 présentent un bilan de l’oxygène considéré comme bon. Seule la station au niveau de Nandax est classée comme médiocre en fin de la période estivale (août-septembre).

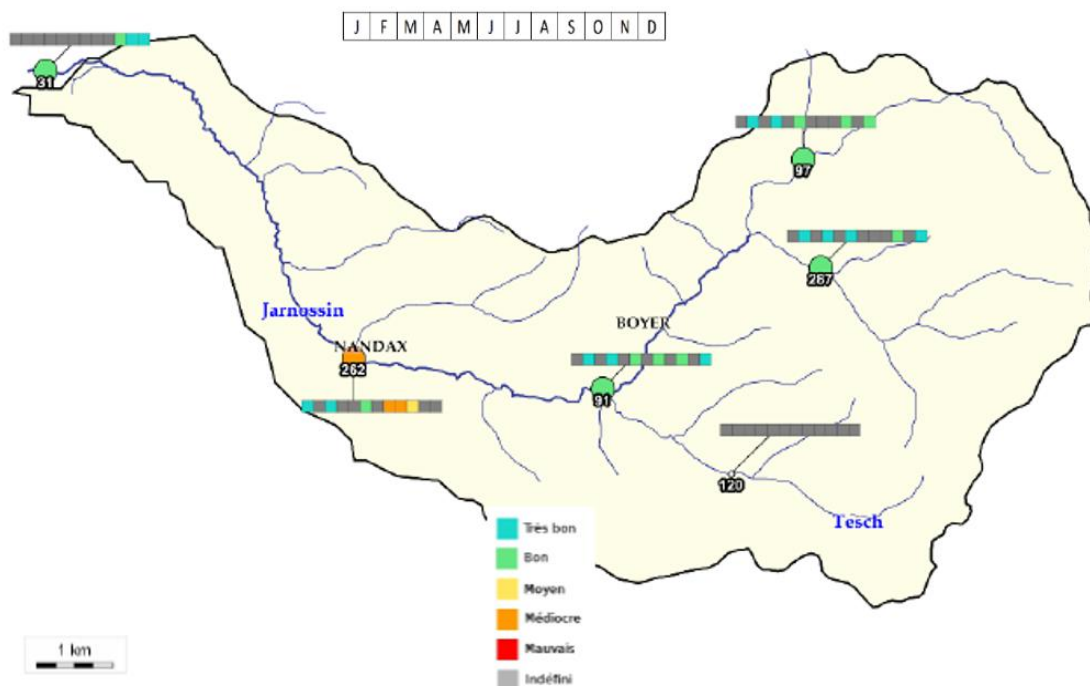


Figure 59 : Bilan oxygène 2022 – Jarnossin (Source : Bilan 2022, Fédération de Pêche 42)

Avant 2022, une seule autre station a présenté un état médiocre pour ce paramètre : Jarnossin Rajasse en 2007, les autres stations présentent un état moyen à bon.

Jarnossin	Bilan de l'oxygène																					
Stations	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Jarnossin (97) Aval ancienne décharge	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Jarnossin (91) Marpin, amont pt RD49	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Jarnossin (97) Aval ruisseau rive droite et ancienne décharge	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Jarnossin (31) Rajasse, aval pt RD482	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
JARNOSSIN (262) A NANDAX	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
JARNOSSIN (287) A JARNOSSE	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tableau 35 : Évolution de la qualité du paramètre « oxygène » depuis 2002 sur le Jarnossin (Source : Fédération de Pêche 42)

• **Nutriments :**

Ce paramètre englobe l'azote et le phosphore. Ces éléments peuvent être des facteurs d'eutrophisation du milieu et donc contraindre les espèces y vivant. Ils peuvent notamment provenir d'activités anthropiques telles que l'activité agricole ou les rejets de stations de traitement.

Sornin :

Sur l'année 2022, la plupart des stations présentent un bon état pour le paramètre nutriments. Trois stations présentent toutefois un état moyen à la suite d'un mois d'août plus contraignant.

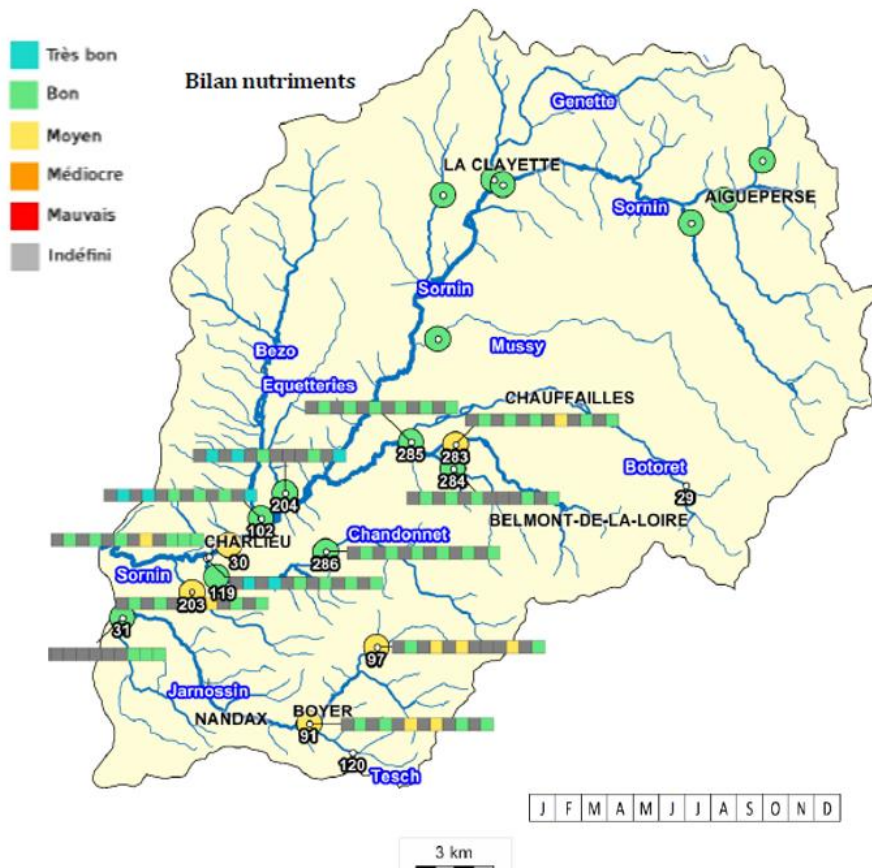


Figure 60 : Bilan nutriments 2022 - Sornin (Source : Bilan 2022, fédération de pêche 42)

Sur la période 2002-2022, seules deux stations présentent un état médiocre concernant les nutriments à savoir le Sornin en amont de la RD487 (en 2003, tout comme pour l'oxygène) et le Botoret au niveau du pont de Montvener (en 2015). Les autres années et les autres stations sont caractérisées en état moyen à bon.

Sornin Stations	Nutriments																				
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Botoret (29) Pont de Montvener, aval du pt	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Médiocre	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
EQUETTERIES (204) À CHARLIEU	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
Sornin (30) 150 m en amont RD487 et Chandonnet	Très bon	Moyen	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
Bézo (102) Amont confluence Sornin, aval RD 487	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
CHANDONNET (119) À POUILLY-SOUS-CHARLIEU	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
AILLANT (203) À POUILLY-SOUS-CHARLIEU	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
ARON (283) A COUBLANC	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
PONTBRENON (284) A COUBLANC	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
BOTORET (285) A TANCON	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon
CHANDONNET (286) A CHANDON	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon

Tableau 36 : Évolution de la qualité du paramètre nutriments depuis 2002 sur le Sornin (Source :Bilan 2022, fédération de pêche 42)

Jarnossin :

Pour les nutriments sur le Jarnossin, le classement est plus mitigé avec 2 stations considérées en état moyen contre 3 en bon état. Les stations touchées par ce déclassement se trouvent sur le secteur amont et médian du bassin versant.

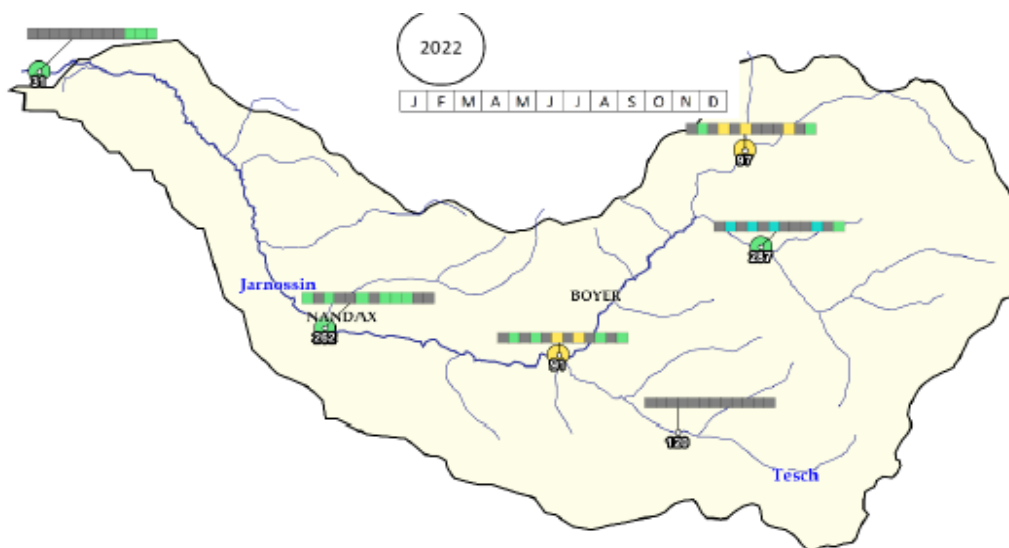


Figure 61 : Bilan nutriments 2022 - Jarnossin (Source : Bilan 2022, fédération de pêche 42)

Sur la période 2002-2022, trois stations ont été classées en état médiocre : Jarnossin ancienne décharge, Jarnossin Marpin et Jarnossin Rajasse. Pour ces trois stations, l'année 2015 est considérée comme telle.

Jarnossin	Nutriments												2022									
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Jarnossin (97) Aval ancienne décharge																						
Jarnossin (91) Marpin, amont pt RD49																						
Jarnossin (97) Aval ruisseau rive droite et ancienne décharge																						
Jarnossin (31) Rajasse, aval pt RD482																						
JARNOSSIN (262) A NANDAX																						
JARNOSSIN (287) A JARNOSSE																						

Tableau 37 : Évolution de la qualité du paramètre nutriments depuis 2002 sur le Jarnossin (Source : Bilan 2022, fédération de pêche 42)

7.1.3.3.2 Macrofaune benthique

La qualité des peuplements de macro-invertébrés benthiques permet une bonne caractérisation de la qualité de l'eau d'un cours d'eau puisqu'elle est intégratrice des évolutions passées (quelques mois/années) de la qualité de l'eau (les analyses physico-chimiques n'informent que sur la qualité de l'eau à l'instant du prélèvement).

Elle est évaluée via l'Indice Invertébrés Multi-Métriques (I2M2) ou l'Indice Biologique Global (IBG).

Sur les bassins versants, 4 stations ont déjà été classées comme médiocres :

- Le Jarnossin à Pouilly-sous-Charlieu en 2020
- Le Jarnossin à Coutouvre en 2007
- Le Rau des Équetteries en 2021
- Le Rau d'Aillant à Pouilly-sous-Charlieu en 2011, 2014 et 2020.

Seule la station du Rau de Genette à Gibles a été catégorisée en mauvais état en 2021.

Le reste des stations est considéré comme moyen à très bon.

7.1.3.3.3 Thermie

Sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin, 6 stations rattachées au projet de recherche national TIGRE (= thermie en rivière) sont recensées (Tableau 38). Les données sont fournies par les DREAL et les fédérations de pêche départementales.

Nom du Cours d'eau	Commune
Jarnossin	Coutouvre
Jarnossin	Pouilly-sous-Charlieu
Sornin d'Aigueperse	Aigueperse
Sornin de Propières	Propières
Sornin de St Igny	Saint-Igny-de-Vers
Sornin	Saint-Maurice-les-Châteauneuf

Tableau 38 : Stations du projet TIGRE

La thermie est un facteur fondamental pour les milieux et les espèces présentes. C'est le cas de la truite fario, espèce choisie comme « espèce cible » sur de nombreuses stations microhabitats du territoire.

Cette dernière vit de préférence dans des eaux fraîches (de 0 à 20 °C), de bonne qualité et bien oxygénées (> 6 mg/l). Elle cesse de s'alimenter à partir de 20°C ; une température de 22°C devient très contraignante ; elle meurt au-delà de 25°C. Par conséquent, outre la diminution des surfaces d'habitat potentiel, **une aggravation des étiages sévères estivaux par des prélèvements peut provoquer une augmentation de la température de l'eau pour être létale pour les populations de truites.**

L'amplitude des températures moyennes s'étend de 4,8°C au mois de février pour la station du Sornin de St-Igny jusqu'à 18,9°C en juillet pour la station du Sornin à St-Maurice-les-Châteauneuf.

D'un point de vue global, la température moyenne de l'eau est plus élevée en période estivale et plus précisément en juillet. **L'année 2018 est l'année avec les températures moyennes les plus élevées pour toutes les stations.**

Les températures maximales sur 7 jours (T7Jmax) ont aussi été étudiées (Tableau 39). Plusieurs stations dépassent chaque année (ou presque) les 20°C sur plusieurs jours (*pour rappel, à cette température, la truite fario cesse de s'alimenter*) :

- Le Jarnossin à Pouilly-sous-Charlieu ;
- Le Sornin d'Aigueperse ;
- Le Sornin à St-Maurice-les-Châteauneuf

	T7Jmax									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Jarnossin à Coutouvre	20,3	19,3	19	19,4	20	18,4	19,6	18,6	19,8	21,2
Jarnossin à Pouilly-sous-Charlieu	21,3	21,3	21	20,2	20,3	19,1	22,9	19,9	22,2	22,9
Sornin d'Aigueperse	21	20,6	20,6	20,2	20,6	19,8	23	20,1	22,1	22,3
Sornin de Propières	18,2	17,2	18	17,3	17,3	16,7	19,6	17,2	18,1	18,6
Sornin de St-Igny	20,3	19,2	20,1	19,3	19,4	18,3	21,9	18,9	19,6	20,9
Sornin à St-Maurice-les-Châteauneuf	21,3	22,2	21,8	21,1	21,9	21,1	24,4	20,6	22,1	23,8

Tableau 39 : Températures maximales sur 7 jours (Source : Réseau TIGRE)

Certaines années présentent même des dépassements supérieurs à 22°C (jusqu'à 24,4°C en 2015), température devenant très contraignante pour la truite fario.

7.1.4 Qualité des peuplements piscicoles

Les PDPG des départements de la Loire et de la Saône et Loire ont été analysés et complétés avec le suivi piscicole, astacicole et thermique du bassin versant du Sornin réalisé par la fédération de pêche du Rhône.

Seule la partie aval du **Sornin** est considéré en contexte intermédiaire principalement favorable aux cyprinidés d’eaux vives. Le reste du contexte est considéré en contexte salmonicole avec comme espèces repère la truite fario.

Malgré leur classement en contexte salmonicole, plusieurs stations de suivi présentent une faible densité voire une absence totale de la truite fario et de ses espèces d’accompagnement. Les cours d’eau concernés sont le Bézo, les Équetteries, le Botoret la Genette, les Barres et l’Aron. Le PDPG 42 indique même pour le Bézo que le niveau typologique ichtyologique semble décalé. Ce cours d’eau est considéré comme salmonicole mais les populations présentes sont principalement des cyprinidés d’eaux vives (barbeau, spirilin).

Cette altération des peuplements impacte donc la classe de l’IPR. En effet, 9 stations sont considérées de moyenne à mauvaises. Il s’agit du principal facteur de déclassement.

D’autres stations sont classées en état moyen soit par un manque de diversité d’espèces, soit une présence marquée d’espèces tolérantes comme le chevesne ou le goujon.

D’après les inventaires des fédérations de pêche, l’anguille est présente sur plusieurs cours d’eau tels que le Bézo ou le Sornin à Tigny.

L’année 2022 représente une illustration caractéristique de l’impact de la sécheresse sur l’hydrologie des cours d’eau et donc sur les habitats. En résulte un impact non négligeable sur les poissons comme en témoigne le suivi réalisé sur le Sornin (Figure 62). Sur cette année caractéristique l’ensemble des stations étudiées ont été classées en état moyen. Notons que 3 d’entre elles (sur 4) étaient classées en bon état lors de l’IPR précédent.

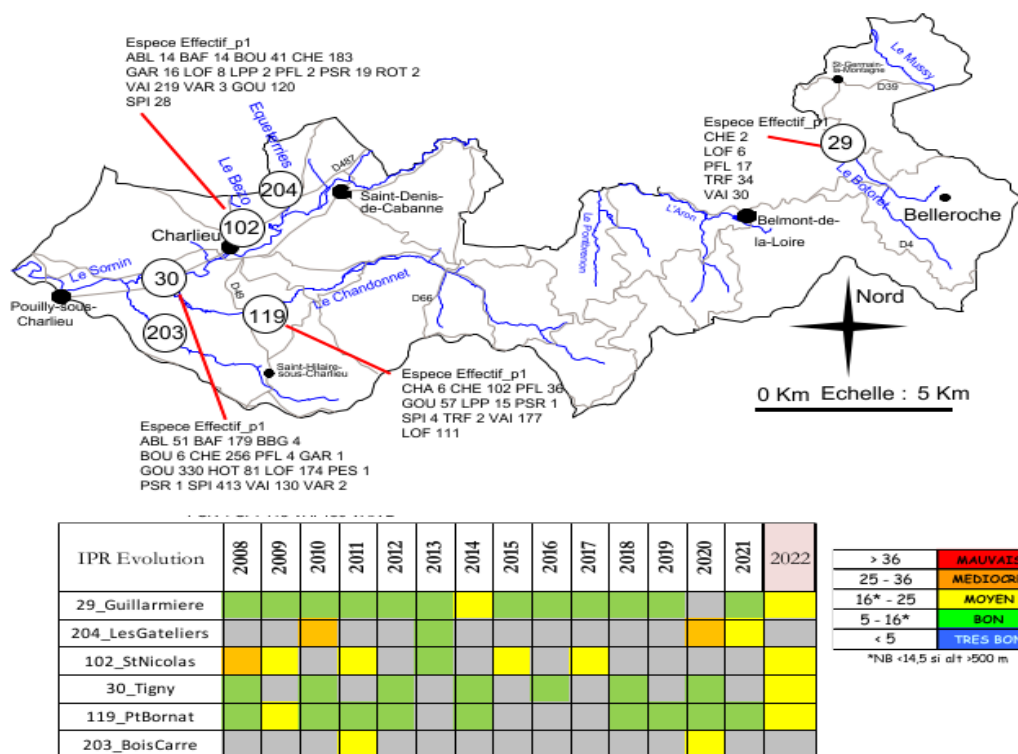
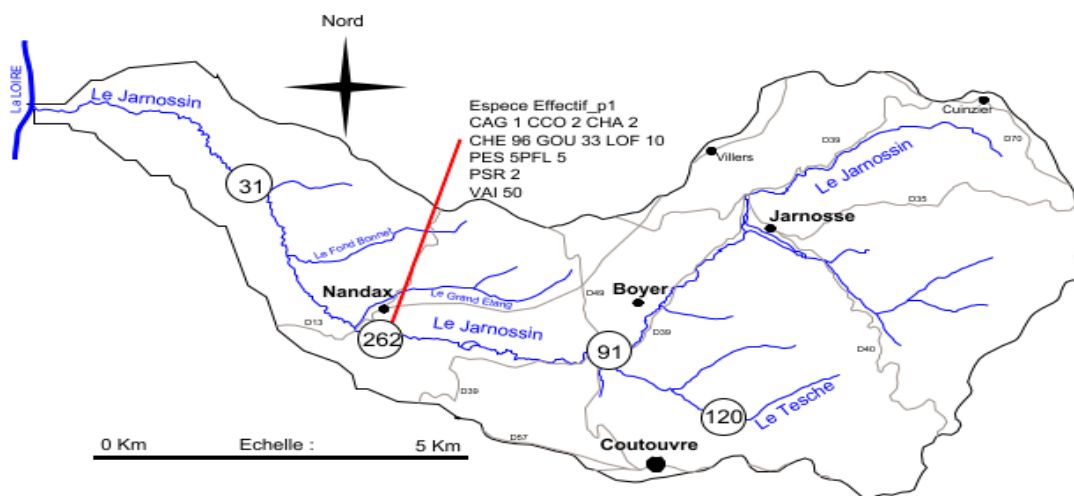


Figure 62 : Résultat des IPR dans le bassin versant du Sornin – secteur département Loire (Source : Bilan 2022, fédération de pêche 42)

Sur le Jarnossin, seule une station a été étudiée en 2022 et fait aussi ressortir un état moyen. Toutefois, les derniers IPR menés sur les autres stations du territoire ont été considérés comme moyens, il semble donc difficile de confirmer que l'année 2022 a eu un impact de déclassement sur le bassin versant du Jarnossin.



IPR Evolution	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
91_Marpin	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Grey	Grey	Grey	Grey
262_LaRiviere	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Yellow
31_Poteau	Green	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Green	Grey	Yellow	Grey	Green	Green	Yellow	Grey	Grey	Grey
120_Grabotton	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Grey	Grey	Grey	Grey

Figure 63 : Résultat des IPR dans le bassin versant du Jarnossin – secteur département Loire (Source : Bilan 2022, fédération de pêche 42)

7.1.5 Zones humides

7.1.5.1 Rôle hydrologique des zones humides

Les zones humides sont des milieux qui présentent des intérêts multiples, d'ordre patrimonial (biotopes et paysages spécifiques), qualitatif (épuration des eaux) et quantitatif.

Généralement située dans une dépression topographique ou zone de faible pente, la zone humide constitue bien souvent un frein aux écoulements provenant des versants en offrant un espace favorable à leur accumulation et à leur étalement.

Les terrains souvent poreux qui la constituent accumulent un volume d'eau notable lors des périodes d'excédent pluviométrique. Ce volume est restitué progressivement, ce qui est particulièrement intéressant en étiage.

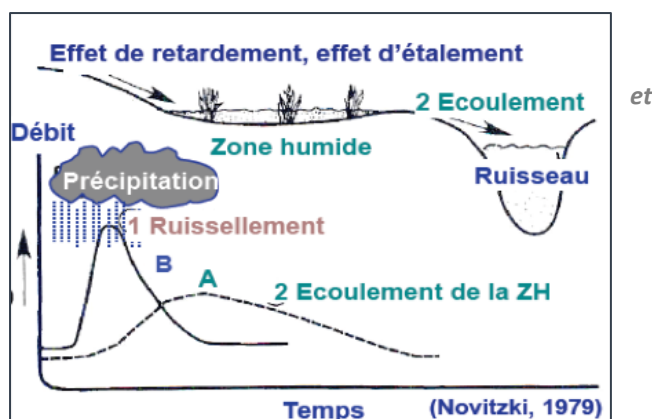
Enfin, les zones humides de bords de cours d'eau constituent des espaces favorables aux débordements qui, en permettant aux eaux de s'étaler de part et d'autre du lit mineur, contribuent au ralentissement des écoulements et la diminution des niveaux d'eau en aval. Il y a donc à la fois atténuation et décalage des pics de crues.

Les zones humides permettent ainsi un lissage des débits à leur aval par :

- Ralentissement des ruissellements,
- Soutien d'étiage,
- Étalement des crues.

Les zones humides peuvent donc être considérées comme des réservoirs qui amortissent les variations hydrologiques (Figure 64).

Figure 64 : Atténuation des débits de crue des étiages (Rôle des zones humides, source : Novitzki 1979)



Toutes les zones humides ne présentent pas forcément un fort potentiel de soutien d'étiage, qui dépend de la taille de la zone humide, de la porosité et de la profondeur de sol stockant, de la distance de connexion au réseau hydrographique. Par ailleurs le potentiel de la zone humide peut être altéré par les activités humaines (drainage de la zone humide, détournement de son alimentation, ...).

7.1.5.2 Inventaires réalisés sur le territoire d'étude

Cf. Carte 15 : Zones humides inventoriées

Le SYMISOA nous a fournis un inventaire des zones humides recensées sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin (investigations réalisées entre 2012 et 2014). Ces données ont été complétées avec celles de la DREAL AURA et du CEN Bourgogne Franche Comté.

Les zones humides sont principalement situées au fond des vallées et à proximité des cours d'eau (Tableau 40).

Type de zones humides recensées	% sur le territoire d'étude
Cours d'eau et bordures boisées	43
Bas fonds en tête de bassin	39
Ponctuelles	10
Marais et landes humides	4
Plaine alluviale	2
Aménagement agricole	1
Artificielle	1
Total	100

Tableau 40 : Typologie des zones humides du territoire d'étude

Sur le bassin versant du Sornin, 17,7 km² de zones humides ont été recensées, soit 3% du bassin versant (520 km²). Sur celui du Jarnossin, 6,4 km² de zones humides ont été recensés, soit 6% du bassin versant (68 km²).

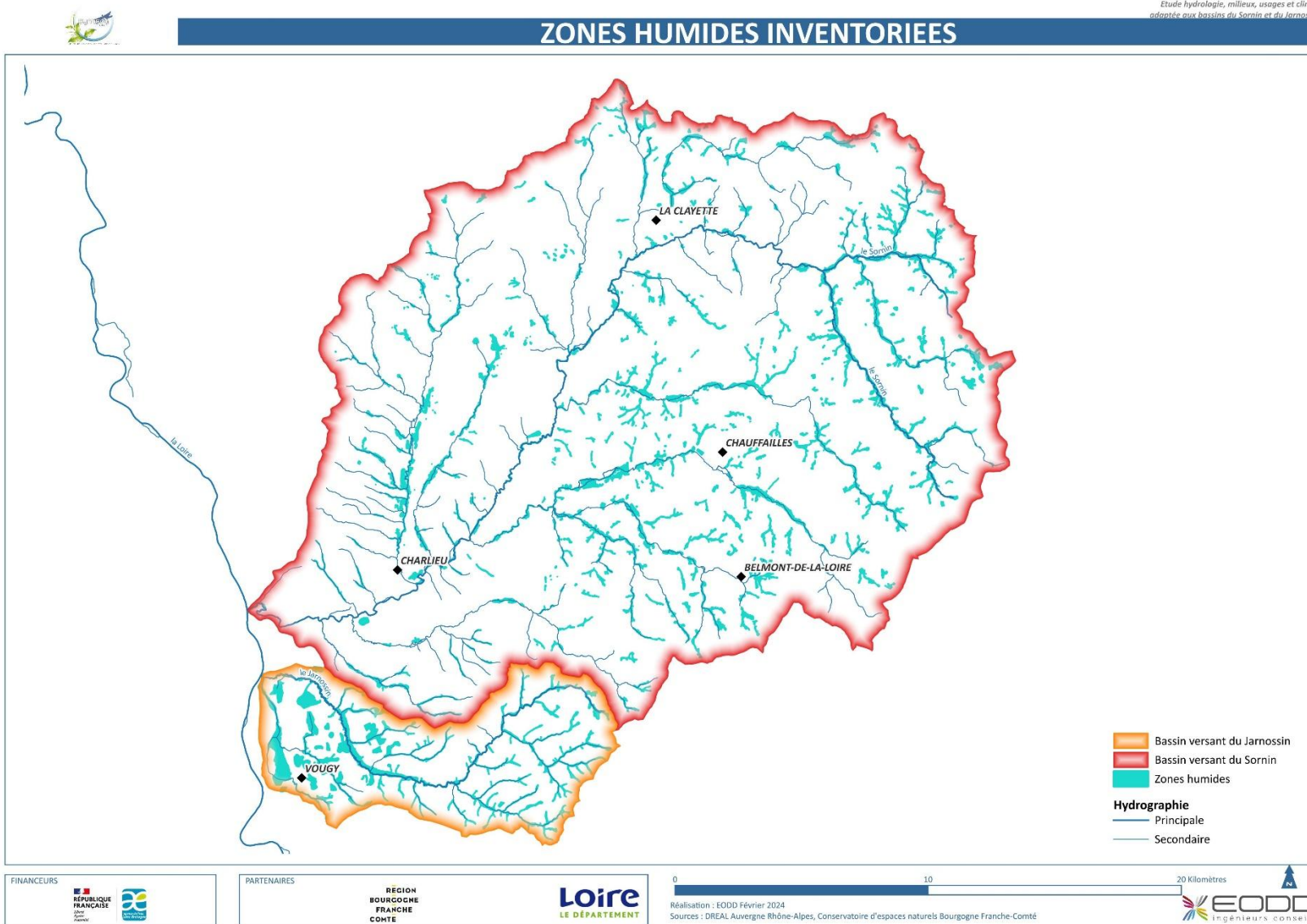
7.1.5.3 Pressions sur les zones humides

Malgré l'impact positif que peuvent avoir les zones humides sur la ressource en eau, plusieurs pressions sont susceptibles de menacer ces secteurs à enjeux.

Sur le territoire d'étude, elles sont principalement dues aux pâturages et au drainage des prairies humides (Tableau 41).

Principales pressions sur les zones humides du territoire	
Pâturage	15%
Assèchement / Drainage	14%
Suppression des haies, talus, bosquets	12%
Modification de cours d'eau	9%
Erosion	4%
Urbanisation	2%

Tableau 41 : Principales pressions sur les zones humides du territoire



Carte 15 : Zones humides inventoriées

7.2 « Besoins en eau » pour les milieux aquatiques

7.2.1 Notion de période de « basses eaux » et « hors basses eaux »

Les besoins en eau pour les cours d'eau sont principalement déterminés à partir des exigences des espèces piscicoles présentes. Ces besoins sont variables en fonction des différentes phases de leur cycle biologique, et donc variables au cours de l'année.

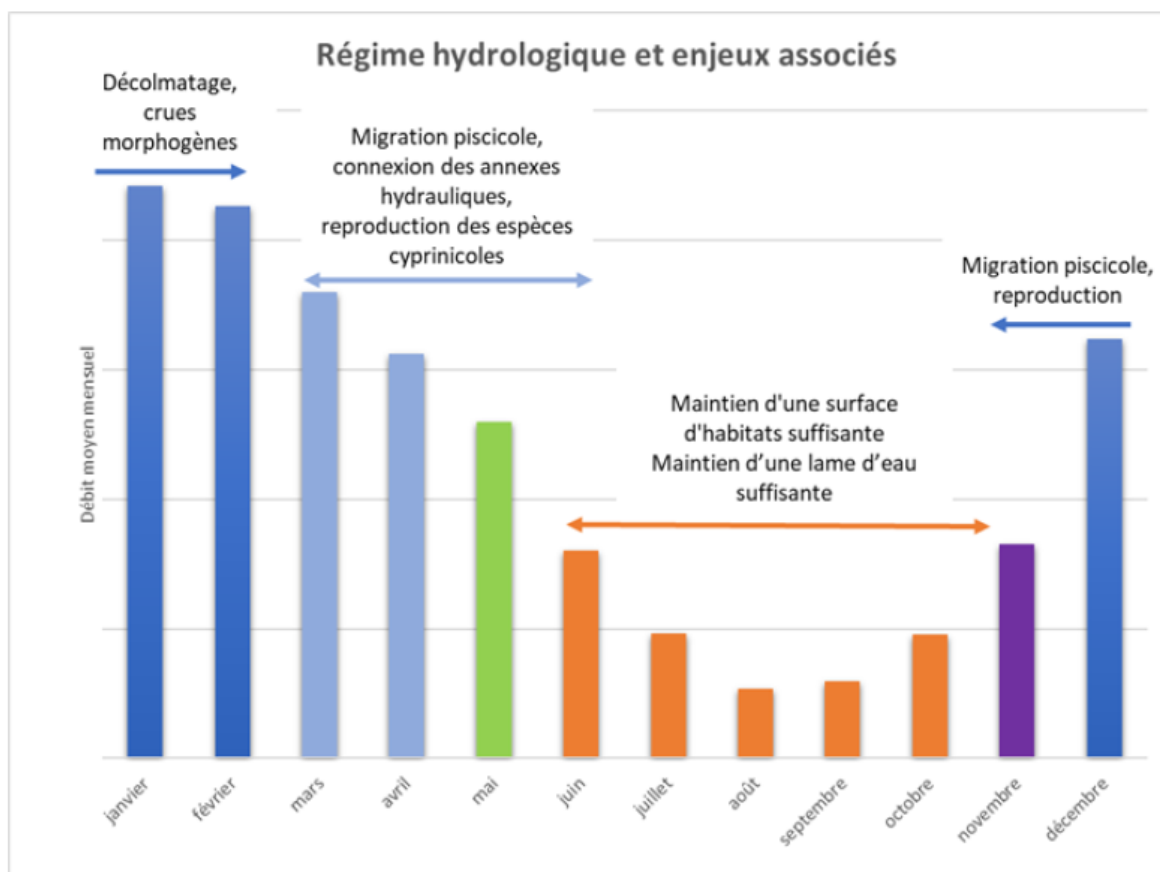


Figure 65 : Exemple d'identification des enjeux écologiques au cours du cycle hydrologique (source : « Analyse hydrologie-milieu- usages- climats / Gguide des recommandations méthodologiques – Bassin Loire-Bretagne octobre 2024)

Dans le cadre de l'étude, il est donc nécessaire de distinguer une période de « basses eaux » caractérisées par les débits les plus faibles, et une période « hors basses eaux » pour le reste de l'année.

Les enjeux et méthodes pour caractériser les besoins en eau des cours d'eau seront différents pour ces deux périodes.

7.2.2 La période de basses eaux

7.2.2.1 Définition et déclinaison sur la zone d'étude

Cf. Carte 16 : Période de basses eaux

Pour le SDAGE LB 2022-2027, la période de basses eaux s'étale sur 7 mois du 1^{er} avril au 31 octobre.

Dans le cadre de cette étude nous avons caractérisé la période de basses eaux de chaque cours d'eau comme les mois où les débits mensuels sont inférieurs au module interannuel (calcul effectué sur la base de chroniques hydrologiques mensuelles).

La Figure 66 représente cette période de basses eaux définie sur la période 2005-2023 à la station du Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010), représentative de l'hydrologie du cours d'eau en fermeture du bassin versant.

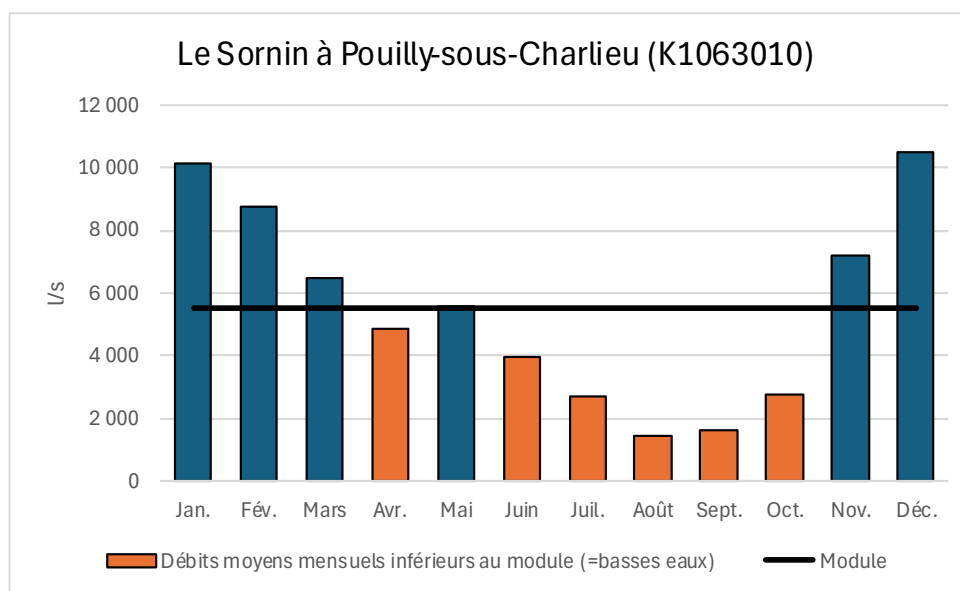
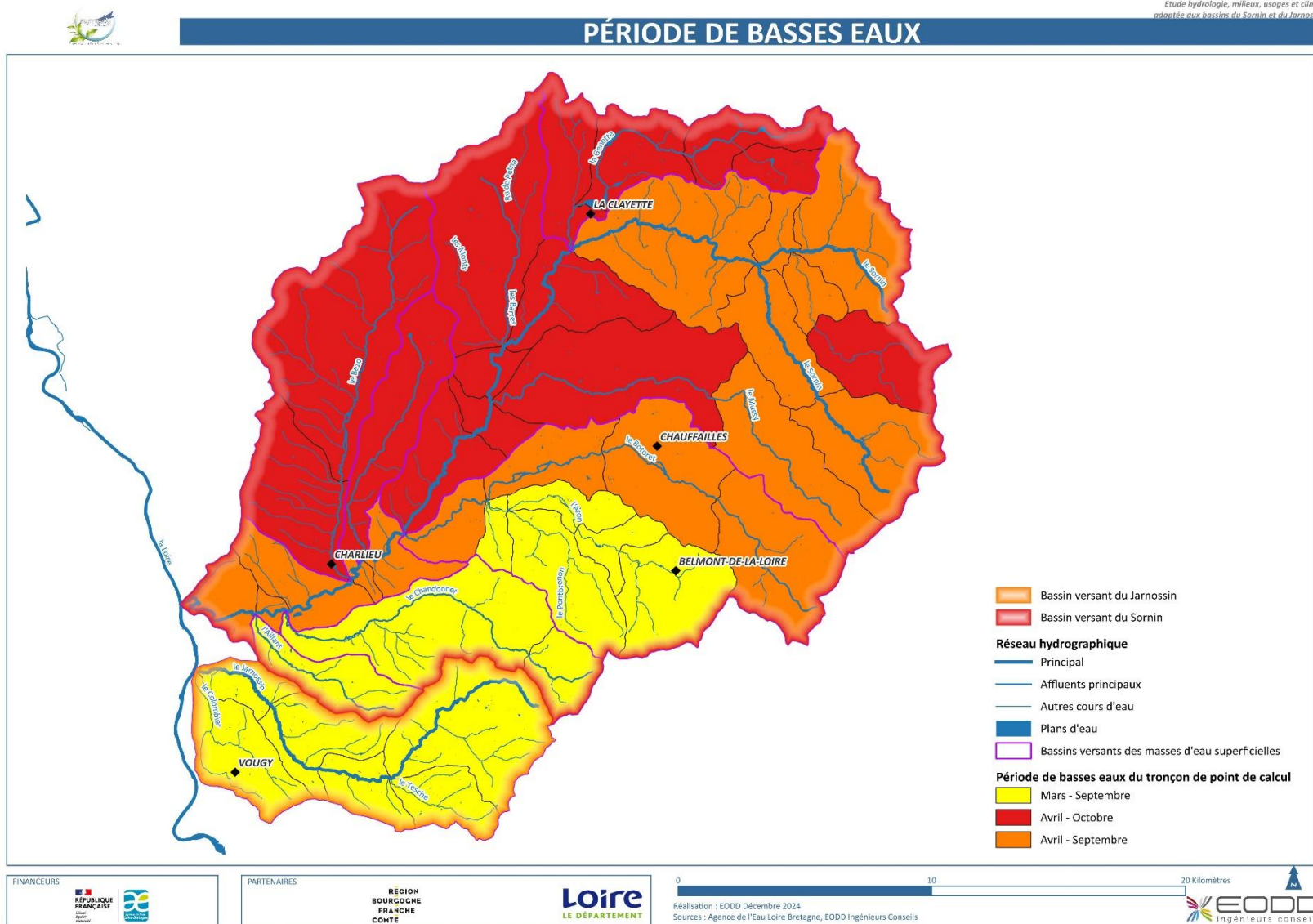


Figure 66 : Représentation de la période de basses eaux pour la station du Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010) – chronique 2005-2023 (source des données : HYDROPORTAIL)

En appliquant cette définition à notre ressource naturelle calculée en chacun des points de calcul, il en résulte que :

- La période de basses eaux s'étend d'avril à septembre sur la plupart des cours d'eau,
- Pour les cours d'eau situés sur le Nord du bassin versant du Sornin (Sornin amont, Genette, Bezo, Equetteries et Mussy) cette période s'étend d'avril à octobre,
- Pour les cours d'eau situés dans la plaine (Aron, Chandonnet, Aillant et Jarnossin), cette période s'étend de mars à septembre.



Carte 16 : Période de basses eaux

7.2.2.2 Méthodologie pour proposer des besoins milieux

En période de basses eaux, le protocole ESTIMHAB a été choisi pour proposer des débits biologiques pour les cours d'eau en différents points du bassin versant.

7.2.2.2.1 Bases théoriques

La diminution du débit d'un cours d'eau entraîne une diminution de la hauteur d'eau, de la largeur mouillée et de la vitesse du courant. Ces trois paramètres varient différemment en fonction de la morphologie du cours d'eau. **Les capacités d'accueil des poissons peuvent ainsi diminuer notablement** (Figure 67).

Différentes méthodes ont été développées pour rendre compte de l'évolution de la qualité « physique » d'une rivière vis-à-vis des organismes aquatiques en fonction de l'évolution des débits. Dans le cadre de l'étude, **la méthode Estimhab a été retenue par le commanditaire**. Elle donne des résultats très proches de ceux fournis par les méthodes conventionnelles des micro-habitats (logiciels Phabsim, Evha), à partir de variables d'entrée simplifiées (mesure de largeurs et hauteurs moyennes à deux débits pour deux situations hydrologiques différentes : moyennes eaux et basses eaux).



Figure 67 : Effet de la diminution du débit sur un cours d'eau (source : EODD)

7.2.2.2.2 Protocole de terrain

La méthode Estimhab (Figure 68) s'applique sur une station linéaire, de type tronçon de cours d'eau. Le choix de la station sur laquelle réaliser les mesures est effectué par un ingénieur formé à ce type d'analyse : le tronçon retenu doit présenter une morphologie assez peu altérée (exclusion des canaux, remous liquides de seuils, fonds bétonnés, ...) et refléter la diversité des faciès d'écoulement se succédant localement sur le cours d'eau (radiers, plats, mouilles).

En moyenne le long des cours d'eau, les séquences de faciès « radier-mouille » se succèdent tous les 6-7 fois la largeur de plein bord. En conséquence, il est recommandé d'appliquer la méthode sur des stations de longueur au moins égale à 15 fois la largeur du cours d'eau à pleins bords.

Une fois le secteur retenu, la géométrie hydraulique moyenne de la station est estimée à partir des informations suivantes, à recueillir sur le tronçon étudié lors de **deux campagnes de terrain conduites pour 2 débits différents** (l'idéal étant de choisir le débit le plus bas possible (Q1) et le débit le plus proche du débit journalier médian (Q2)) :

- Débit du cours d'eau,
- Largeur mouillée moyenne (15 mesures),
- Hauteur d'eau moyenne (au moins 100 mesures),
- Lors d'une des deux campagnes, la taille moyenne des éléments du substrat doit être évaluée.

Il est nécessaire également d'évaluer le débit journalier médian (Q50) du cours d'eau étudié ; cette valeur a été calculée dans la partie « Quantification de la ressource en eau ».

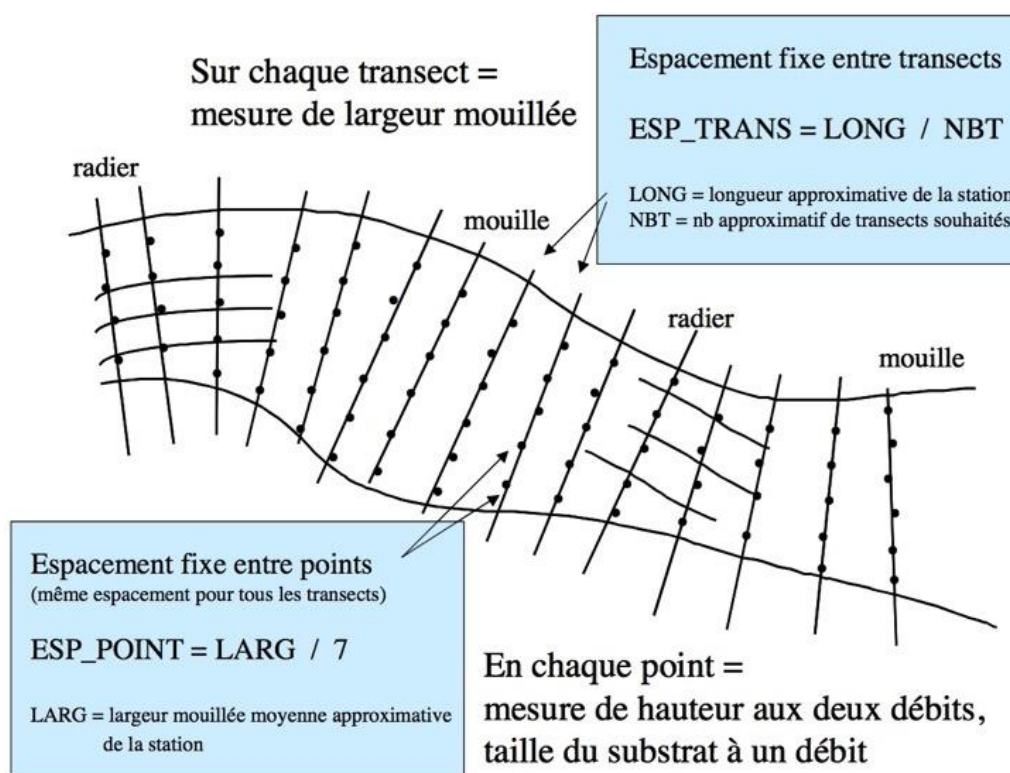


Figure 68 : Schéma de principe du protocole de terrain ESTIMHAB (source : Guide méthodologique ESTIMHAB, IRSTEA 2008)

7.2.2.2.3 Fonctionnement du modèle

Avec la méthode Estimhab, les conditions hydrauliques moyennes (largeur mouillée, hauteur d'eau et vitesse) du tronçon de cours d'eau sont calculées sur une large gamme de débit, à partir des mesures de terrain à deux débits différents et des lois dites de « géométrie hydraulique » (qui relie le débit, la hauteur d'eau la largeur mouillée). Un modèle statistique, calibré par l'INRAE à partir de l'application de modèles conventionnels de micro-habitats (Evha, Phabsim, ...) sur un grand nombre de cours d'eau, permet d'estimer la qualité de l'habitat hydraulique piscicole à partir de ces conditions hydrauliques moyennes.

La méthode nécessite l'identification d'une ou plusieurs **espèces-cibles piscicoles**. Le nombre d'espèces prises en compte par l'outil est limité, mais il propose des « guildes » associées à certains faciès d'écoulement, permettant d'y rattacher les espèces y vivant préférentiellement (gilde « mouille » pour la perche, le gardon, l'anguille, ... gilde « chenal » pour les cyprinidés rhéophiles, ...)

Les préférences sont exprimées en termes de valeur d'habitat (note entre 0 et 1) ou de **surface pondérée utile « SPU »** (valeur d'habitat X surface mouillée – exprimée en m² pour 100 m linéaires de cours d'eau), qui varient en fonction du débit pour chacune des espèces considérées. Dans le cadre de nos études, nous utilisons préférentiellement la seconde variable « SPU », car elle est plus intégratrice des caractéristiques hydrauliques (largeur mouillée notamment) structurant l'habitat piscicole potentiel dans le cours d'eau.

7.2.2.4 Représentation des résultats

Les résultats sont représentés sous forme de courbes reliant les débits (en abscisse) aux paramètres hydrauliques moyens de la station (largeur mouillée, vitesse et hauteur d'eau) ou aux SPU (en ordonnée). Les paramètres hydrauliques (et les SPU) croissent de façon plus ou moins marquée avec le débit, en fonction des caractéristiques morphologiques des cours d'eau (et la sensibilité des espèces présentes).

Les photographies ci-après (Figure 69) montrent par exemple deux cours d'eau de morphologie naturelle différente, dont les paramètres hydrauliques varient très différemment en fonction du débit.



Figure 69 : Cours d'eau dont la largeur mouillée varie faiblement (à gauche, Sornin de St Igny) ou fortement (à droite, les Équetteries) en fonction du débit (source : EODD 2024)

La Figure 70 montre un exemple des courbes obtenues via Estimhab pour les paramètres hydrauliques moyens d'une station (hauteur d'eau, largeur mouillée et vitesse moyennes) et pour différentes espèces-cibles (les débits caractéristiques au droit de la station ont été rajoutés).

Le modèle a été calibré et conçu pour la période de basses eaux. **Les courbes ne sont donc représentées que pour des débits inférieurs au débit journalier médian (Q50)**. De plus, le domaine de validité maximal du modèle s'étend sur une gamme allant de 10 % du débit de la campagne de mesure de basses eaux (Q1) à 5 fois le débit de la campagne de mesures de moyennes eaux (Q2). Il est donc possible, sur certains cours d'eau aux étiages très sévères, que certains débits extrêmement faibles soient parfois en-dehors de la gamme de modélisation.

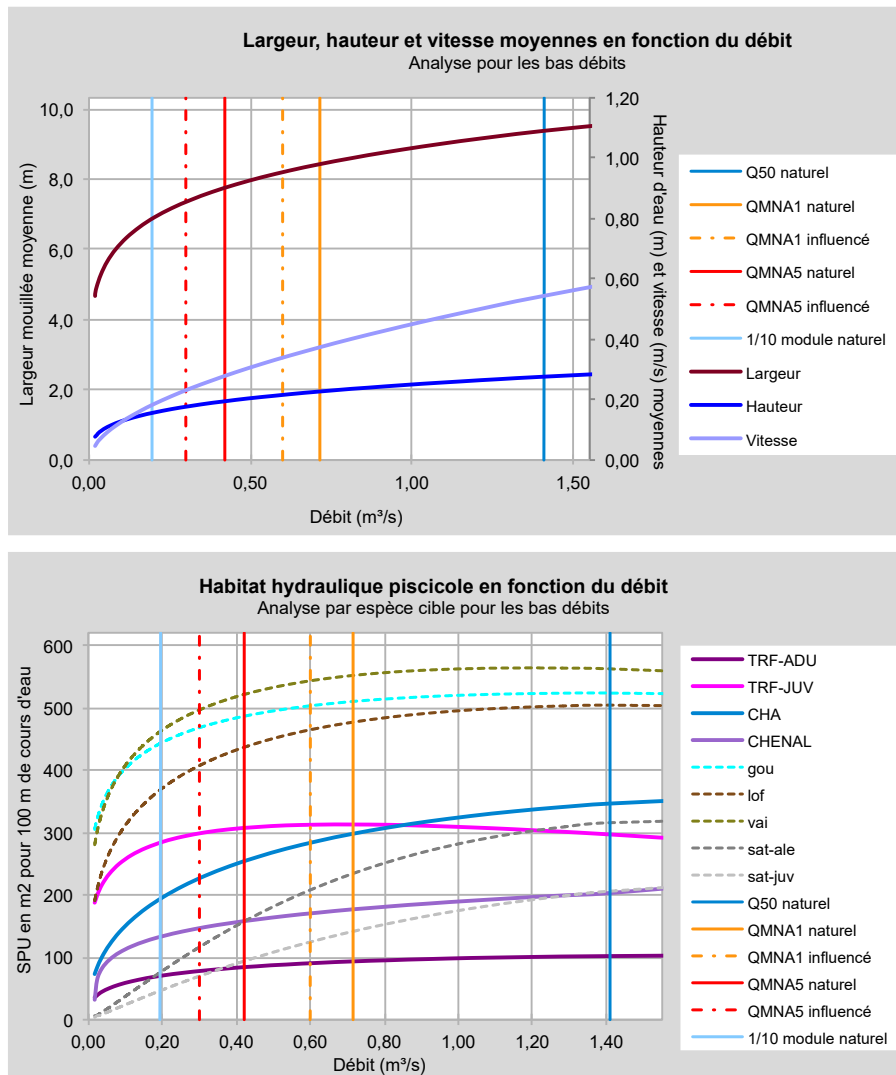


Figure 70 : Exemples de courbes produites via le modèle ESTIMHAB (source : EODD)

Afin de pouvoir comparer les paramètres hydrauliques entre eux, leurs courbes sont normées en pourcentage de la valeur qu'elles atteignent au débit journalier médian (Q50) au droit de la station (Figure 71).

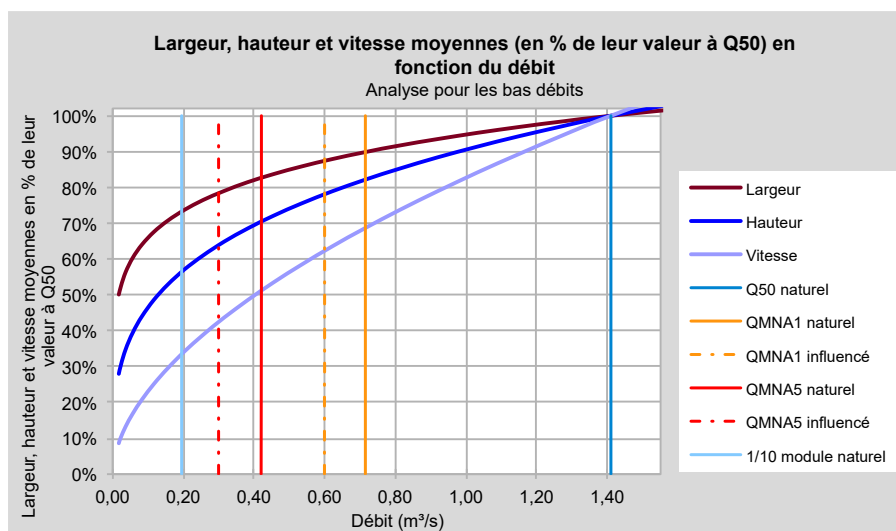


Figure 71 : Courbes de largeur, hauteur et vitesse normées en lien à leur valeur au Q50 (source : EODD)

L'interprétation des courbes ESTIMHAB et leur utilisation pour caractériser l'incidence des variations de débits liées aux usages (prélèvements et rejets) sur la faune piscicole seront développées dans la phase suivante de l'étude.

7.2.2.3 Implantation des stations et investigations conduites

Cf. Carte 17 : Stations de suivi ESTIMHAB

Dans le cadre de la présente étude, **10 stations « micro-habitats »**, ont été prédéfinies en concertation avec le maître d'ouvrage et les différents partenaires institutionnels et techniques (OFB, FDPPMA, conseils départementaux 42 et 71, Charlieu-Belmont Communauté et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne).

La localisation de ces stations a été définie de manière à ce que ces stations soient à la fois :

- Morphologiquement assez peu altérées ou, pour certains cours d'eau ayant fait l'objet de travaux hydrauliques anciens (rectification et recalibrage), présentant à minima une alternance de faciès d'écoulement recréés naturellement par le cours d'eau et une ripisylve dense et âgée ;
- Morphologiquement représentatives de tronçons de cours d'eau longs et à enjeux significatifs (intérêt piscicole notamment) ;
- En aval des principales pressions quantitatives (prélèvements notamment) mais assez proches pour en atténuer la « dilution » des impacts par les affluents, et facilement accessibles ;
- Si possible proches des stations hydrométriques existantes ou des sondes implantées dans le cadre de la présente étude pour le suivi complémentaire des débits d'étiage ;
- Réparties de manière à mailler suffisamment le territoire d'étude, en complément des stations où une méthode micro-habitats avait déjà été mise en place par ailleurs.

Le choix et l'implantation de ces stations se sont appuyés en premier lieu sur une analyse préalable du contexte éco-géomorphologique, puis sur une analyse des pressions exercées sur les milieux aquatiques, notamment celles des prélèvements et rejets (en utilisant les bases de données existantes).

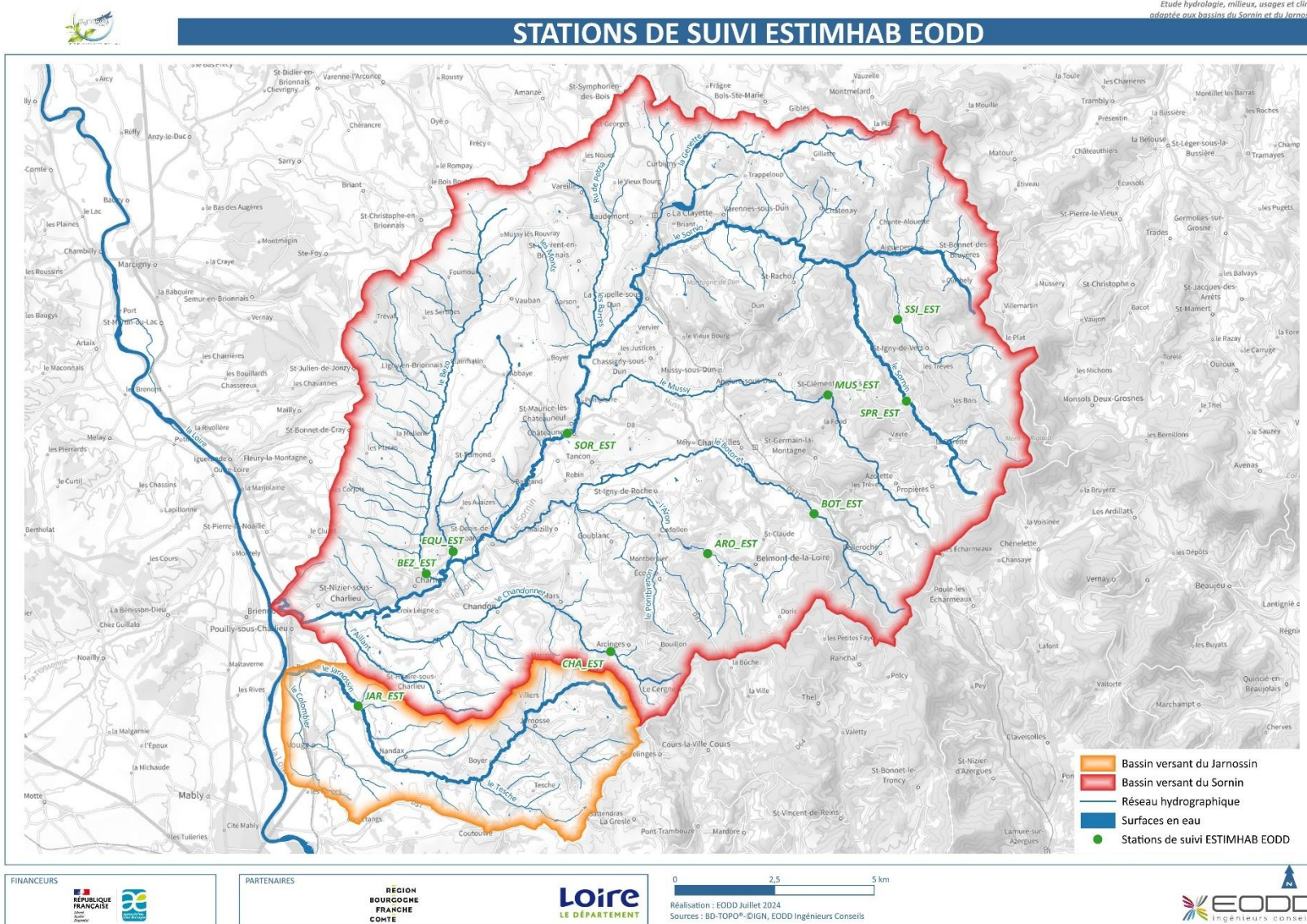
Des reconnaissances de terrain ont ensuite été réalisées en juillet 2024 par les ingénieurs d'EODD afin de vérifier la compatibilité des tronçons de cours d'eau ciblés avec la mise en place de la méthode Estimhab et définir précisément l'implantation des stations d'étude (point GPS et marquage de l'amont et de l'aval des stations sur les berges) en fonction de la morphologie des cours d'eau observée sur place.

Les deux sessions de mesures nécessaires à la mise en œuvre du protocole ont été conduites entre août 2024 et décembre 2024, en respectant les conditions de débits favorables à la mise en œuvre de la méthode.

Les 10 stations retenues dans le cadre de l'étude sont les suivantes (Tableau 42) :

Code station	Cours d'eau	Localisation	Méthode	Opérateur	Année
ARO	Aron	Belmont de la Loire - Grand Jat	ESTIMHAB	EODD	2024
BEZ	Bezo	Charlieu - boulevard des Capucins	ESTIMHAB	EODD	2024
BOT	Botoret	St-Germain-la-Montagne - la Guillermière	ESTIMHAB	EODD	2024
CHA	Chandonnet	Arcinges - Fagot	ESTIMHAB	EODD	2024
EQU	Equetteries	Charlieu - route de la Clayette	ESTIMHAB	EODD	2024
JAR	Jarnossin	Pouilly-sous-Charlieu - chemin du Moulin	ESTIMHAB	EODD	2024
MUS	Mussy	Chauffailles - la Planche Simon	ESTIMHAB	EODD	2024
SOR	Sornin	St-Maurice-lès-Châteauneuf	ESTIMHAB	EODD	2024
SPR	Sornin de Propières	St-Igny-de-Vers - la Haye du Pont	ESTIMHAB	EODD	2024
SSI	Sornin de St-Igny	St-Igny-de-Vers - Terres Rousses	ESTIMHAB	EODD	2024

Tableau 42 : Liste des stations micro-habitats intégrées dans l'étude



Carte 17 : Stations de suivi ESTIMHAB

7.2.2.4 Définition des espèces cibles

Pour chaque station, il est nécessaire de définir une ou plusieurs **espèces-cibles** sur lesquelles portera l'analyse de l'impact de l'évolution des débits (sous l'effet des usages de l'eau) sur l'habitat hydraulique des poissons. Les espèces-cibles retenues sont choisies parmi celles pour lesquelles il existe une courbe propre dans ESTIMHAB, à savoir :

- Le chabot commun (CHA),
- La truite fario (TRF – stades adulte et juvénile),
- Le vairon commun (VAI),
- La loche franche (LOF),
- Le goujon commun ou le goujon d'Auvergne (GOU),
- L'ombre commun (OBR – stades adulte, juvénile et alevin),
- Le saumon atlantique (SAT – stades alevin et juvénile),
- Le barbeau fluviatile (BAF),

Ou pour lesquelles le guide d'utilisation Estimhab prévoit un rattachement à 4 « guildes » :

- RADIER : loche franche, chabot commun, barbeau fluviatile alevin (<9cm) ;
- CHENAL : barbeau fluviatile juvénile et adulte (>9cm), blageon adulte (>8cm), hotu, toxostome, vandoise rostrée, ombre commun ;
- MOUILLE : anguille européenne, perche soleil, perche commune, gardon, chevesne adulte (>17cm) ;
- BERGE : goujon commun, blageon juvénile (<8cm), chevesne juvénile (<17cm), vairon commun.

Certaines espèces (lamproie de planer, gardon, perche commune...) n'ont jamais été retenues. Le chevesne n'a pas non plus été retenu hormis pour la guilde « MOUILLE » étant donné qu'il s'agit d'une espèce très résiliente, peu patrimoniale et adaptable à une très grande variété de milieux.

Les espèces cibles ont été identifiées sur la base des données piscicoles disponibles au droit ou à proximité des stations étudiées, par exploitation des données suivantes :

- PDPG de la Loire et de la Saône et Loire
- Données piscicoles sur le Haut Botoret (seuil SB63) : Abondance et Structure des Populations, FDPPMA 42 et CESAME, 2020
- Données piscicoles sur le Chandonnet amont et médian : Abondance et Structure des Populations, FDPPMA 42 et CESAME, 2020
- Suivi piscicole, astacicole et thermique du bassin versant du Sornin FDPPMA 69, 2021

Pour chaque station, les espèces cibles ont été hiérarchisées en deux catégories pour chacune des stations :

- Des espèces cibles « principales », sur lesquelles portera principalement l'analyse des impacts anthropiques sur les débits des cours d'eau (on retiendra le taux d'impact le plus élevé parmi les espèces cibles principales), espèces à la fois fréquentes, les plus sensibles, les plus représentatives du tronçon étudié et présentant l'intérêt écologique, patrimonial et halieutique le plus fort ;
- Des **espèces cibles « secondaires »**, présentes sur la station, mais de moindre importance, moins fréquentes / représentatives ou moins sensibles, ou bien présentes à proximité de la station (tronçon hydromorphologiquement similaire) mais absente sur la station du fait de la présence d'obstacles anthropiques infranchissables en aval proche. Leurs courbes sont tracées **pour information**, avec éventuellement quelques commentaires, mais sans analyse approfondie.

La liste des espèces cibles principales et secondaires pour chaque station a fait l'objet d'une concertation et validation par mails avec les différentes FDAPPMA du territoire (42, 69 et 71) et l'OFB. Elle est présentée dans le tableau ci-après (Tableau 43)

Code station	Cours d'eau	Espèces cibles principales	Espèces cibles secondaires
ARO_EST	Aron	TRF	GOU, LOF, VAI
BEZ_EST	Bézo	CHA, CHENAL	BAF, GOU, LOF, VAI
BOT_EST	Botoret	TRF	GOU, LOF, VAI, BAF
CHA_EST	Chandonnet	TRF	-
EQU_EST	Équetteries	LOF, VAI	GOU
JAR_EST	Jarnossin	TRF, CHA	GOU, LOF, VAI
MUS_EST	Mussy	TRF, CHA	GOU, LOF, VAI
SOR_EST	Sornin	TRF, CHA, CHENAL	BAF, GOU, LOF, VAI
SPR_EST	Sornin à Propière	TRF, CHA	GOU, LOF, VAI
SSI_EST	Sornin à St-Igny-de-Vers	TRF, CHA	LOF, VAI

Tableau 43 : Liste des stations micro-habitats intégrées dans l'étude

Exigences particulières des espèces cibles vis-à-vis des conditions de débits :

➤ **Truite fario**

La truite fario (Figure 72) appartient à la famille des salmonidés. Elle est sensible aux variations de débits à de nombreux stades de son cycle de vie :

- De début octobre à mi-novembre, les truites sexuellement matures effectuent une migration de reproduction vers l'amont (instinct de retour partiel au ruisseau natal), à la faveur généralement d'une légère crue ; **une réduction des débits à cette époque peut aggraver fortement les difficultés de franchissement des seuils naturels et anthropiques par les géniteurs.**
- La ponte, effectuée dans les zones graveleuses à courant vif, est recouverte de graviers par la femelle. Le bon développement des œufs et des embryons nécessite un substrat non colmaté et bien oxygéné par la circulation interstitielle de l'eau. Les prélèvements d'eau ne doivent pas, par conséquent, entraîner la disparition des crues infra-annuelles, notamment juste avant et pendant le frai (novembre à février), qui permettent le décolmatage et le renouvellement du substrat au niveau des frayères. Ils ne doivent pas non plus entraîner un dénoisement des frayères. En revanche, des crues trop importantes entre la ponte et l'émergence (fin d'hiver et début de printemps) peuvent entraîner la destruction des frayères et des alevins, encore trop vulnérables.
- La truite vit de préférence dans des eaux fraîches (de 0 à 20°C), de bonne qualité et bien oxygénées (> 6 mg/L). Elle cesse de s'alimenter à partir de 20°C ; une température de 22°C devient très contraignante ; elle meurt au-delà de 25°C. Par conséquent, outre la diminution des surfaces d'habitat potentiel, une aggravation des étiages sévères estivaux par des prélèvements peut provoquer une augmentation de la température de l'eau pouvant être létale pour les populations de truites.

ESTIMHAB (et EVHA) distingue l'habitat hydraulique des truites adultes et juvéniles car les premières préfèrent les habitats calmes et profonds (faciès de type mouille) tandis que les secondes occupent plutôt des habitats moins profonds et davantage lotiques (faciès de type plat courant).



Figure 72 : Truite fario adulte s'alimentant en queue de mouille (à gauche) et alevin de truite sur un fond graveleux non colmaté (source : EODD)

➤ Cyprinidés rhéophiles

Le barbeau fluviatile appartient à la famille des cyprinidés. Cette espèce est dite « Rhéophile » car elle affectionne les parties courantes des rivières (faciès de type plat courant ou chenal lotique). Elle dispose d'une courbe de préférence mais est aussi associée à la guildes chenal dans ESTIMHAB. Tolérant des températures plus élevées que les salmonidés, on retrouve les barbeaux à des altitudes plus basses, dans les cours d'eau de plaine et de piémont, pour peu que ceux-ci présentent quelques faciès courants. Cette espèce comme de nombreux cyprinidés rhéophiles, se reproduisent au printemps sur les fonds graveleux et caillouteux.

Elle est surtout sensible à la diminution de la vitesse d'écoulement.

Le **goujon commun**, autre cyprinidé, se rencontre dans les mêmes types de cours d'eau que ces espèces, voire légèrement plus haut en altitude, mais est moins exigeant quant aux conditions de débit et à la qualité de l'eau. Il peut en effet s'accommoder d'eaux plus calmes et plus riches en matière organique. Il est **peu sensible aux variations de débit**.

Le **vairon commun** (Figure 73) appartient également à la famille des cyprinidés. C'est un petit poisson vivant en banc de plusieurs dizaines à centaines d'individus. Il affectionne les cours d'eau de montagne et de piémont, et peut se retrouver sur certains cours d'eau de plaine suffisamment courants. Poisson omnivore, opportuniste et à forte dynamique de population, il **est peu sensible aux variations de débits** par rapport aux espèces qu'il accompagne (truite, ombre, autres cyprinidés rhéophiles).



Figure 73 : Bancs de vairons communs (source : EODD)

➤ Loche franche

La **loche franche** est un poisson de la famille des nemacheilidés, à large répartition sur le réseau hydrographique, depuis la zone à truite jusqu'à la zone à barbeau. Elle se reproduit au printemps et s'accommode de divers supports de ponte (graviers, mousses, plantes aquatiques, ...). Elle préfère les eaux claires et fraîches mais possède de fortes capacités de résistance et résilience à la pollution organique, au colmatage des substrats et à la diminution des débits pour peu que l'eau reste suffisamment oxygénée.

➤ Chabot commun

Le **chabot commun** (Figure 74) est un petit poisson de la famille des cottidés. On le retrouve depuis les zones de sources jusqu'aux rivières de piémont ou de plaine si celles-ci sont suffisamment courantes et présentent suffisamment de blocs rocheux et de pierres sous lesquelles il passe le plus clair de son temps. Il est naturellement absent des parties apicales de certains bassins versants du territoire. **Affectionnant les parties turbulentes des cours d'eau** (faciès de type radier, rapide voire plat courant), il est ainsi **assez sensible aux diminutions de débit**, qui tendent à faire diminuer ces surfaces.



Figure 74 : Chabot commun caché contre une pierre (source : EODD)

7.2.2.5 Fiches stations et courbes d'habitats

Pour chacune des stations étudiées, des fiches « station micro-habitats » synthétiques ont été produites.

Elles comporteront à terme trois pages :

- Page 1 : présentation de la station d'étude en termes de localisation, état des milieux aquatiques, hydromorphologie, hydrologie naturelle (reconstituée) ;
- Page 2 : paramètres d'entrée (mesures de terrain) et de sortie du modèle ESTIMHAB (courbes des paramètres hydrauliques normés et des SPU en fonction du débit) ;
- Page 3 : graphiques et tableaux de synthèse des pertes de SPU en situation de débit influencé, en comparaison de la situation naturelle, mois par mois, pour l'année moyenne et l'année quinquennale sèche. Ces pertes traduisent l'impact des variations de débits (en lien avec les usages de l'eau – prélèvements et rejets) sur l'habitat hydraulique des poissons.

7.2.3 Méthodologie pour la période hors basses eaux

Hors basses eaux, il faut s'assurer que même en conditions influencées, les débits permettent de préserver :

- Des niveaux d'eau suffisants pour assurer la circulation piscicole au printemps et à l'automne ;
- Des phases d'amélioration globale de la qualité du milieu par rapport à la situation de basses eaux (qualité, oxygénation, ...) ;
- Des épisodes de crue réguliers permettant la dynamique sédimentaire.

Les débits en basses eaux et hors basses eaux doivent donc être suffisamment contrastés.

Sur la base du document produit par l'OFB et l'INRAE début 2024, un protocole spécifique pour la période hors basses eaux a été proposé et est en cours d'application sur 10 stations du bassin versant (identiques aux stations Estimhab). Les résultats seront présentés dans une phase ultérieure.

Cette méthode permet d'étudier plusieurs enjeux liés aux espèces piscicoles évoluant en secteur salmonicole :

- Déclenchement de la migration de reproduction ;
- Continuité piscicole à la montaison ;
- Qualité des supports de ponte ;
- Conditions hydrauliques sur les frayères ;
- Densité des abris hydrauliques ;
- Renouvellement/maintien des habitats au sein du lit.

Le tableau suivant permet de synthétiser les indicateurs et les protocoles employés dans le cadre de cette méthode.

L'intégralité de la méthodologie est présentée dans la note technique jointe au rapport.

Pour la période hors basses eaux, les investigations sont toujours en cours. Aucun résultat n'est donc présenté à ce stade de l'étude.

Enjeu pour la faune aquatique en moyennes / hautes eaux	Indicateur pertinent	Méthodologie / protocole de mesure envisageables
Déclenchement de la migration de reproduction	Q10% (valeur, nombre de jours, nombre d'évènements, durée max des évènements)	Analyse uniquement hydrologique ; pas d'investigation de terrain.
Continuité piscicole à la montaison	Q _{fr} , débit permettant le franchissement des radiers naturels (nombre de jours, nombre d'évènements, durée max des évènements)	Mesure de hauteur d'eau sur veine principale de franchissement piscicole des faciès les plus contraignants, à 3 ou 4 débits. Comparaison avec tirants d'eau minimums du guide ICE.
Qualité des supports de ponte	Q _{crit} , débit critique de décolmatage (nombre de jours, nombre d'évènements, durée max des évènements)	Etablissement de la relation V=f(Q) sur 1 ou 2 frayères potentielles par mise en œuvre du protocole LAMMI (3 à 4 campagnes de mesures de H, V et L). Calcul de Q _{crit} correspondant à V _{crit} , vitesse de mise en mouvement des sédiments >2 cm.
Conditions hydrauliques sur les frayères	SPU _{frai} , surface pondérée utile au frai.	Mise en œuvre du protocole LAMMI (3 à 4 campagnes de mesures de H, V et L) sur 1 ou 2 frayères potentielles ; utilisation des courbes du stade « frai » pour la truite fario.
Densité des abris hydrauliques	Q _{cpb} , débit de connexion des deux pieds de berge à la lame d'eau (nombre de jours, nombre d'évènements, durée max des évènements)	Mesure de 15 largeurs de pied de berge. Utilisation de la courbe L=f(Q) produite par Estimhab pour relier L _{cpb} à Q _{cpb} .
Renouvellement / maintien des habitats au sein du lit	QJXA1, débit journalier de crue annuelle (valeur, nombre de jours, nombre d'évènements, durée max des évènements)	Analyse uniquement hydrologique ; pas d'investigation de terrain.

Remarque : Il est possible que la totalité des mesures proposées ne soient pas réalisées sur chacun des sites / cours d'eau choisis, du fait de l'absence de certains enjeux sur certains cours d'eau (absence de frayère potentielle par exemple).

Tableau 44 : Synthèse des indicateurs et des protocoles employés dans la méthode hors basses eaux

8. Volet usages

8.1 Alimentation en eau potable

8.1.1 Organisation de la gestion de l'eau

Cf. Carte 18 : Gestionnaires AEP

L'alimentation en eau potable (A.E.P.) des communes du bassin versant du Sornin s'effectue pour partie par l'intermédiaire de sources, principalement situées sur les hauteurs au Sud et Sud-Est du territoire. Cependant la faible production de celles-ci ne permet pas de subvenir à tous les besoins. Ainsi, des captages à l'extérieur du bassin, en bordure de Loire notamment, permettent d'alimenter la partie Nord et Sud-Ouest du bassin versant.

- Pour les 6 communes du Rhône en amont du bassin versant, l'alimentation en eau potable est essentiellement basée sur des sources gérées principalement par le Syndicat Intercommunal à Vocation Unique des Grosnes et du Sornin. La commune de Saint-Bonnet-des-Bruyères est en régie (sources communales).
- Concernant la Saône et Loire, l'alimentation en eau potable est répartie entre deux principaux maîtres d'ouvrage :
 - Le Syndicat Intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin qui regroupe 16 communes : environ 2/3 des besoins sont fournis par les eaux de sources localisées sur St-Maurice-les-Châteauneuf ; le complément est assuré par les puits de la Loire.
 - Le Syndicat Intercommunal des eaux du Brionnais (12 communes) : les eaux viennent des captages en bordure de Loire ;

Les communes de Chauffailles, la Clayette, Mars, Arcinges et Écoche sont alimentées en totalité ou pour partie par des captages propres. C'est le cas également de Matour et Montmelard sur la frange Nord-Est du bassin versant, cependant les captages de ces communes sont situés en dehors du bassin versant et n'alimentent pas les cours d'eau du bassin du Sornin.

- Pour la Loire, l'alimentation en eau potable est assurée par :
 - Le Syndicat Intercommunal d'Adduction et de Distribution d'eau de Pouilly-sous-Charlieu (SIADep) qui alimente 6 communes du bassin versant à partir de captages dans la nappe de la Loire.
 - Le Syndicat Intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin pour deux communes.
 - Les communes en régie propre (6 communes), à partir de sources situées sur leur territoire.

Les sources captées se répartissent essentiellement sur la frange Sud-Est et Est du bassin versant. Ce sont des sources d'altitude à faible productivité.

L'alimentation de certaines communes est complétée par des apports extérieurs.

Les bassins versants les plus sollicités sont ainsi ceux du Chandonnet, du Botoret (et affluents), du Sornin de Propières et de St-Igny, et dans une moindre mesure ceux du Mussy, du Sornin de St-Bonnet.

Les captages de St-Maurice-les Châteauneuf, Varennes-sous-Dun et Charlieu (bord de Sornin) sont les trois autres ressources internes au bassin versant.

Les « entrées » d'eau proviennent des captages situés en bord de Loire et gérés par le Syndicat du Brionnais et celui de Pouilly-sous-Charlieu.

Un faible volume d'eau, prélevé au sein du bassin versant, est vendu à l'extérieur (essentiellement depuis le captage de St-Maurice-les Châteauneuf).

Concernant, le bassin versant du Jarnossin

- Sur la frange Sud (bourg de Vougy et de Coutouve, quelques hameaux de Sevelinges), l'alimentation en eau potable est gérée par délégation à la Roannaise de l'Eau.
- Pour la frange Nord (Nandax, Boyer, Jarnosse etc.) l'AEP est assuré par le syndicat des Eaux de Pouilly-sous-Charlieu.

Il n'y a aucun captage AEP sur le bassin versant du Jarnossin.

Par rapport au nombre de communes adhérentes, le Syndicat Intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin est le gestionnaire le plus important sur la zone la zone d'étude (17 communes adhérentes).

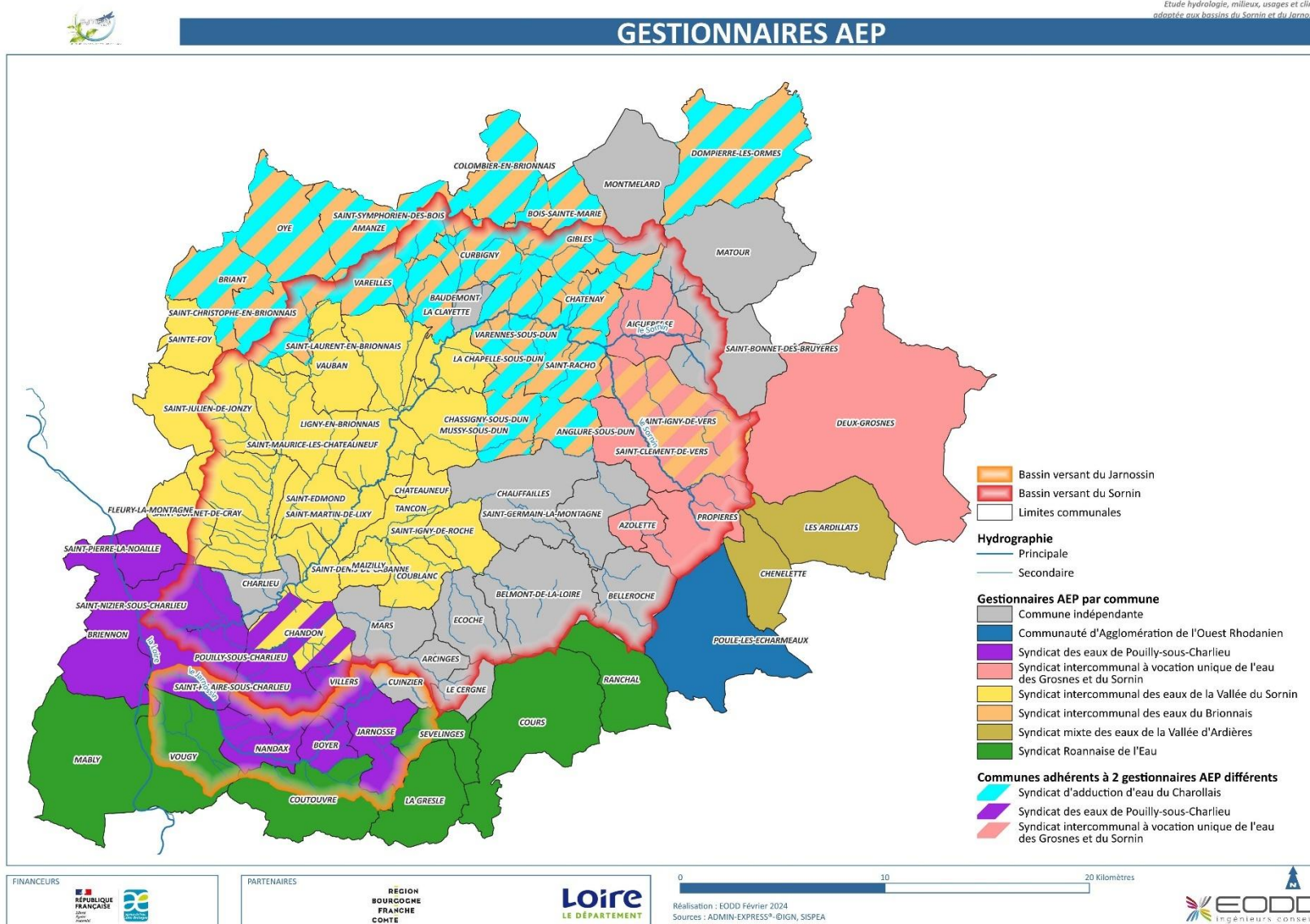
Enfin, 12 communes gèrent leur eau potable de façon indépendante.

Une synthèse de l'organisation de l'Alimentation en Eau Potable du bassin versant du Sornin et du Jarnossin est présenté dans le table suivant :

Syndicat et communauté de communes	Effectif BV Sornin	Effectif BV Jarnossin
Commune indépendante	12	0
Syndicat des eaux de Pouilly-sous-Charlieu	5	3
Syndicat intercommunal à vocation unique de l'eau des Grosnes et du Sornin	5	0
Syndicat intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin	17	0
Syndicat intercommunal des eaux du Brionnais	12	0
Syndicat Roannaise de l'Eau	0	3
Syndicat d'adduction d'eau du Charollais	12	0

Tableau 45 : Gestionnaires de l'eau potable dans la zone d'étude

Sur les dernières années, des tensions sur l'approvisionnement en eau potable ont été constatées dans les secteurs du Charollais et du Brionnais. Certaines communes du haut bassin versant du Sornin ont également eu recours au citernage (ex : Belmont-de-la-Loire).



Carte 18 : Gestionnaires AEP

8.1.2 Principaux échanges

Cf. Carte 19 : Prélèvements en eau potable et mouvements d'eau dans les bassins versants

Les principaux échanges d'eau sur et en dehors du territoire d'étude sont représentés sur la Carte 19 ci-après.

Les importations d'eau depuis l'extérieur du territoire (notamment la rive droite de la Loire) représentent les principaux transferts.

Pour le Sornin, ces importations ont représenté en 2022 :

- Environ 1 Mm³ importé par le Syndicat intercommunal des eaux du Brionnais (Puits de Baugy (Marcigny les Chenoux) et de Puits de Baugy (Chambilly les Chambons) et 2 Mm³ importés par le Syndicat d'adduction d'eau du Charollais (puits de Vindecy et de Varenne-St-Germain) ;
→ Une consommation de 282 000 m³/an en 2022 a été comptabilisée sur les 11 communes présentes sur le BV du Sornin associés à ces deux syndicats. Les volumes restants sont consommés sur l'ensemble du syndicat d'adduction d'eau du Charollais et Syndicat intercommunal des eaux du Brionnais
- le **Syndicat intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin** prélève environ 852 342 m³/an dont environ 463 000 m³/an sur le bassin versant du Sornin (captages de SAINT MAURICE SOURCE 1). Une consommation de 423 000 m³/an en 2022 a été comptabilisée sur les 17 communes présentes sur le bassin versant du Sornin. Ce besoin est donc à priori assuré par les captages de SAINT MAURICE SOURCE 1. Il est donc estimé qu'environ 0 m³ sont importés sur le bassin versant du Sornin.
- Environ 244 000 m³ importé par le Syndicat des eaux de Pouilly sous Charlieu et consommé sur le bassin versant du Sornin. Cette consommation a été comptabilisée sur les 4 communes présentes sur ce territoire.

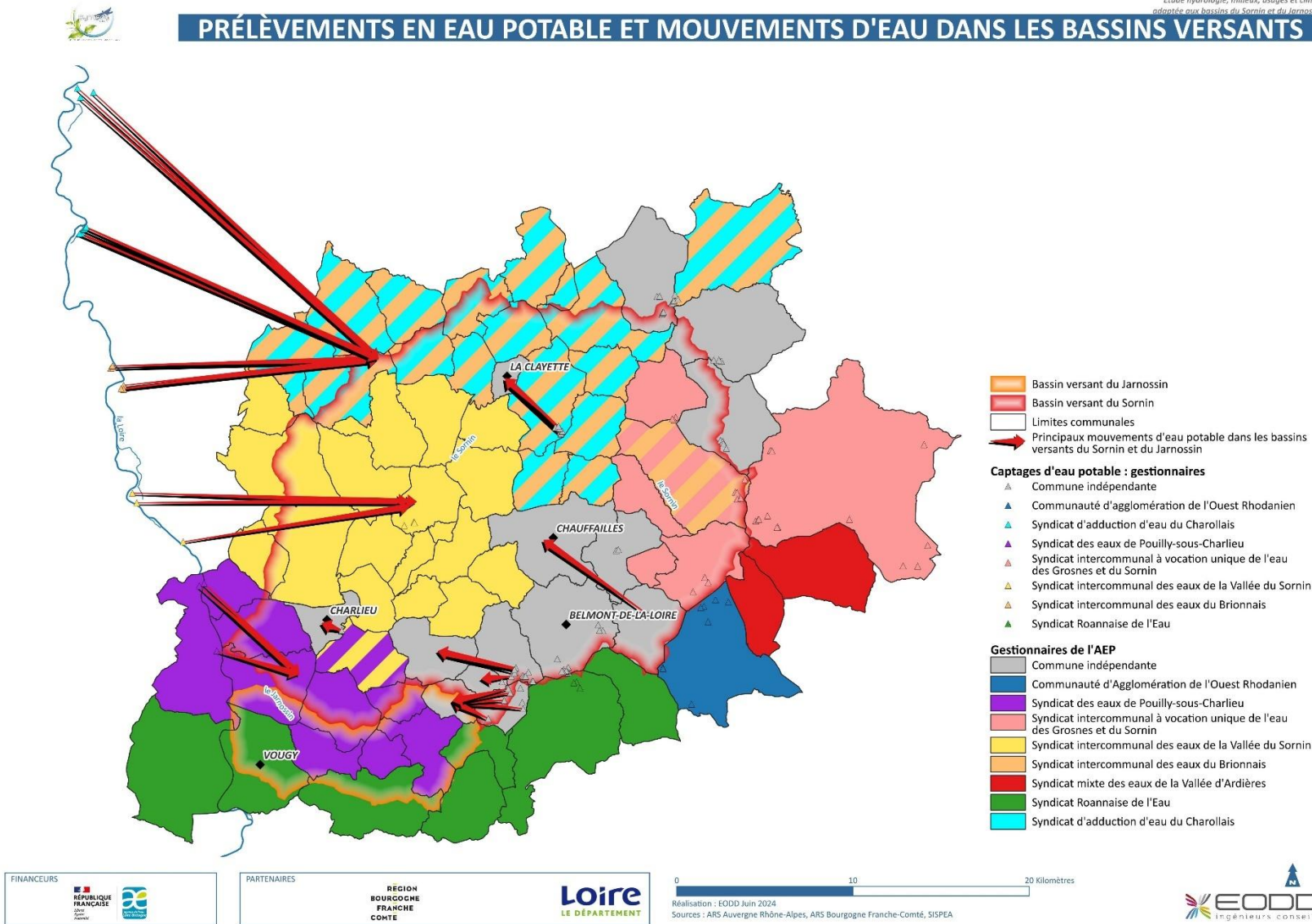
Pour résumer, le volume entrant sur le bassin versant du Sornin et prélevé dans des ressources extérieures est d'environ 526 000 m³/an (issus du Syndicat intercommunal des eaux du Brionnais et du Syndicat des eaux de Pouilly sous Charlieu).

Plusieurs transferts en interne sont réalisés, on note notamment :

- Syndicat intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin exporte environ 86 702 m³ vers les communes de Chauffailles, la Clayette, Mars et Belmont de la Loire

Le bassin versant du Jarnossin est alimenté uniquement par des prélèvements extérieurs, pour un volume total d'environ 232 280 m³/an. Son bilan est donc « négatif » à 100%, aucun volume « exporté » n'est recensé.

- 88 480 m³ (38%) Roannaise de l'eau ;
- 143 800 m³ (62%) Syndicat des eaux de Pouilly sous Charlieu.



Carte 19 : Prélèvements en eau potable et mouvements d'eau dans les bassins versants

8.1.3 Etat des réseaux

L'état des réseaux est variable mais semble plutôt bon pour ce territoire essentiellement rural (Tableau 46), avec des rendements proches de ou supérieurs à 80%, et un indice linéaire de perte le plus souvent inférieur à 1 m³/j/km (Tableau 47).

Note : pour les plus gros syndicats, les rendements peuvent varier suivant les secteurs. Les valeurs indiquées dans le Tableau 46 sont celles relatives aux entités de gestion concernant le territoire d'étude lorsque cette information existe.

Des marges d'amélioration semblent toutefois possibles sur certains secteurs.

Gestionnaire	RPQS le plus récent	Rendement (%)	Indice linéaire de pertes (m ³ /j/km)	Linéaire de réseaux à considérer (km)
ARCINGES	2020	92,9	0,2	11,9
BELLEROUCHE	2021	68,7	0,94	18,6
BELMONT-DE-LA-LOIRE	2022	80,7	0,76	58,2
CHARLIEU	2018	94,3	0,9	38
CHAUFFAILLES	2021	84,9	1,22	76,8
CA OUEST RHODANIEN	2022	76,4	1,02	36,4
CUINZIER	2022	84,3	0,75	20,9
ECOUCHE	2014	82	1	18,6
LA CLAYETTE	2022	70	4,57	22
LE CERGNE	2022	85	0,7	19,5
MARS	2021	82,4	0,6	29
MONTMELARD	2022	93,1	0,1	32,5
SAINT-GERMAIN-LA-MONTAGNE	2017	75,5	0,8	7,9
SYNDICAT D'ADDUCTION D'EAU DU CHAROLLAIS	2022	?	?	83
SYNDICAT DES EAUX DE POUILLY-SOUS-CHARLIEU	2022	84,2	0,8	330,1
SIVU DE L'EAU DES GROSNES ET DU SORNIN	2022	73,8	0,98	233,3
SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DE LA VALLEE DU SORNIN	2022	80,2	0,81	524
SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DU BRIONNAIS	2019	64,4	2	976
SYNDICAT MIXTE DES EAUX DE LA VALLEE D'ARDIERES	2022	79,3	1,6	398,9
SYNDICAT ROANNAISE DE L'EAU	2022	76,6	1,42	1491

Tableau 46 : Etat des réseaux sur le territoire d'étude (données issues des RPQS)

Indice linéaire de perte (m ³ /j/km)	Réseau rural (< 50 branchements par km)	Réseau intermédiaire (50 à 125 branchements par km)	Réseau urbain (> 125 branchements par km)
Bon	< 1,5	< 3,0	< 7,0
Acceptable	1,5 - 2,5	3,0 - 5,0	7,0 - 10,0
Médiocre	2,5 - 4,0	5,0 - 8,0	10,0 - 15,0
Mauvais	> 4,0	> 8,0	> 15,0

Tableau 47 : Classification de l'indice linéaire de perte (référentiel du Laboratoire Gestion de l'Eau et de l'Assainissement, 2006)

Pour rappel, la disposition du SDAGE LB 2022-2027 mentionne que « ...Le rendement primaire des réseaux d'eau potable doit continuer à être amélioré et dépasser les valeurs de 75 % en zone rurale et de 85 % en zone urbaine. Dans les zones rurales où le linéaire de réseau est important pour un nombre d'abonné réduit, un rendement moindre peut être accepté sous réserve que l'indice linéaire de perte soit très faible. ».

8.1.4 Besoins en eau théoriques

Les réseaux d'Alimentation en Eau Potable ne fournissent pas que les usagers domestiques. Les activités qu'elles soient industrielles ou artisanales et les exploitations agricoles sont aussi à prendre en compte. L'estimation des besoins théoriques doit donc tenir compte de ces différentes catégories d'utilisateurs.

Des besoins en eau théoriques peuvent être estimés à l'échelle communale en fonction de la population et des activités. Cette estimation pourra être comparée aux prélèvements effectués par les gestionnaires pour une analyse des éventuels écarts, et proposer une estimation des volumes prélevés au niveau des captages qui ne sont pas suivis.

8.1.4.1 Calculs théoriques

8.1.4.1.1 Besoin domestique (= besoin lié à la population)

Le service public d'information sur l'eau (« Eaufrance ») indique que la consommation en eau en 2022 d'un français à son domicile est d'environ 150 litres par jour (entre 143 et 150 l/j suivant les années) soit **54,6 m³/an**. Cette eau est destinée à l'hygiène (au sens large : ménage, lessives, douches ...) pour 87%, à la préparation des aliments et la boisson (7%) et à l'arrosage des plantes (5 à 6%).

Les schémas départementaux concernant l'Alimentation en Eau Potable de la Loire, du Rhône et de la Haute-Saône présentent une consommation plutôt voisine de 120 l/j/habitant.

Sur la base de la population du territoire du Sornin et du Jarnossin (33 000 habitants) et de la consommation locale (120 l/j), un **besoin théorique de l'ordre de 1,5 millions de m³/an est estimé**.

Pour assurer la distribution aux différents foyers, il faut tenir compte des pertes se produisant au niveau de la production et des réseaux. L'Agence de l'eau fixe un objectif de rendement de 75 % en milieu rural, cela signifie que pour livrer un volume de 1 l il faut transporter initialement un volume de 1,33 l. Autrement dit pour une livraison de l'ordre de 120 l/j il faut considérer un prélèvement de 160 l/j en incluant le paramètre « distribution » (rendement de réseaux).

Appliqué aux bassins versants du Sornin et du Jarnossin, cela équivaldrait à un besoin en eau de l'ordre de 1,9 millions de m³/an.

8.1.4.1.2 Besoins agricoles

L'élevage sollicite les réseaux AEP notamment en hiver ou lors de période très sèche. Une estimation des besoins en eau pour l'élevage est détaillée dans le chapitre sur les besoins agricoles. Peu de données permettent de préciser quelle part de ce besoin est satisfaite par le réseau d'eau potable : cela peut varier notablement en fonction du type de production, des pratiques de l'exploitant agricole, de la localisation des bâtiments d'élevage et de la disponibilité ou non de ressources en eau autres que le réseau d'eau potable.

La répartition des besoins de l'agriculture en fonction du type de prélèvement (ressource naturelle ou réseau AEP) est estimée dans le chapitre dédié aux besoins agricoles (cf. 8.3.3).

Selon les données récoltées dans les RPQS et auprès des gestionnaires à ce stade de l'étude, il est possible d'établir la synthèse suivante sur les besoins agricoles satisfaits à partir des réseaux d'eau potable (tableau ci-après) :

Captage	Gestionnaire	Volume pour l'usage agricole (m ³ /an)	Volume total prélevé (m ³ /an)	% volume prélevé	Sources
LA FAUX – SOURCE 1	LA CLAYETTE	0	70 501	0	Gestionnaire
P1 CHARLIEU	CHARLIEU	557	224 093	0,24	Gestionnaire
PETITS ECHARMEAUX A BELLEROCHÉ	BELLEROCHÉ	2863	8 107	45,67	Gestionnaire
FONT CHARBONNIER 1 ECOCHÉ – MARS (2022)	ARCINGES + ECOCHÉ + MARS	1000	43 125	2,37	Gestionnaire
CHADELLE BELMONT BS	BELMONT-DE-LA-LOIRE	2317	77 312	2,78	Gestionnaire
SAINTE MAURICE SOURCE 1 + puits en bords de Loire	SYNDICAT DES EAUX DE LA VALLEE DU SORNIN	76 298	852 342	8,95	Veolia (M. SOUPE)
Total :	-	83 035	1 275 480	6,51	-

Pour les quelques données traitées à ce stade, les besoins agricoles représenteraient environ 7 % des prélèvements effectués pour l'AEP. En extrapolant ce pourcentage au total des prélèvements (et importations) AEP (soit environ 1.6 à 1.8 Mm³/an pour le Sornin et 0.24 Mm³/an pour le Jarnossin), **les besoins agricoles satisfaits à partir des réseaux AEP seraient de 110 000 à 130 000 m³ /an sur le bassin versant du Sornin et environ 15 000 à 20 000 m³/an sur le bassin versant du Jarnossin.**

Note : A l'échelle du SI des Eaux de la vallée du Sornin, la consommation moyenne par habitant est de 131 l/j en prenant en compte la consommation des pâturages. Elle n'est que de 111 l/hab/j. sans les volumes associés aux pâturages (source : VEOLIA – M. SOUPE). Les volumes associés aux pâturages représenteraient donc environ 15% des volumes « facturés » (ou distribués) pour l'AEP par ce Syndicat.

8.1.4.1.3 Besoins industriels

Les activités industrielles sont peu nombreuses sur le territoire avec notamment 80 Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) recensées (source : georisque.gouv.fr). Elles sont majoritairement situées à proximité des pôles démographiques (Charlieu, Chauffailles, la Clayette, ...). Ces installations ont des fonctions diverses, mais la plupart sont liées à l'activité industrielle.

Selon les données récoltées dans les RPQS et auprès des gestionnaires, il est possible d'établir la synthèse suivante sur les besoins industriels :

Captage	Gestionnaire	Volume pour l'usage industriel (m ³ /an)	Volume total prélevé (m ³ /an)	% volume prélevé	Sources
LA FAUX – SOURCE 1	LA CLAYETTE	3 394	70 501	0,80	Gestionnaire
P1 CHARLIEU	CHARLIEU	22 574	224 093	6,40	Gestionnaire
PETITS ECHARMEAUX A BELLEROCHÉ	BELLEROCHÉ	0	8 107	0	Gestionnaire
FONT CHARBONNIER 1 ECOCHÉ – MARS (2022)	ARCINGES + ECOCHÉ + MARS	0	43 125	0	Gestionnaire
CHADELLE BELMONT BS	BELMONT-DE-LA-LOIRE	6 403	77 312	1,82	Gestionnaire

Total :	-	32 371	423 138	7,65	-
----------------	---	---------------	----------------	-------------	---

Sur la base des données disponibles, les besoins industriels représenteraient en moyenne 7 à 8% des prélèvements AEP, soit environ 103 000 m³/an à l'échelle du bassin versant du Sornin.

8.1.4.1.4 Besoins « autres usages (services) »

Les bâtiments publics à vocation de services publics sont nombreux sur le territoire (hôpital, piscine, maison de retraite, salle des fêtes etc...). Elles sont majoritairement situées à proximité des pôles démographiques (Charlieu, Chauffailles, la Clayette, ...).

Selon les données récoltées dans les RPQS et auprès des gestionnaires, il est possible d'établir la synthèse suivante sur les besoins de services :

Captage	Gestionnaire	Volume pour l'usage services (m ³ /an)	Volume total prélevé (m ³ /an)	% volume prélevé	Sources
LA FAUX – SOURCE 1	LA CLAYETTE	15 351	70 501	4,35	Gestionnaire
P1 CHARLIEU	CHARLIEU	11 677	224 093	3,31	Gestionnaire
PETITS ECHARMEAUX A BELLEROCHÉ	BELLEROCHÉ	0	8 107	0	Gestionnaire
FONT CHARBONNIER 1 ECOCHÉ – MARS (2022)	ARCINGES + ECOCHÉ + MARS	0	43 125	0	Gestionnaire
CHADELLE BELMONT BS	BELMONT-DE-LA-LOIRE	1 861	77 312	0,52	Gestionnaire
Total :	-	28 889	423 138	6,83	-

Sur la base des informations traitées, les besoins de services représenteraient en moyenne à 6 à 7% des prélèvements AEP totaux, soit environ 92 000 m³/an sur le bassin versant du Sornin.

8.1.4.1.5 Synthèse des besoins AEP

Les besoins totaux à satisfaire depuis les réseaux AEP (volume annuel et répartition mensuelle) peuvent être approchés à l'échelle communale en sommant :

- Les besoins liés à l'usage domestique (répartition mensuelle relativement constante tout au long de l'année) ;
- Une partie des besoins agricoles (élevage) et industriels (entreprise) ;
- Une partie des besoins des autres services (piscine, hôpital etc..).

Compte tenu des hypothèses retenues, les estimations des besoins satisfaits à partir des réseaux AEP sont les suivantes :

- Environ 1,9 millions de m³/an pour les besoins liés à la population ;
- Entre 272 500 m³/an (année moyenne) pour l'agriculture sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin ;
- Environ 103 000 m³/an pour l'industrie ;
- Environ 92 000 m³/an pour les services (piscine, Hospital etc....).

Les besoins totaux (tous usages) satisfaits à partir des réseaux AEP sont estimés à 2,5 Mm³/an en année moyenne sur le bassin versant du Sornin et du Jarnossin.

8.1.5 Prélèvements recensés

Cf. Carte 20 : Prélèvements en eau potable

Afin de caractériser au mieux les prélèvements liés à l'Alimentation en Eau potable, plusieurs sources de données ont été exploitées.

- Données BNPE : Elle fournit des volumes prélevés **annuellement** sur la base des déclarations des gestionnaires. Ces volumes peuvent correspondre à un ou plusieurs points de captages suivant les équipements exploités. Pour l'AEP, le volume est affecté géographiquement au centroïde de la commune (et non pas au(x) point(s) de captage concerné. Les données sont disponibles Sa chronique s'étend de 2008 à 2022.
- Données issues du portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) ; chaque prélèvement dispose d'un code spécifique qui a permis de lier les données avec celles de la BNPE. Cette base a permis d'attribuer plus précisément les prélèvements à un bassin versant ou sous-bassin versant.
- Données issues des RPQS des différents gestionnaires des captages. Cette donnée permet de mieux caractériser les prélèvements et de les attribuer plus précisément aux ouvrages exploités. Elle permet également de caractériser les variations mensuelles, et de préciser les volumes mis en distribution sur les réseaux et facturés aux usager (volumes consommés).
- Le Schéma Départemental d'Alimentation en Eau Potable de Saône-et-Loire avec des fiches par unité de gestion (commune ou SIAEP dans ce cas) qui ont permis de compléter les autres données collectées.
- Le site Atlasanté via son outil Cart'Eaux qui permet de localiser précisément le point de prélèvement et de l'attribuer à un gestionnaire.

A partir de ces différentes sources de données, 67 prélèvements d'eau potable actifs et présentant des volumes sur la période 2018-2022 ont été recensés sur le bassin versant du Sornin. Rappelons qu'aucun prélèvement d'eau potable n'est présent sur le bassin du Jarnossin.

De nombreux captages sont localisés sur les têtes de bassins versants, notamment en amont des affluents rive Gauche du Sornin. Il s'agit surtout de de source (68%).

Les autres prélèvements sont des forages en nappe profonde ou en nappe alluviale, comme dans la nappe alluviale du Sornin (Charlieu).

8.1.6 Répartition des volumes prélevés au pas de temps mensuels

Dans le cadre de cette étude, les analyses quantitatives sont effectuées au pas de temps mensuel.

Lorsque l'information est disponible, les volumes prélevés mensuellement au niveau de chaque captage ont directement été saisis dans la base de données constituée pour cette mission.

Concernant les captages pour lesquels la répartition mensuelle n'était pas disponibles, étant tous situés sur la tête de bassin versant Sud du Sornin, la répartition mensuelle des volumes annuels prélevés a été faite sur la base de celles constatées pour les sources de Saint-Germain-la-Montagne (contexte équivalent).

Le tableau ci-dessous présente les données issues des RPQS pour lesquelles une répartition mensuelle des prélèvements était indiquée :

Nom captage	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
SAINT MAURICE SOURCE 1	17 772	17 179	17 165	41 005	46 184	45 146	63 072	48 640	56 069	41 732	34 915	33 555	462 434
	4%	4%	4%	9%	10%	10%	14%	11%	12%	9%	8%	7%	100%
LA FAUX – SOURCE 1	9 994	9 690	9 531	6 402	5 823	4 342	2 782	3 233	2 759	3 745	3 623	2 350	64 274
	16%	15%	15%	10%	9%	7%	4%	5%	4%	6%	6%	4%	100%
P1 CHARLIEU	19 348	16 557	18 843	17 950	20 421	19 174	19 127	16 922	18 599	18 474	18 062	20 617	224 094
	9%	7%	8%	8%	9%	9%	9%	8%	8%	8%	8%	9%	100%
LES SAPINS ST GERMAIN/MONTAGNE	762	495	648	637	927	540	640	684	517	564	418	594	7426
	10%	7%	9%	9%	12%	7%	9%	9%	7%	8%	6%	8%	100%
Total :	47 876	43 921	46 187	65 994	73 355	69 202	85 621	69 479	77 944	64 515	57 018	57 116	758 228
Total % :	6%	6%	6%	9%	10%	9%	11%	9%	10%	9%	8%	8%	100%

Données des captages AEP au pas de temps mensuels

On observe une variation parfois importante saisonnière entre les prélèvements AEP du mois de janvier et ceux de juillet. Ces variations sont toutefois hétérogènes suivant les secteurs.

Elles peuvent s'expliquer par l'augmentation de certains usages : agricoles (abreuvement), abonnés domestiques (arrosage, remplissage piscine etc...), accueil touristique ...

8.1.7 Synthèse sur les prélèvements AEP

On estime en moyenne sur les dix dernières années un volume prélevé de 1 023 000 m³ pour l'alimentation en eau potable sur bassin versant du Sornin.

Ces prélèvements sont répartis de la manière suivante :

- Environ 327 000 m³ (32%) en nappe alluviale du Sornin (Charlieu) ;
- Environ 695 000 Mm³ (68%) sur sources en tête de bassin versant.

Sur l'année 2022, on compte environ 1 205 000 m³ prélevés qui représente l'année avec la plus grosse consommation.

Concernant le bassin versant du Jarnossin, aucun prélèvement pour l'alimentation en eau potable n'est présent sur le territoire. On estime à **233 000 m³/an** le volume distribué en 2022 sur ce bassin versant et 240 000 en 2021. Ces prélèvements sont répartis entre les deux gestionnaires suivantes :

- 88 480 m³ (38%) Roannaise de l'eau ;
- 143 800 m³ (68%) Syndicat des eaux de Pouilly sous Charlieu.

En termes d'évolution, l'historique des prélèvements AEP sur le bassin versant du Sornin est repris ci-dessous (Figure 67 – source : BNPE + RPQS) :

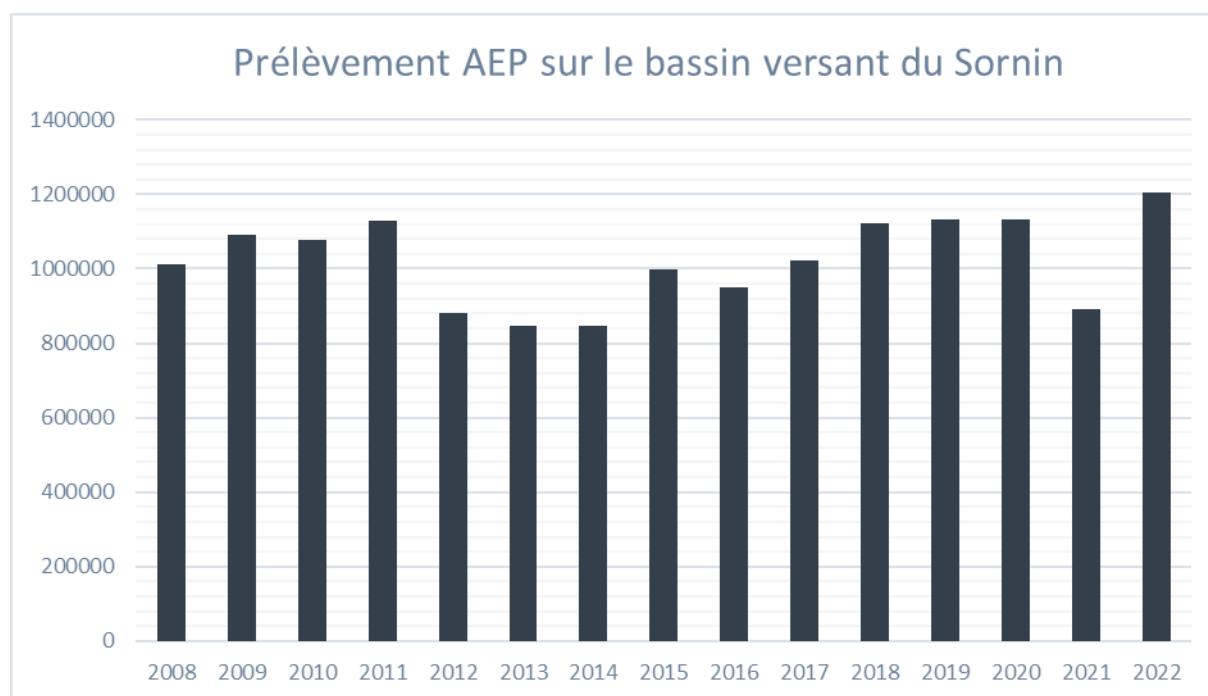


Figure 75 : Synthèse des prélèvements réalisés sur le bassin versant du Sornin depuis 2008

On observe depuis une dizaine d'années une tendance à l'augmentation des prélèvements AEP sur le bassin versant du Sornin. Cette tendance pourra être confirmée (ou non) sur la base des bilans plus récents.

L'année 2021 présente un prélèvement inférieur aux précédentes (892 000 m³). Cette baisse s'explique par la diminution notable des prélèvements réalisés sur le captage de SAINT-MAURICE-LES-CHATEAUNEUF (-200 000 m³ environ). Ce volume déficitaire a été compensé par un volume importé plus important issu des captages du syndicat intercommunal des eaux de la Vallée du Sornin.

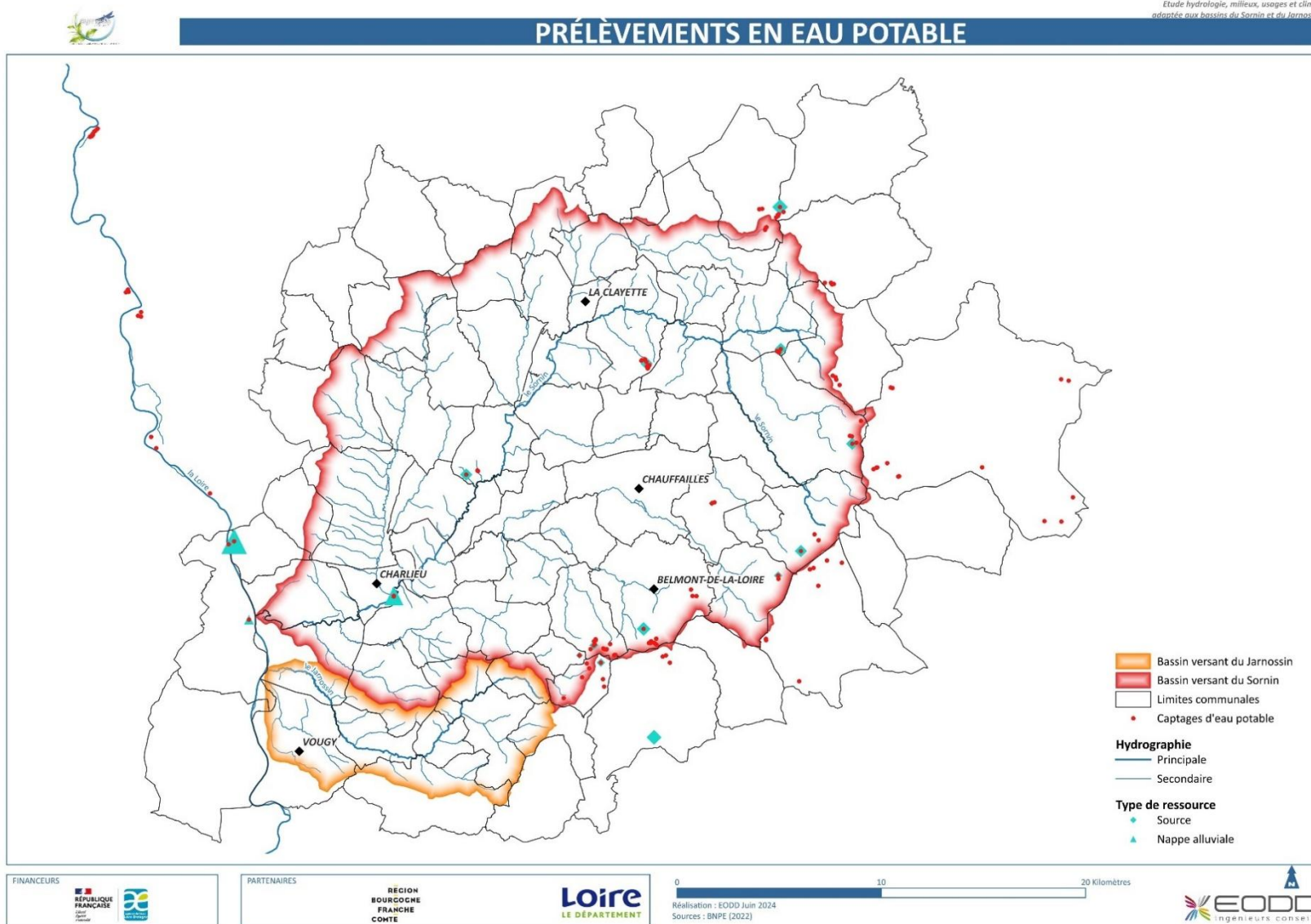
8.1.1 Synthèse des volumes prélevés et distribués

Une synthèse des données issues de l'exploitation des RPQS est présenté ci-dessous :

L'approvisionnement pour l'alimentation en eau potable représente environ 1.6 Mm³/an sur le bassin versant du Sornin dont 526 000 m³/an prélevés en dehors du bassin versant du Sornin et environ 1,02 Mm³ prélevés sur le bassin versant.

Entre 230 000 et 240 000 m³/an sont importés pour l'AEP sur le bassin versant du Jarnossin.

Captage	Gestionnaire	Code Sandre	Abonnés	Volume total produit en 2022 (m ³ /an)	Volume importé (m ³ /an)	Volume mis en distribution (V4)	Perte (V5)	Volume consommé autorisé (V6)
LA FAUX – SOURCE 1	LA CLAYETTE	OPR0000083275	1 208	70 501	47 943	118 444	28 025	90 671
P1 CHARLIEU	CHARLIEU	OPR0000591520	2 268	224 093	7 840	231 933	0	213 973
PETITS ECHARMEUX A BELLEROCHÉ	BELLEROCHÉ	OPR0000082312	227	17 078	0	17 078	1 460	15 618
FONT CHARBONNIER 1 ECOCHÉ (2022)	ARCINGES + ECOCHÉ + MARS	OPR0000082320	802	80 907	3 276	81 749	21 883	59 866
CHADELLE BELMONT BS	BELMONT-DE-LA-LOIRE	OPR0000082256	889	77 312	6 120	83 432	16 092	67 340
SAINT MAURICE SOURCE 1	SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DE LA VALLEE DU SORNIN	OPR0000083265	4 735	462 434	14 894	462 434	-	422 324
MERGANE 1	SYNDICAT INTERCOMMUNAL A VOCATION UNIQUE DE L'EAU DES GROSNES ET DU SORNIN	OPR0000083221	?	64 720	?	?	?	?
BRIDAY 1		OPR0000083219	?	64 694	?	?	?	?
LES SAPINS ST GERMAIN/MONTAGNE	SAINT-GERMAIN-LA-MONTAGNE	OPR0000082288	102	8 107	0	8107	1 838	6 269
AULAS	SYNDICAT INTERCOMMUNAL A VOCATION UNIQUE DE L'EAU DES GROSNES ET DU SORNIN	OPR0000083218	?	64 692	?	?	?	?
TREVANDRE 1 ARCINGES	ARCINGES	OPR0000082316	122	9 186	552	9 738	689	9 049
FONTIMPE LA GOUTTE LE CERGNE	CUINZIER + LE CERGNE	OPR0000082313	?	13 288	?	?	?	?
SOURCE 4 – DOMPIERRE	MONTMELARD	OPR0000586468	?	97 621	?	?	?	?
Drain SNCF Chauffailles	Chauffailles	OPR0000082312	?	?	?	?	?	?
Total :		=		=		=		



Carte 20 : Prélèvements en eau potable

8.2 Industrie

Cf. Carte 21 : Prélèvements industriels

Cf. Carte 22 : Installations industrielles

Il n'existe aucun prélèvement industriel sur le territoire d'étude.

Les activités industrielles sont toutefois nombreuses avec notamment 80 Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) recensées (source : georisque.gouv.fr).

Elles sont majoritairement situées à proximité des pôles démographiques (Charlieu, Chauffailles, la Clayette, ...)

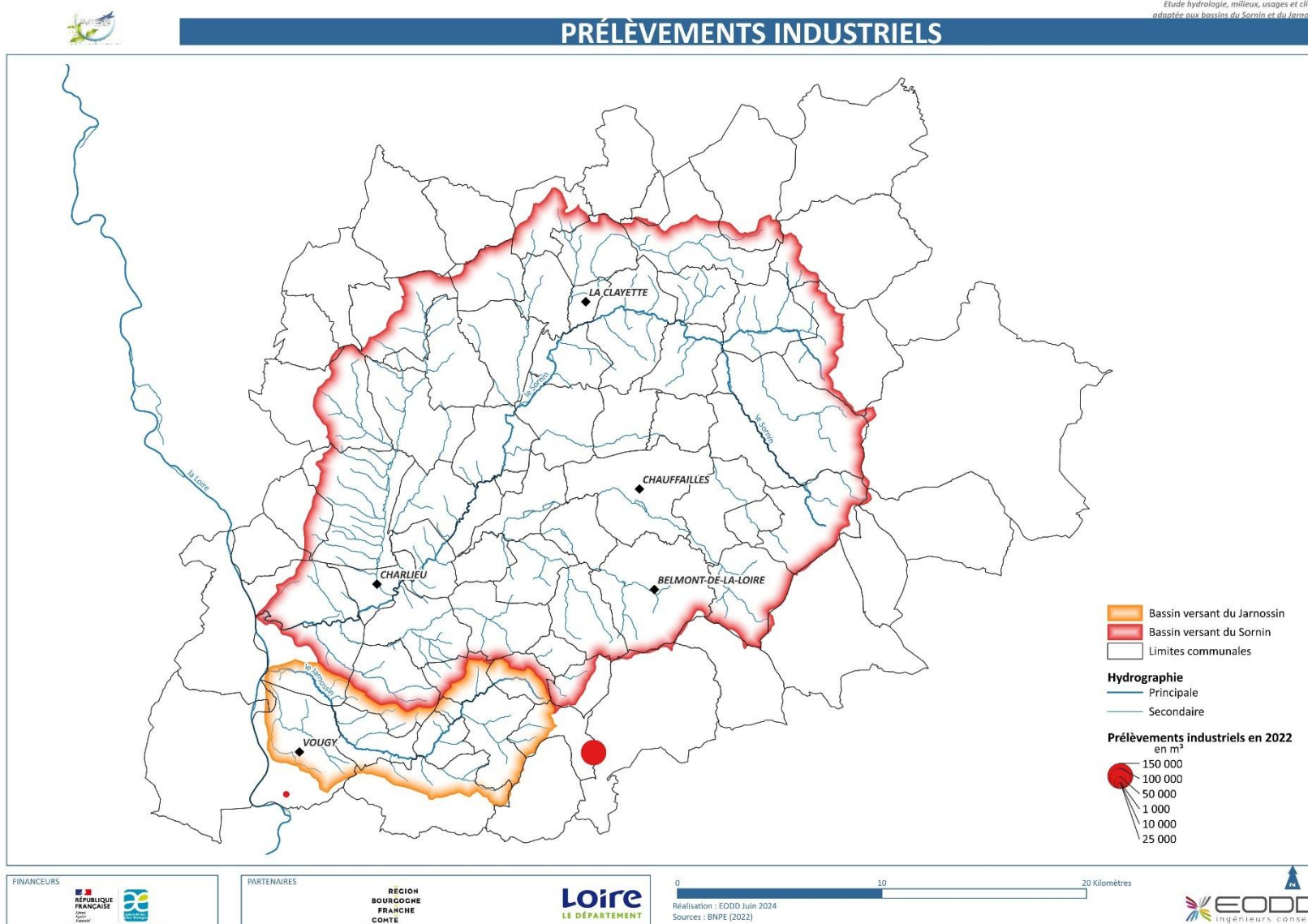
Les activités sont variées (Tableau 48).

ICPE par type d'activités	Nombre d'installations sur le territoire d'étude
Culture et production animale, chasse et services annexes	10
Travail du bois et fabrication d'articles en bois et en liège, à l'exception des meubles ; fabrication d'articles en vannerie et sparterie	7
Fabrication de machines et équipements n. c. a.	4
Collecte, traitement et élimination des déchets ; récupération	3
Génie civil	3
Travaux de construction spécialisés	2
Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles	2
Administration publique et défense ; sécurité sociale obligatoire	2
Industries alimentaires	1
Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements	1
Réparation et installation de machines et d'équipements	1
Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles	1
Commerce de gros, à l'exception des automobiles et des motocycles	1
Activités de location et location-bail	1
Activités créatives, artistiques et de spectacle	1
Activités des organisations associatives	1
Autres	39
TOTAL	80

Tableau 48 : ICPE par type d'activité (en grisé = activité liée au domaine de l'industrie)

En l'absence de prélèvements identifiés, leurs besoins en eau seraient entièrement satisfaits par les réseaux d'alimentation en eau potable (cf. § précédent).

Ce point méritera d'être précisé par des enquêtes complémentaires auprès des gestionnaires AEP.



Carte 21 : Prélèvements industriels



Carte 22 : Installations industrielles

8.3 Agriculture

8.3.1 Contexte agricole

Cf. Carte 23 : Occupation agricole du sol

L'analyse du contexte agricole actuel (et de ses évolutions récentes) a été réalisée à partir :

- Des données du Recensement Général Agricole (RGA) de 2010 et 2020 ;
- Des données du Registre Parcellaire Graphique (2022) ;
- Des données BNPE ;
- D'hypothèses validées lors d'études antérieures (ex. HMUC Dore).

Ces différentes données ont été traitées à l'échelle des masses d'eau du territoire d'étude.

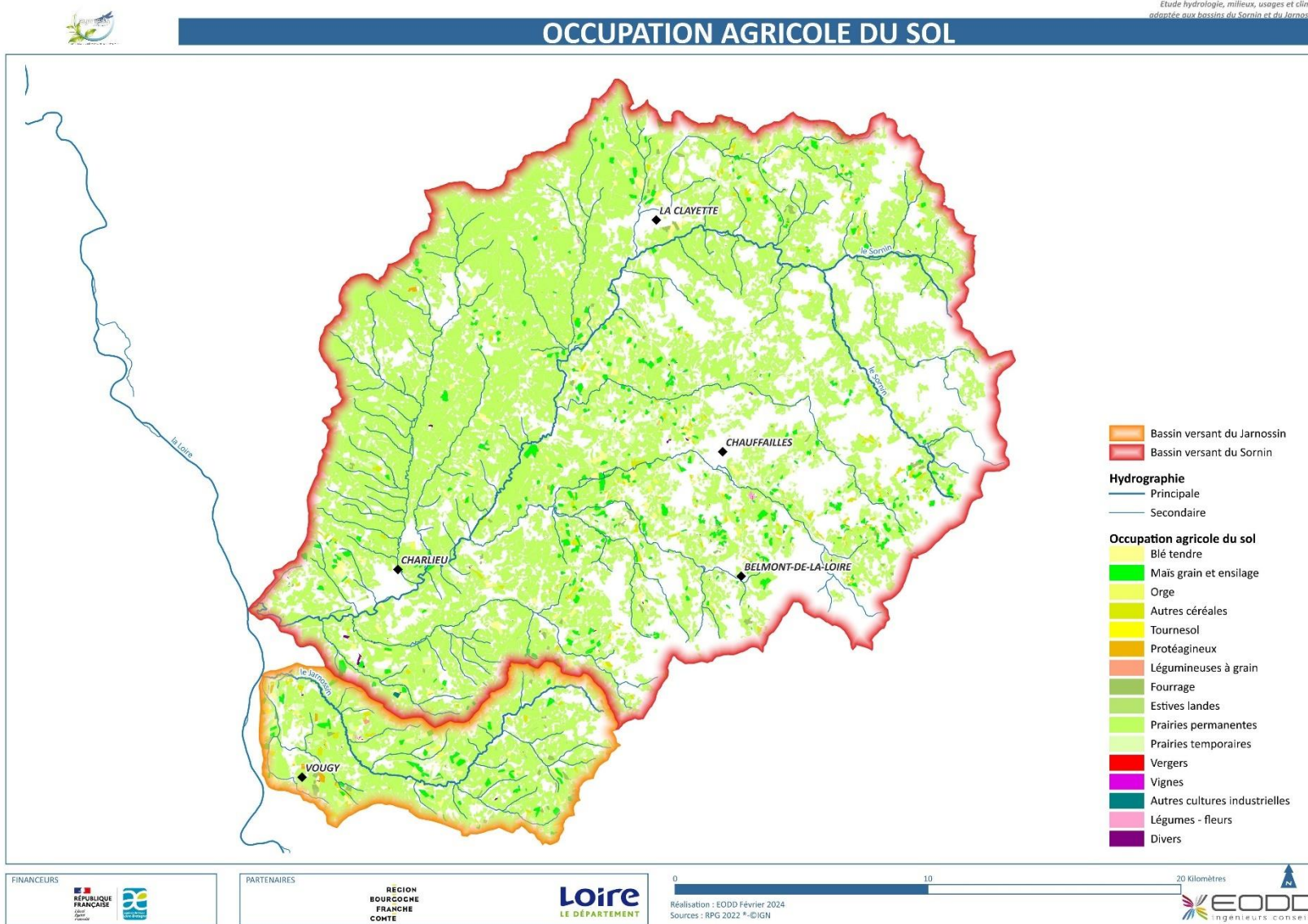
L'objectif de cette démarche est de pouvoir caractériser le plus précisément possible les besoins et prélèvements en eau pour l'agriculture, sur la base d'hypothèses de répartition du cheptel (besoin d'élevage), des cultures (besoins d'irrigation) et des bâtiments d'exploitation associés.

Comme présenté dans le chapitre 4.3 Occupation du sol, les surfaces agricoles déclarées à la PAC représentent environ 36 800 ha sur le territoire d'étude (soit environ 63% de la surface totale des bassins versants).

Près de 90% de ces surfaces agricoles sont des prairies permanentes dédiées à l'élevage, le reste étant majoritairement des cultures céréalières (Tableau 49).

NATURE DE CULTURE	SURFACE (en ha)	PART
Prairies permanentes	32827,0	89,3%
Prairies temporaires	1272,0	3,5%
Maïs grain et ensilage	1028,6	2,8%
Blé tendre	589,7	1,6%
Autres céréales	538,2	1,5%
Fourrage	228,4	0,6%
Orge	154,0	0,4%
Estives landes	39,1	0,1%
Divers	31,7	0,1%
Protéagineux	27,7	0,1%
Légumes - fleurs	15,2	0,04%
Tournesol	5,1	0,01%
Autres cultures industrielles	4,3	0,01%
Légumineuses à grain	3,5	0,01%
Vignes	0,1	0,00%
Vergers	0,1	0,00%

Tableau 49 : Répartition des surfaces agricoles sur le territoire d'étude (source : RPG 2022)



Carte 23 : Occupation agricole du sol

8.3.2 Irrigation

Cf. Carte 24 : Prélèvements irrigation

3 prélèvements destinés à un usage irrigation ont été identifiés dans la BNPE sur le territoire d'étude (Tableau 50).

Nom du prélèvement (BNPE)	Commune	Masse d'eau concernée	Ressource prélevée	Type de prélèvement	Volume annuel retenu (m ³) (Moy 2008-2022)
LA BARAQUE	Nandax	Jarnossin	Eau souterraine	Captage sur source	21 445
ETANG DE LA BARONNE	Nandax	Jarnossin	Eau superficielle	Pompage dans une retenue sur cours d'eau	6 000
MORLAND	Coutouvre	Jarnossin	Eau superficielle	/	0

Tableau 50 : Prélèvements irrigation recensés

Les gestionnaires de ces prélèvements ont été contactés afin de compléter nos informations (Tableau 51) :

Nom du prélèvement (BNPE)	Gestionnaire	Usage de l'eau	Chronique disponible	Répartition mensuelle du prélèvement dans l'année
LA BARAQUE	Ferme des herbes folles	Maraîchage (légumes)	2019-2022	Juin / Juillet / Aout : 19% Mai / Septembre : 11% Autres mois : 3%
ETANG DE LA BARONNE	Lycée agricole de Reyssins	Céréales (maïs) et un peu de maraîchage (légumes)	2021-2023	Juillet : 50% Juin / Aout : 25% Autres mois : 0%
MORLAND	Particulier	Pas d'informations, considéré comme arrêté		

Tableau 51 : Informations complémentaires après enquête

Au sein du territoire d'étude, les prélèvements destinés à un usage irrigation sont regroupés sur le bassin versant du Jarnossin ; il n'y a aucun prélèvement recensé sur le bassin versant du Sornin.

Le volume annuel prélevé est estimé à 27 500 m³ en année moyenne comme en année considérée comme sèche (pas d'informations spécifique de la part des gestionnaires), dont 6 000 m³ dans une retenue, et plus de 20 000 m³ par captage d'une source. Durant l'année, ce volume est concentré sur les mois d'été, afin de satisfaire les besoins en eau des cultures céréalières (maïs) et le maraîchage (légumes).

Le syndicat nous a également transmis des informations de la DDT42 (couche SIG) concernant l'existence de point d'irrigation par aspersion sur le territoire d'étude : toutefois aucun volume n'est associé à la localisation des points.

L'évolution des volumes prélevés ces dernières années est reprise dans le graphe ci-dessous :

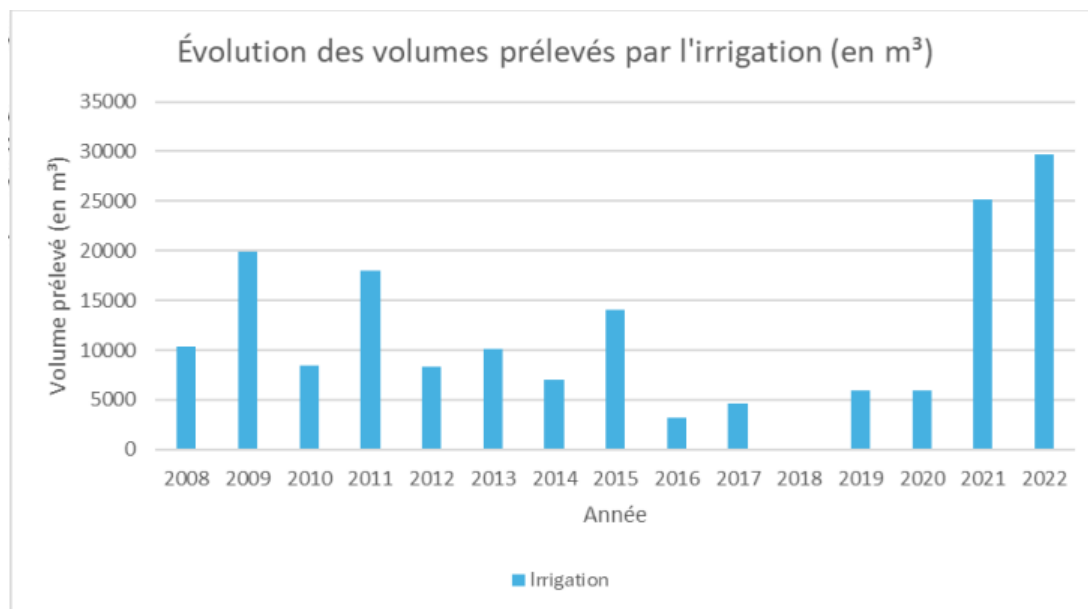


Figure 76 : Historique des prélèvements pour l'irrigation (source : BNPE)

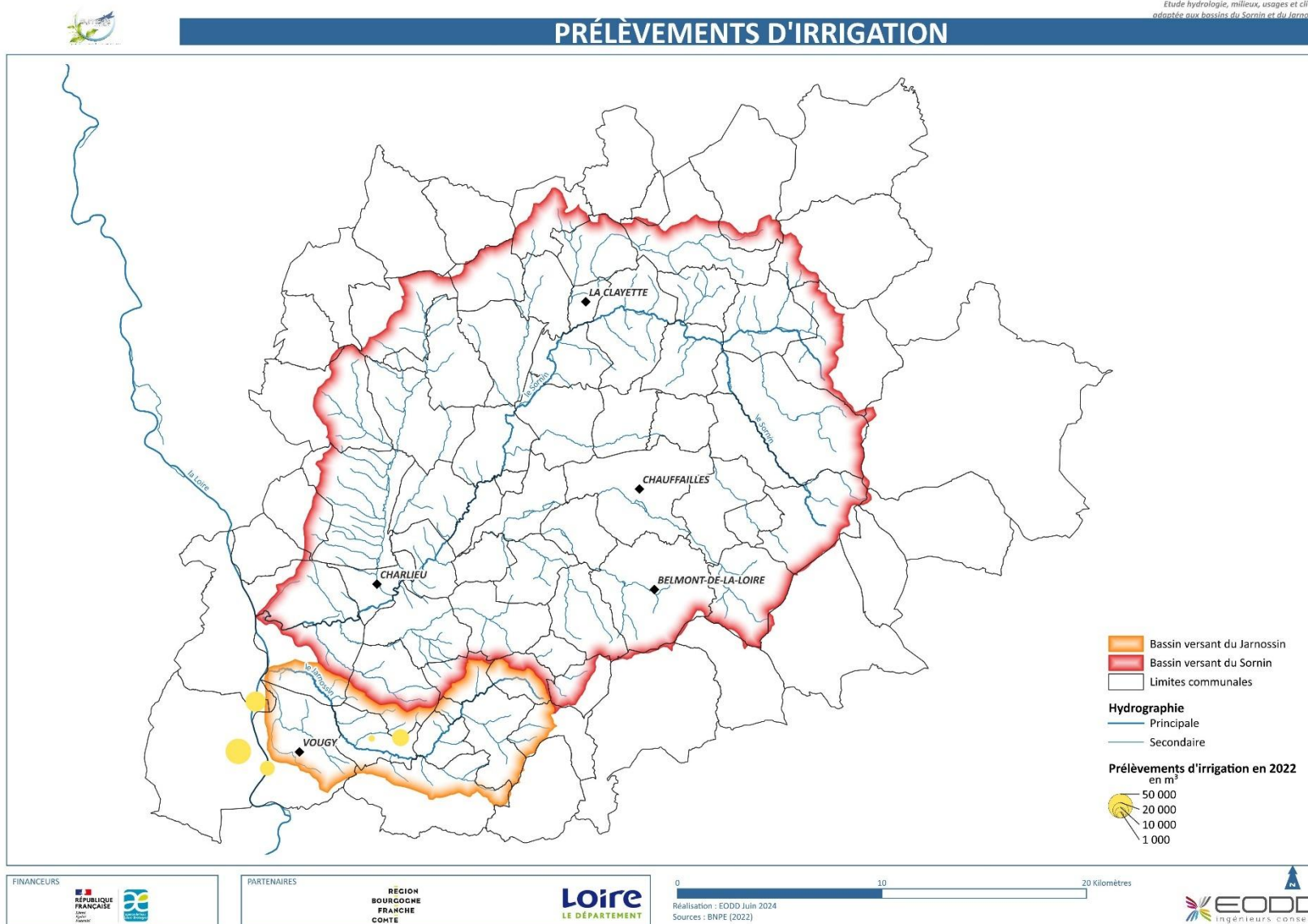
Les prélèvements pour l'irrigation sont très variables d'une année sur l'autre. Ils sont toutefois particulièrement élevés ces deux dernières années. Cette tendance pourra être confirmée sur la base des données plus récentes.

N.B. : concernant le prélèvement effectué dans le plan d'eau, aucun décalage dans le temps du prélèvement n'a été établi à ce stade de l'étude par manque d'information sur les modalités de gestion.

En synthèse, les hypothèses concernant l'usage « irrigation » pour établir le diagnostic de la situation actuelle sont les suivantes (Tableau 52), elles sont identiques en année moyenne et en année sèche :

Volume prélevé pour l'irrigation (m3/mois)		
Mois	Année moyenne	Année sèche
Janvier	180	180
Février	180	180
Mars	180	180
Avril	180	180
Mai	660	660
Juin	6 501	6 501
Juillet	11 863	11 863
Août	6 501	6 501
Septembre	660	660
Octobre	180	180
Novembre	180	180
Décembre	180	180
TOTAL	27 445	27 445

Tableau 52 : Volume prélevé pour l'irrigation sur le territoire d'étude



Carte 24 : Prélèvements irrigation

8.3.3 Elevage

8.3.3.1 Abreuvement du bétail

Les différents besoins en eau liés à l'élevage sont :

- L'abreuvement du bétail,
- Les besoins en eau pour les salles de traites,
- Les besoins en eau pour les ateliers de transformation (fromagerie),
- Les besoins pour les autres bâtiments (hors laiterie, fromagerie...)

8.3.3.1.1 Données utilisées

Environ 750 exploitations agricoles sont comptabilisées sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin, avec une activité majoritairement tournée vers l'élevage bovin (viande ou lait).

Les effectifs par type d'animaux sont synthétisés dans le Tableau 53 ci-dessous.

Cheptel		Effectif
Bovins	Vaches laitières	3 535
	Vaches allaitantes	26 951
	Autres bovins	47 053
	Total	77 539
Ovins	Brebis laitières	16
	Brebis allaitantes	3 163
	Total	5 337
Caprins	Chèvres	4 358
	Total	6 044
Total équins		351
Total porcins		3 252
Total volailles		459 107
Total cheptel		551 630

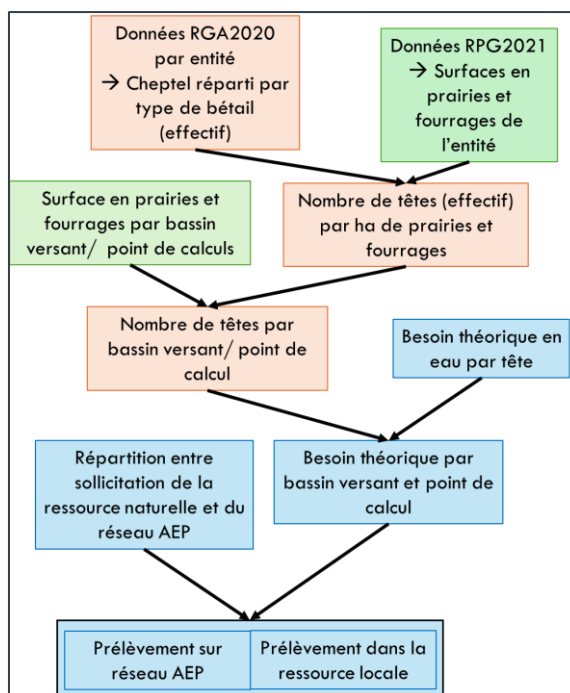
Tableau 53 : Répartition des effectifs par type de bétail sur le territoire d'étude (source : RGA 2020)

Les données du RGA 2020 relatives au cheptel (et aux exploitations agricoles) ont été collectées à l'échelle d'entités regroupant plusieurs communes, selon un découpage administratif qui ne reprend pas les contours des bassins versants.

Pour permettre une analyse sectorisée des besoins et prélèvements en eau, une répartition du cheptel par bassin versant a été effectuée selon le schéma en Figure 77, en considérant une corrélation directe entre effectifs et surfaces en prairies et fourrages (prairies temporaires, permanentes et fourrages).

Figure 77 : Méthodologie de répartition territoriale du cheptel et d'estimation des besoins

Cette répartition du cheptel est présentée dans le Tableau 54.



Bassin versant	Code	Masse d'eau	Bovins total	Vaches laitières	Vaches allaitantes	Ovins total	Brebis laitières	Brebis allaitantes	Caprins total	Chèvres	Equins total	Porcins total	Volailles total
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	31 817	1 877	10 825	2 383	1	1 369	4 112	2 963	89	2 493	231 186
	FRGR2262	Genette	6 427	439	2 152	577	0	321	1 089	787	15	715	55 361
	FRGR0187	Botoret	7 661	508	2 516	973	0	576	92	63	9	0	140 112
	FRGR1740	Equetteries	2 509	14	881	278	0	139	21	18	0	0	0
	FRGR1777	Bezo	10 046	95	3 543	396	0	307	203	151	39	0	0
	FRGR1735	Chandonnet	3 695	103	1 361	115	0	73	107	80	19	0	8 520
	FRGR1724	Aillant	1 215	34	448	38	0	24	35	26	6	0	2 802
	FRGR0186	Sornin aval	3 156	94	1 108	195	1	122	60	44	10	45	17 711
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	11 014	371	4 118	382	14	231	326	226	164	0	3 415
TOTAL			77 539	3 535	26 951	5 337	16	3 163	6 044	4 358	351	3 252	459 107

Tableau 54 : Répartition du cheptel 2020 selon les masses d'eau du territoire

8.3.3.1.2 Besoins du bétail en année moyenne

Les besoins en eau pour l'abreuvement ont été établis sur la base de besoins unitaires (variables suivant les espèces) et des cheptels estimés sur chaque sous-bassin versant. Les besoins unitaires retenus dans le cadre de cette étude sont présentés dans le Tableau 55.

Pour les vaches laitières et allaitantes, nous avons retenus les volumes journaliers préconisés par la Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme (CA 63) lors de l'étude HMUC sur le bassin versant de la Dore, variables en fonction de la température et donc des périodes de l'année :

- Période chaude (juin à aout) : 150 l/j pour les vaches laitières et 110 l/j pour les vaches allaitantes ;
- Période froide ou douce (septembre à mai) : 100 l/j pour les vaches laitières et 70 l/j pour les vaches allaitantes.

	Autres bovins	Vaches laitières		Vaches allaitantes		Ovins	Caprins	Équins	Porcins	Volailles
	Année	Période froide ou douce	Période chaude	Période froide ou douce	Période chaude	Année	Année	Année	Année	Année
l/j	40	100	150	70	110	6	7	37,5	17	0,3
m³/mois	1,2	3,1	4,6	2,1	3,4	0,2	0,21	1,1	0,5	0,01
m³/an	14,6	41,2		29,3		2,2	2,6	13,7	6,2	0,1

Tableau 55 : Besoins unitaires retenus pour l'abreuvement du bétail

Note : ces valeurs sont plus élevées que celles considérées dans le cadre de l'étude réalisée par la Chambre d'Agriculture de la Loire dans le cadre de l'étude HMUC Loire-en-Rhône-Alpes (Evaluation des besoins en eau de l'agriculture – Sage Loire en Rhône-Alpes – Décembre 2023), notamment pour le cheptel bovin. Les valeurs retenues sont celles de l'étude ASSEC (cf. ci-contre).

	AP3C	ANSES, 2010	ASSECC, 2022
Vache laitière	70-100	48	79
Vache allaitante	50-80	89	58
Brebis	7-15	3,2-3,3	4-4,3
Chèvre	5-12	9	9,1
Cheval	30-60	-	37,5

Nos valeurs sont par contre proches de celles retenues dans l'étude quantitative menée sur le département de la Saône-et-Loire (cf. ci-contre).

Consommation moyenne (l/j)	Vache laitière	Vache allaitante	Caprins	Ovins	Volailles	Equins	Porcins
	55-120	40-80	4-10	2-4	<1	15-60	4-35

Sur la base de nos hypothèses, le besoin annuel pour l'abreuvement du bétail est estimé à environ 1,72 Mm³ à l'échelle des bassins versants du Sornin et du Jarnossin.

Les résultats par masse d'eau sont présentés dans le Tableau 56 :

Abreuvement du bétail			
Bassin versant	Code	Masse d'eau	Besoin annuel (m3/an)
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	728 478
	FRGR2262	Genette	151 414
	FRGR0187	Botoret	180 665
	FRGR1740	Equetteries	50 189
	FRGR1777	Bezo	201 314
	FRGR1735	Chandonnet	77 841
	FRGR1724	Aillant	25 597
	FRGR0186	Sornin aval	67 436
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	233 601
TOTAL			1 716 535

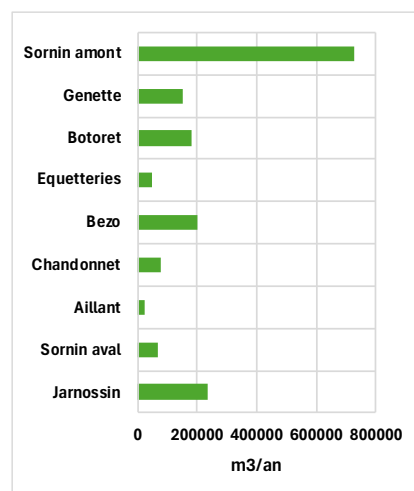


Tableau 56 : Besoins théoriques pour l'abreuvement du bétail en année moyenne (d'après RGA 2020)

Afin de pouvoir comparer ce besoin en eau à celui fourni dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE 2022-2027 (analyse de la pression hydrologique), l'effectif a été converti en Unité Gros Bétail (UGB). L'UGB permet d'agréger le bétail de différentes espèces en utilisant des coefficients spécifiques établis initialement sur la base des besoins nutritionnels pour chaque type de bétail.

Dans le cadre de l'étude, les coefficients utilisés sont en Figure 78, ils sont issus du Journal officiel de l'Union européenne :

Type de bétail	Equivalent UGB
Autres Bovins	1
Vaches laitières	1
Vaches allaitantes	1
Total ovins	0,15
Total caprins	0,15
Total équins	1
Total porcins	0,4
Total volailles	0,03

Figure 78 : Equivalent UGB pour chaque type de bétail (source : Journal officiel de l'Union Européenne)

En mettant en place cette conversion, le nombre d'UGB est estimé à 72 800 sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin. Sur la base d'un besoin annuel moyen de 1,72 Mm³, le besoin en eau journalier est estimé à 65 l/j/UGB, soit une valeur supérieure à celle retenue pour l'estimation de la pression hydrologique dans le cadre du SDAGE (l'Agence de l'Eau retient un besoin de 40 l/j/UGB).

8.3.3.1.3 Besoins du bétail en période sèche

Pour une année sèche, les rations alimentaires sont moins chargées en eau, ce qui conduit à augmenter le besoin d'abreuvement. De plus, l'effet de la chaleur augmente également la soif et donc les besoins en eau des animaux. **Nous avons considéré une augmentation en période estivale (juin à août) de 20% par rapport à l'année moyenne.**

Les besoins en eau en année sèche sont ainsi estimés à 1,82 Mm³ à l'échelle du territoire d'étude.

8.3.3.1.4 Synthèse des besoins

Le cheptel représente environ 72 800 UGB sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin.

Les besoins en eau pour l'abreuvement du bétail sont évalués à :

- 1,72 Mm³/an en année moyenne,
- 1,82 Mm³/an en année sèche.

8.3.3.1.5 Répartition mensuelle

La variation inter-mensuelle des consommations est relativement difficile à estimer pour l'abreuvement du bétail ; elle dépend en effet de différents facteurs :

- La température ambiante : en été, les besoins en eau sont théoriquement plus importants (température plus élevée),
- Le type de fourrage (conditionnant son hydratation) : les besoins en eau ne seront pas les mêmes si les stabulations sont alimentées par du foin plutôt sec ou un ensilage plus humide, et durant la période estivale où les vaches sont au pré (teneur en eau plus élevée dans l'herbe, mais variable suivant les conditions climatiques),
- Les périodes de vêlage choisies par l'exploitant dont dépendent les périodes de lactation et donc les besoins maximums en eau.

Les échanges avec la CA 63 lors de l'étude HMUC Dore ont permis de retenir les hypothèses suivantes quant aux variations inter-mensuelles des besoins en eau pour l'abreuvement :

- Les besoins peuvent être considérés comme constants sur l'année pour la plupart des types de bétail, à savoir : Autres bovins, ovins, caprins, équins, porcins et volailles ;
- Les besoins sont variables pour les vaches laitières et les vaches allaitantes, avec des différences précisées dans le Tableau 55.

Sur la base de ces hypothèses, le bilan mensuel à l'échelle du territoire d'étude est présenté dans le Tableau 57.

Abreuvement du bétail		
Besoin mensuel (m ³ /mois)	Année moyenne	Année sèche
Janvier	132 960	132 960
Février	132 960	132 960
Mars	132 960	132 960
Avril	132 960	132 960
Mai	132 960	132 960
Juin	173 299	207 959
Juillet	173 299	207 959
Août	173 299	207 959
Septembre	132 960	132 960
Octobre	132 960	132 960
Novembre	132 960	132 960
Décembre	132 960	132 960
Total annuel (m³/an)	1 716 535	1 820 514

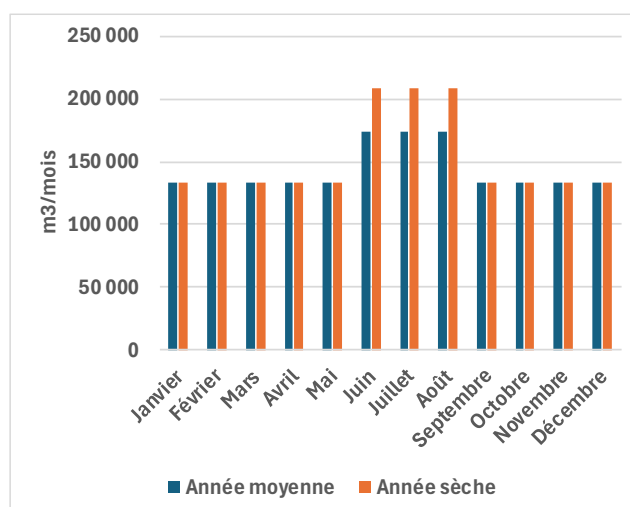


Tableau 57 : Répartition mensuelle des besoins en eau pour l'abreuvement

En synthèse, à l'échelle du territoire d'étude, les besoins en eau pour l'abreuvement sont en année moyenne d'environ :

- 133 000 m³/mois en période froide ou douce (entre septembre et mai),
- 173 000 m³/mois en période chaude de juin à août.

8.3.3.2 Bâtiments d'élevage

Les besoins en eau associés aux bâtiments d'élevage sont très variables et dépendent du type d'activité. La filière laitière est plus consommatrice en eau (salle de traite, lavage des sols, refroidissement du lait, ...)

8.3.3.2.1 Besoins des salles de traite

L'estimation du nombre de salles de traite est réalisée à partir des données du RGA 2020, sur la base des orientations technico-économiques des exploitations (OTEX), en considérant pour chaque entité (Figure 79) :

- L'ensemble des exploitations « Bovins lait » et « Bovins mixte »,
- 25% des exploitations « Ovins ou Caprins » (= hypothèse que 25 % de ces exploitations produisent du lait et disposent donc d'une salle de traite).

L'extraction de ces données a été réalisée à l'échelle des bassins versants du Sornin et du Jarnossin, et pour chaque entité géographique cohérente (bassins versants principaux, unités de gestion ...) selon le principe illustré par la Figure 79.

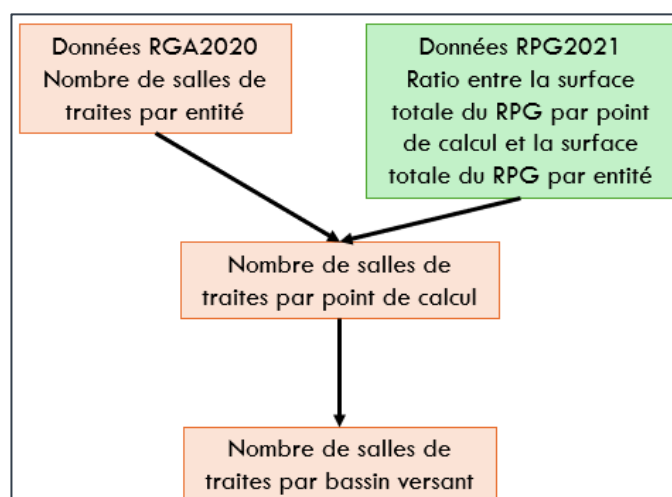


Figure 79 : Estimation du nombre de salles de traite

Pour l'estimation des besoins, les volumes unitaires retenus sont les suivants (source : CA 63) :

- 41 m³/mois par exploitation Bovin lait ou Bovins mixte dont 25 m³/mois concernant les eaux vertes (issues du lavage des sols de la salle de traite et de l'aire d'attente) et 16 m³/mois pour les eaux blanches (utilisées dans le cadre du nettoyage du matériel),
- 7 m³/mois pour les autres salles de traites (ovins et caprin).

Besoins annuels associés aux salles de traites :

Nombre de salle de traites « Bovins lait » x (41 m³ x 12 mois)

Nombre de salles de traites « Autres » (ovins et caprins) x (7 m³ x 12 mois)

8.3.3.2.2 Besoins des ateliers de transformation fromagère

Le nombre d'ateliers est renseigné par le RGA 2020 à l'échelle des entités utilisées pour la requête. Leur répartition par bassin versant a été faite au prorata de la surface agricole sur chaque bassin versant (base de calcul : RPG 2021).

Les besoins en eau des ateliers de transformation fromagère sont fonction du volume et de la nature du lait transformé, et donc du cheptel associé.

Les hypothèses suivantes ont été retenues concernant les productions laitières directement transformées :

- Environ 2 % de la production du cheptel vaches laitières,
- Environ 6 % de la production des cheptels laitiers ovins et des caprins.

En termes de besoins en eau, les hypothèses suivantes sont retenues :

- Vaches laitières : 19,3 litres de lait par vache laitière et par jour avec 1,8 litre d'eau par litre de lait transformé soit 12,7 m³/an par vache laitière,
- Ovins : 1,2 litre de lait par brebis et par jour avec 1,8 litre d'eau par litre de lait transformé soit 0,8 m³/an par brebis,
- Caprins : 1,6 litre de lait par chèvre et par jour avec 1,8 litre d'eau par litre de lait transformé soit 0,7 m³/an par chèvre.

Besoins en eau annuels des ateliers de transformation fromagères par type de bétail (m³/an) :

Nombre de vaches laitières x 2% x 12,7 m³

Nombre d'ovins x 6% x 0,8 m³

Nombre de caprins x 6% x 0,7 m³

Les besoins sont considérés comme constants tout au long de l'année hormis pour les caprins présentant une production allant de février à octobre et un tarissement les 3 mois restants.

8.3.3.2.3 Besoins des « Autres bâtiments »

Les « Autres bâtiments » correspondent aux autres exploitations hors production laitière. Le ratio retenu est de 4,2 m³/mois soit 50 m³/an.

Besoin « Autres Bâtiments » (en m³/an) = nombre de bâtiments par masse d'eau x 50 m³

Les besoins « Autres Bâtiments » sont aussi considérés constants sur l'année.

Enfin, le besoin en année sèche est considéré équivalent au besoin en année moyenne pour tous les bâtiments d'élevage.

8.3.3.2.4 Synthèse des besoins liés aux bâtiments d'élevage

L'ensemble des besoins concernant les bâtiments d'élevage (ou associés) sont résumés ci-dessous (Tableau 58).

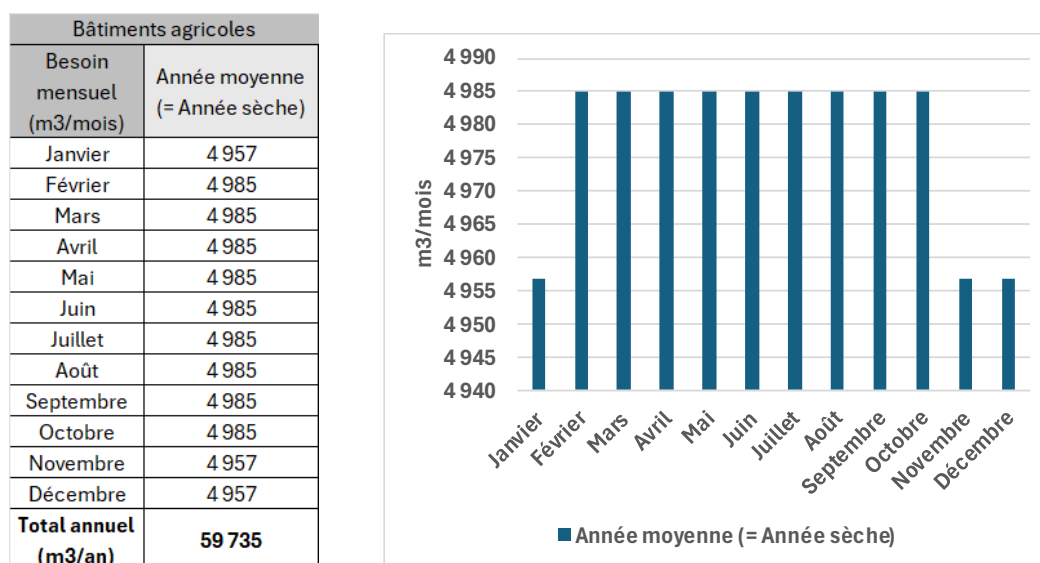


Tableau 58 : Besoin en eau des bâtiments agricoles d'après RGA 2020)

A l'échelle des bassins versants du Sornin et du Jarnossin, les besoins en eau pour les bâtiments d'élevage sont estimés à 60 000 m³/an, en année moyenne comme en année sèche.

Les besoins sont considérés comme pratiquement constants toute l'année avec un besoin mensuel moyen d'environ 5 000 m³.

8.3.3.3 Origine de l'eau prélevée

8.3.3.3.1 Abreuvement du bétail

Les exploitations agricoles se sont souvent créées à la faveur d'un point d'eau existant (source, puits, ...). Une partie du besoin agricole est donc a priori satisfait par divers prélèvements effectués directement dans le milieu. Pour des raisons techniques et économiques, l'abreuvement se fait probablement le plus possible à partir des mares, sources, cours d'eau proches des pâturages et le réseau d'eau potable n'est sollicité qu'en dernier recours. Cependant l'hiver, les bêtes retournent à l'étable et l'abreuvement peut alors se faire en grand partie à partir du réseau d'eau potable.

Pour des questions sanitaires, le recours à l'eau potable est également nécessaire pour les ateliers de transformation notamment.

Il n'existe pas de données précises sur la part des différentes ressources en eau utilisées pour l'élevage.

En l'absence de données fiables, nous avons considéré les hypothèses suivantes pour cette étude (cf. Tableau 59) :

- En hiver (entre novembre et mars), la quasi-totalité des besoins est couverte par les réseaux d'adduction AEP (publics ou privés). Mais la variabilité est très forte selon les cheptels et les années,
- En été, l'abreuvement se fait surtout au pré, par prélèvement direct dans la ressource naturelle (cours d'eau, source),

- En période très sèche, il y a moins de consommation d'aliment vert ; il y a ainsi un report d'une partie de l'eau prélevée directement dans le milieu vers les réseaux AEP (lorsque les ressources naturelles sont tarées).

8.3.3.2 Bâtiments d'élevage

Les informations sur l'origine de l'eau pour les bâtiments d'élevage sont limitées. A partir des quelques références bibliographiques et après échanges avec les acteurs agricoles, des hypothèses de répartition ont été proposées dans le cadre de l'étude HMUC Dore. Ces hypothèses sont reprises dans le Tableau 59 ci-dessous et ont été utilisées dans le cadre de la présente étude sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin.

Origine de l'eau			Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
Année moyenne	Abreuvement bétail	Ressource naturelle	10%	10%	10%	40%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	40%	10%	
		Réseau AEP	90%	90%	90%	60%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	60%	90%
	Exploitations agricoles	Ressource naturelle	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
		Réseau AEP	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Année sèche	Abreuvement bétail	Ressource naturelle	10%	10%	10%	40%	70%	65%	65%	65%	65%	70%	40%	30%	
		Réseau AEP	90%	90%	90%	60%	30%	35%	35%	35%	35%	30%	60%	90%	
	Exploitations agricoles	Ressource naturelle	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
		Réseau AEP	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%

Tableau 59 : Hypothèses retenues concernant la répartition de l'alimentation en eau pour l'élevage

A l'échelle du territoire d'étude, sur la base des hypothèses considérées :

- En année moyenne, environ **0,82 Mm³/an (47%)** seraient prélevés directement dans la ressource naturelle et **0,96 Mm³/an (53%)** sur les réseaux AEP.
- Pour l'année sèche, environ **0,86 Mm³/an** seraient prélevés directement dans la ressource naturelle et **1,02 Mm³/an** sur les réseaux AEP.

Une forte incertitude sur part des besoins en eau liés à l'élevage satisfaite à partir des réseaux AEP :

Les résultats obtenus avec l'approche ci-dessus sont bien différents de ceux obtenus par exploitation des données fournies par les gestionnaires AEP (cf. § 8.1.4.1.2) : environ 50 % des besoins d'élevage couvert par l'AEP soit environ 1 Mm³/an, contre seulement 7% soit environ 120 à 150 000 m³/an sur la base des quelques données fournies par les gestionnaires AEP.

Note : dans le cadre de l'étude réalisée par la Chambre d'Agriculture de la Loire pour l'étude HMUC Loire-en-Rhône-Alpes, il a été considéré que 5,9% des volumes utilisés pour l'abreuvement provenait de ressources en eau potable, tout en considérant que cette valeur semblait très faible, et que ce pourcentage était très inférieur à celui considéré dans les études du même type. Avec ce ratio, et pour un besoin total pour l'abreuvement estimé à 1,8 Mm³/an, environ 100 000 m³/an seulement serait pris sur les réseaux d'eau potable (valeur cohérente avec notre estimation basse).

8.3.3.1 Synthèse des prélèvements associés à l'élevage

Les résultats par masse d'eau superficielle sont présentés dans les Tableau 60 et Tableau 61, pour une année moyenne et une année considérée comme sèche, en considérant les hypothèses de répartition proposées dans le Tableau 59.

Besoins annuels liés à l'élevage Année moyenne			Abreuvement du bétail (m3/an)		Bâtiments agricoles (m3/an)		Besoin total (m3/an)	
Bassin versant	Code	Masse d'eau	Part ressource naturelle	Part AEP	Part ressource naturelle	Part AEP	Part ressource naturelle	Part AEP
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	340 481	387 997	9 181	21 423	349 662	409 420
	FRGR2262	Genette	70 728	80 686	2 016	4 704	72 744	85 390
	FRGR0187	Botoret	84 324	96 341	2 078	4 849	86 402	101 190
	FRGR1740	Equetteries	23 460	26 729	404	944	23 865	27 673
	FRGR1777	Bezo	94 152	107 161	1 454	3 392	95 606	110 554
	FRGR1735	Chandonnet	36 471	41 370	471	1 099	36 942	42 469
	FRGR1724	Aillant	11 993	13 604	155	361	12 148	13 965
Jarnossin	FRGR0186	Sornin aval	31 532	35 904	588	1 372	32 120	37 276
TOTAL			802 695	913 840	17 921	41 815	820 616	955 654

Tableau 60 : Besoins annuels liés à l'élevage – Année moyenne

Besoins annuels liés à l'élevage Année sèche			Abreuvement du bétail (m3/an)		Bâtiments agricoles (m3/an)		Besoin total (m3/an)	
Bassin versant	Code	Masse d'eau	Part ressource naturelle	Part AEP	Part ressource naturelle	Part AEP	Part ressource naturelle	Part AEP
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	355 266	417 235	9 181	21 423	364 447	438 658
	FRGR2262	Genette	73 791	86 749	2 016	4 704	75 807	91 453
	FRGR0187	Botoret	87 960	103 552	2 078	4 849	90 038	108 401
	FRGR1740	Equetteries	24 479	28 744	404	944	24 884	29 688
	FRGR1777	Bezo	98 254	115 262	1 454	3 392	99 708	118 655
	FRGR1735	Chandonnet	38 074	44 525	471	1 099	38 545	45 624
	FRGR1724	Aillant	12 520	14 641	155	361	12 675	15 003
Jarnossin	FRGR0186	Sornin aval	32 905	38 615	588	1 372	33 493	39 987
TOTAL			837 639	982 875	17 921	41 815	855 559	1 024 690

Tableau 61 : Besoins annuels liés à l'élevage – Année sèche

Sur la base des hypothèses retenues, les besoins en eau et prélèvements pour l'élevage sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin sont estimés à :

- 1,72 Mm³/an pour l'abreuvement en année moyenne et 1,82 Mm³/an en année sèche,
- 60 000 m³/an pour les bâtiments agricoles,

Soit environ 1,78 Mm³/an sur l'ensemble du territoire en année moyenne et 1,88 Mm³/an en année sèche.

Environ 0,82 Mm³/an en année moyenne et 0,85 Mm³/an en année sèche seraient directement prélevés dans les ressources naturelles, et 0,96 à 1,02 Mm³/an satisfaits à partir des réseaux AEP.

8.4 Plans d'eau

Cf. Carte 25 : Plans d'eau

8.4.1 Base de données « BDTopo »

Les plans d'eau inclus dans le périmètre d'étude ont été identifiés à partir de la base de données « BDTopo » de l'IGN, valorisée et corrigée en s'appuyant sur l'étude réalisée par CESAME en 2006 (base de données transmises par le Syndicat).

Parmi les éléments de surfaces hydrographiques identifiés dans la « BDTopo », ont été retenues les catégories suivantes :

- « **Mares** » : petits plans d'eau naturels.
- « **Plans d'eau de gravière** » : masses d'eau créées par l'extraction de granulats dans la plaine alluviale d'un cours d'eau et alimentée principalement par la nappe alluviale. Au sens de la codification hydrographique, les gravières ne sont généralement plus en exploitation.
- « **Retenue** » : comprend les étangs, retenues collinaires... Il s'agit d'une masse d'eau non accumulée naturellement, contrairement à un « lac » naturel. L'eau est généralement retenue par une levée, digue ou barrage.
- « **Retenue-barrage** » : lac de barrage (barrage-réservoir, barrage de retenue ou de régulation) de grande taille (tous > 3 ha sur le territoire d'étude).
- « **Réservoirs-bassin** » : cas particuliers de quelques grands plans d'eau, situés notamment sur le bassin versant de la Genette.

Ainsi **1020 plans d'eau** ont été identifiés sur l'ensemble du territoire d'étude, avec des surfaces allant de 30 m² à 26 ha. Cela représente une surface totale (estimée par SIG) de 171 ha (Tableau 62).

Typologie de surface	Nombre	Surface (en ha)
Moins de 1 000 m ²	752	22,7
De 1 000 m ² à 1 ha	246	64,7
De 1 à 3 ha	15	21,5
Plus de 3 ha	7	62,1
TOTAL	1020	171,0

Tableau 62 : Plans d'eau identifiés au sein du périmètre d'étude (source : BDTopo)

En termes de typologie, les surfaces de plans d'eau sont réparties de la manière suivante (Tableau 63 et Figure 80) :

Catégorie	Nombre de plans d'eau	Surface (en ha)	Proportion de la surface totale
Mare	398	7,9	4,6%
Plan d'eau de gravière	4	0,2	0,1%
Réservoir-bassin	4	28,0	16,4%
Réservoir-bassin d'orage	4	0,1	0,1%
Retenue	608	115,8	67,7%
Retenue-barrage	2	19,0	11,1%
TOTAL	1 020	171,0	100%

Tableau 63 : Répartition des surfaces par typologie de plans d'eau

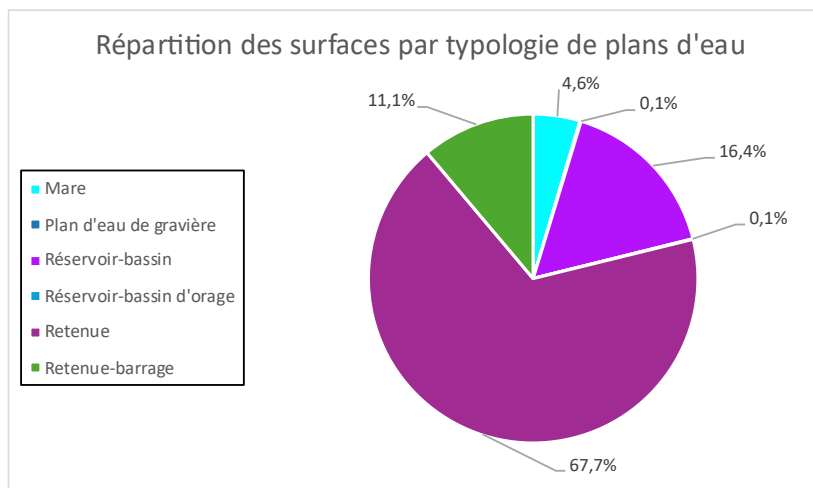


Figure 80 : Répartition des surfaces par typologie de plans d'eau

La répartition des plans d'eau par masse d'eau est la suivante (Tableau 64 et Figure 81) :

Bassin versant	Code	Masse d'eau	Nombre de plans d'eau	Surface cumulée (ha)	Ratio surface plan eau / surface total du BV
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	251	26,9	0,1%
	FRGR2262	Genette	123	73,2	2,0%
	FRGR0187	Botoret	121	17,9	0,2%
	FRGR1740	Equetteries	51	6,2	0,3%
	FRGR1777	Bezo	177	13,0	0,2%
	FRGR1735	Chandonnet	36	3,1	0,1%
	FRGR1724	Aillant	33	2,9	0,3%
	FRGR0186	Sornin aval	36	8,3	0,3%
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	192	19,6	0,3%
TOTAL			1020	171,0	0,3%

Tableau 64 : Répartition des plans d'eau par masse d'eau

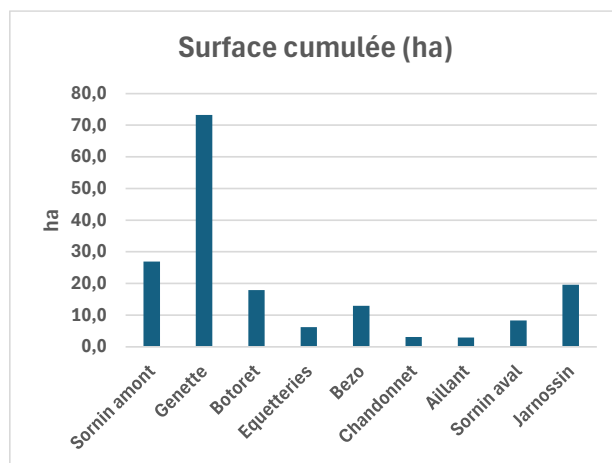


Figure 81 : Surface cumulée des plans d'eau par masse d'eau

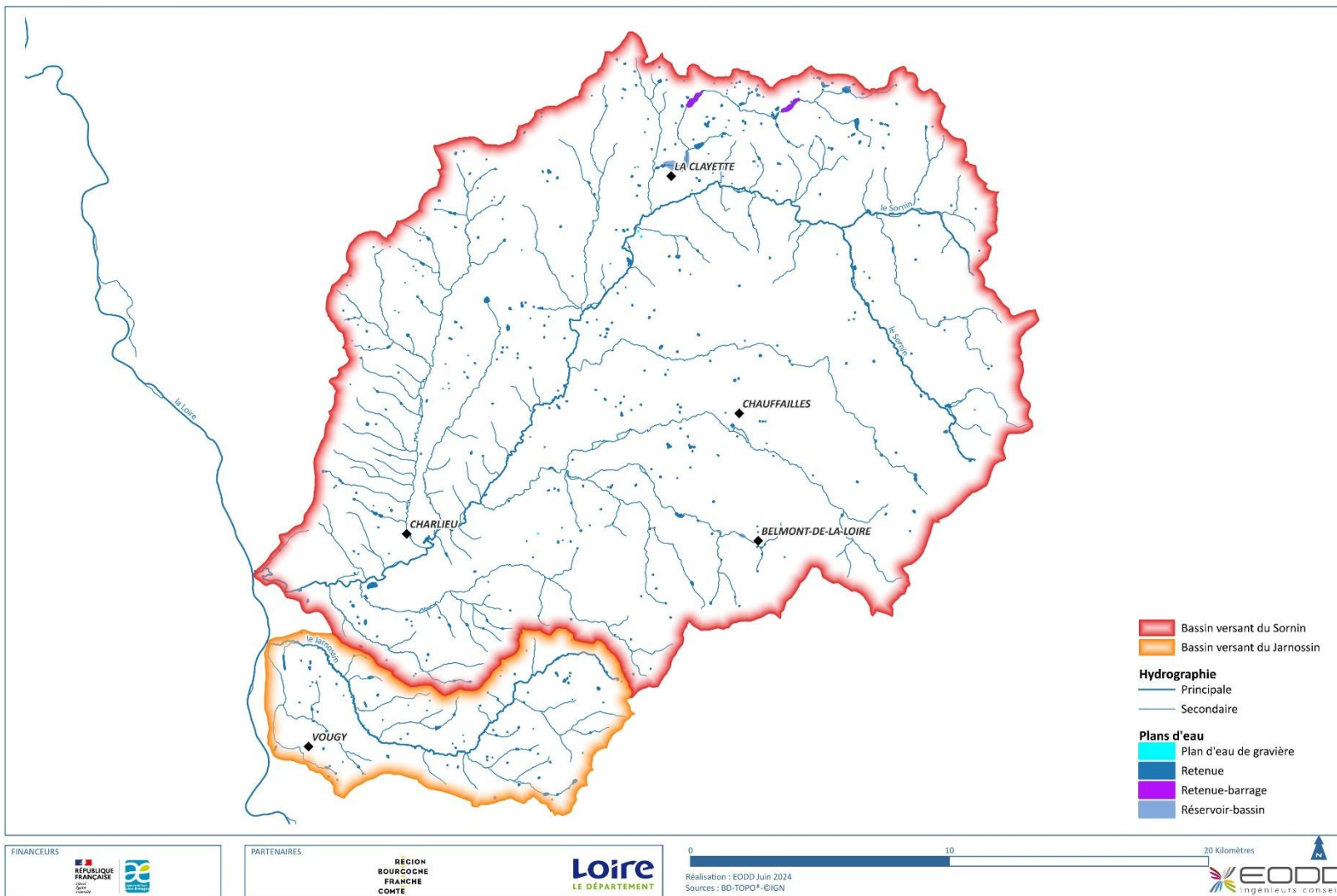
Le bassin versant de la Genette concentre à lui seul 43% de la surface de plan d'eau, malgré un bassin versant relativement réduit (constat déjà mis en évidence durant l'étude réalisée en 2006). Les plans d'eau les plus importants y sont positionnés.

Pour le reste des masses d'eau le nombre de plans est globalement proportionnel à leur superficie.



Etude hydrologie, milieux, usages et climat
adaptée aux bassins du Sornin et du Jarnossin

PLANS D'EAU



Carte 25 : Plans d'eau

8.4.2 Besoin en eau théoriques des plans d'eau

Les quelques prélèvements recensés dans les plans d'eau au sein du périmètre d'étude sont traités dans l'usage associé (irrigation notamment). Tous les plans d'eau sont cependant considérés comme des prélèvements potentiels sur la ressource en eau du fait de l'évaporation à leur surface.

Les besoins destinés à compenser les pertes par évaporation ont été estimés en multipliant la surface des plans d'eau (calculés par SIG) par l'ETP associée à la maille SAFRAN dans laquelle se trouve chacun des plans d'eau (cf. annexe).

8.4.3 Prélèvements associés

Il faut noter que **si les pertes par évaporation sont assimilées à un besoin associé aux plans d'eau, elles ne sont pas nécessairement compensées par un prélèvement sur la ressource**. En effet, il y en a en réalité un prélèvement que dans les situations suivantes :

- Plan d'eau implanté dans un talweg (au fil de l'eau si celui-ci est drainé par un cours d'eau), interceptant donc les écoulements provenant de son bassin versant amont. L'écoulement naturel provenant du bassin versant intercepté se répartit entre le débit réservé (si plan d'eau au fil de l'eau et présence de débit réservé réglementaire) et la compensation de l'évaporation dans le plan d'eau,
- Plan d'eau alimenté à partir d'un cours d'eau (mais non situé dans un talweg), avec prélèvements réalisés pour maintenir le niveau dans le plan d'eau en respectant toutefois le débit réservé réglementaire s'il est fixé.

Le prélèvement réel sur la ressource est donc fonction du mode d'alimentation et de gestion du plan d'eau.

L'analyse effectuée par EODD a permis de classer le mode d'alimentation de chaque plan d'eau :

- Parmi les 1020 plans d'eau, 220 sont identifiés dans l'étude CESAME 2006 selon une typologie en 5 catégories,
- Pour les plans d'eau restants, un algorithme développé par EODD a permis de classer leur mode d'alimentation selon 4 catégories,
- Enfin, afin d'avoir une base de données homogène, les catégories de l'ancienne typologie « CESAME 2006 » ont été assimilées aux catégories de la typologie « EODD » (cf. tableau ci-dessous).

Typologie "CESAME 2006"	Typologie "EODD"
En dehors de tout cours d'eau	Retenue collinaire sans connexion au cours d'eau
En dérivation du cours d'eau	Pompage, dérivation
En haut de bassin versant	Plan d'eau sur talweg
En relation avec un fossé	
En travers du cours d'eau	Plan d'eau sur cours d'eau

Tableau 65 : Assimilation typologie « CESAME 2006 » / typologie « EODD »

Il en résulte la classification suivante de l'ensemble des plans d'eau du territoire d'étude (Tableau 66) :

Mode d'alimentation du plan d'eau	Nombre	Proportion du nombre total	Surface cumulée (ha)	Proportion de la surface totale (ha)
Plan d'eau sur cours d'eau	56	5%	75,1	44%
Plan d'eau sur talweg	152	15%	35,6	21%
Pompage, dérivation	136	13%	20,3	12%
Retenue collinaire sans connexion au cours d'eau	676	66%	40,0	23%
TOTAL	1 020	100%	171	100%

Tableau 66 : Mode d'alimentation des plans d'eau du territoire

Pour estimer au mieux les prélèvements réels pour compenser l'évaporation des plans d'eau, la démarche suivante a été adoptée :

1. **Estimation des volumes mensuels (et donc des débits) évaporés par les plans d'eau « déconnectés » du réseau hydrographique**, c'est-à-dire en considérant uniquement les catégories « plan d'eau sur talweg » et « retenue collinaire sans connexion au cours d'eau » ;
2. **Estimation des volumes mensuels (et donc des débits associés) évaporés pour l'ensemble des plans d'eau**, toutes catégories confondues ;
3. **Estimation de la ressource (du débit) « disponible » (Qd) pour alimenter les plans d'eau « sur cours d'eau » ou « alimentés par pompage, dérivation »**, sur la base de la formule suivante :

$$Qd \text{ (en l/s)} = \text{Ressource désinfluencée} - \text{Prélèvements} + \text{Rejets}$$

(avec Prélèvements = AEP + Industrie + Irrigation + « Plans d'eau sur talweg » et « retenue collinaire sans connexion au cours d'eau »)

Puis **deux hypothèses** ont été considérées pour **estimer le débit influencé du cours d'eau (Qinf)** :

4a. Prise en compte de la totalité des prélèvements associés aux plans d'eau, toutes catégories confondues des plans d'eau sur la base de la formule suivante :

$$Qinf_1 = \text{Ressource naturelle} - \text{Prélèvements} + \text{Rejets}$$

(avec Prélèvements = AEP + Industrie + Irrigation + Plans d'eau toutes catégories confondues),

4b. Prise en compte d'un débit réservé potentiel pour les plans d'eau sur cours d'eau ou alimentés par pompage ou dérivation d'un cours d'eau (en considérant que débit réservé potentiel $Qrp = 1/10^\circ$ du module), selon le principe suivant :

- Si le débit disponible (Qd) est inférieur au débit réservé (Qrp) : aucun prélèvement dans le cours d'eau, débit influencé (**Qinf2**) égal au débit disponible (**hypothèse 1**),
- Si le débit disponible (Qd) est supérieur au débit réservé (Qrp) et que le débit influencé par l'ensemble des plans d'eau (Qinf1) est inférieur au débit réservé : prélèvement possible dans le cours d'eau, débit influencé (**Qinf2**) égal au débit réservé (**hypothèse 2**),
- Si le débit disponible (Qd) et le débit influencé par l'ensemble des plans d'eau (Qinf1) sont supérieurs au débit réservé (Qrp) : prélèvement possible dans le cours d'eau, débit influencé (**Qinf2**) égal au débit diminué de l'ensemble des prélèvements (**hypothèse 3**),

Ces hypothèses sont illustrées ci-dessous (Figure 82).

En résumé :

La première hypothèse de débit influencé (**Qinf1**) considère que les prélèvements associés aux plans d'eau sont équivalents aux pertes par évaporation sur l'ensemble des plans d'eau, et donc que **les plans d'eau sur cours d'eau ou alimentés par pompage/dérivation ne respectent pas le cadre réglementaire** (notamment en termes de débit réservé pour ceux qui y sont soumis).

La seconde hypothèse (**Qinf2**) considère que **les plans d'eau sur cours d'eau ou alimentés par cours d'eau respectent le cadre réglementaire** (débit réservé) ; ainsi, quand le débit dans le cours d'eau est trop faible, il n'y a pas de prélèvement par le plan d'eau ; en revanche, les prélèvements sont potentiellement supérieurs en fin d'automne et en hiver pour compenser les pertes.

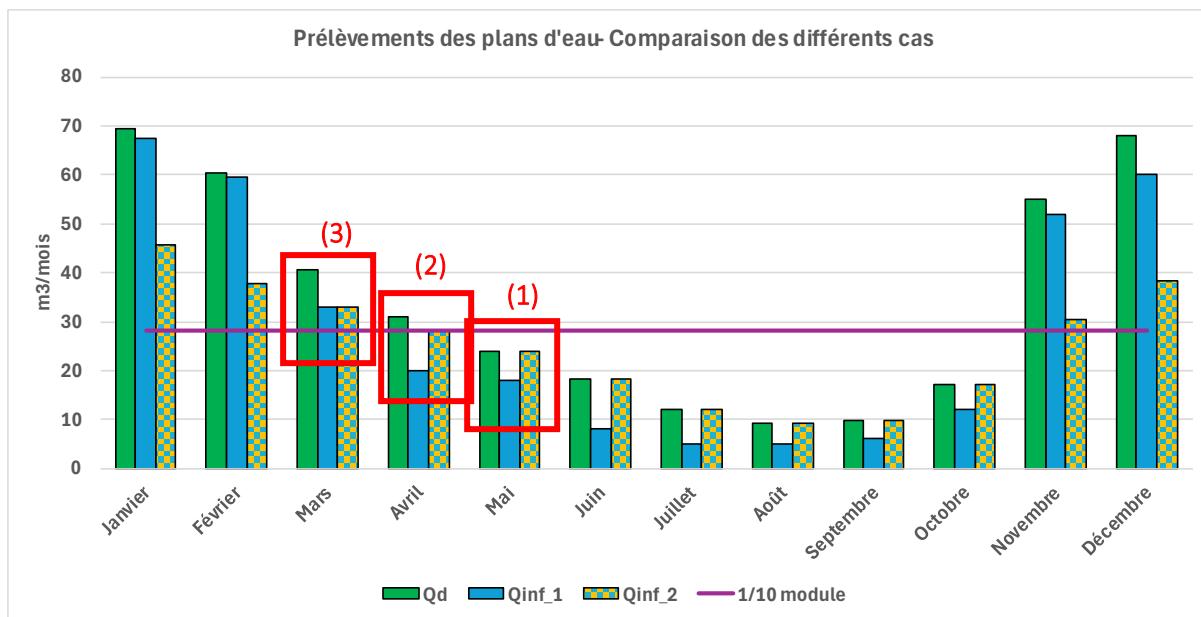


Figure 82 : Simulation des débits influencés par les prélèvements des plans d'eau en considérant le respect d'un débit réservé, et suivant différentes hypothèses sur la ressource (encadré et chiffres en rouge)

En considérant la seconde hypothèse, les volumes non prélevés pour compenser l'évaporation (en raison d'un débit insuffisant dans le cours d'eau) sont sommés sur l'année et répartis sur les mois de novembre à mars (considérer comme les périodes de remplissage des plans d'eau).

D'après les hypothèses retenues, les besoins pour compenser l'évaporation des plans d'eau à l'échelle des bassins versants du Sornin et du Jarnossin serait d'environ :

- 1,24 Mm³/an en année moyenne,
- 1,51 Mm³/an en année sèche.

Les Tableau 67 et Tableau 68 présentent la répartition mensuelle des volumes théoriques prélevés par les plans d'eau selon les deux hypothèses considérées.

Ils mettent en évidence le décalage dans le temps des prélèvements pour compenser l'ensemble des pertes par évaporation (report des prélèvements en fin d'automne et en hiver lorsque les conditions de débits en cours d'eau sont favorables) sous réserve que les plans d'eau sur cours d'eau ou alimentés par cours d'eau (dérivation, pompage) soient bien dotés d'un dispositif permettant de garantir en tout temps le maintien du débit réservé réglementaire.

Volume prélevé par les plans d'eau (m ³ /an)		
Année moyenne		
Mois	Cas 1 (= Qinf1)	Cas 2 (= Qinf2)
Janvier	20 581	20 581
Février	34 764	34 764
Mars	75 674	75 674
Avril	115 322	115 322
Mai	159 383	159 383
Juin	199 147	199 147
Juillet	225 352	225 352
Août	183 653	183 653
Septembre	117 675	117 675
Octobre	60 626	60 626
Novembre	27 139	27 139
Décembre	18 840	18 840
TOTAL	1 238 155	1 238 155

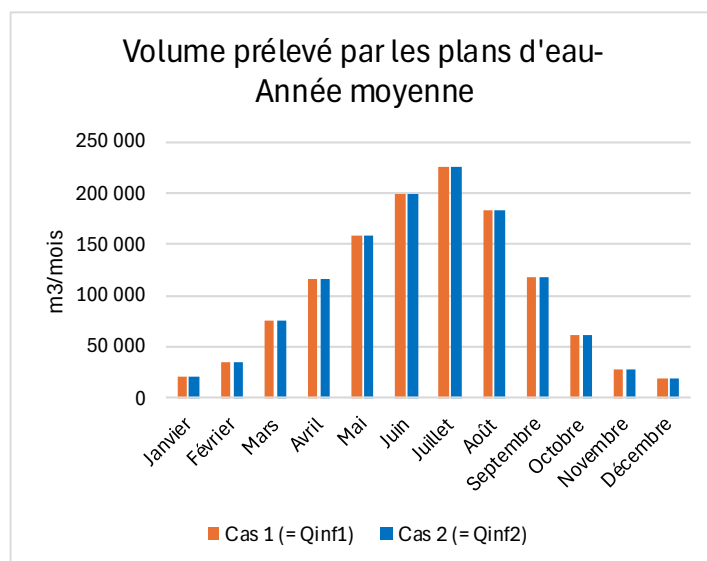


Tableau 67 : Volumes prélevés par les plans d'eau sur le territoire d'étude – Année moyenne

Volume prélevé par les plans d'eau (m ³ /an)		
Année sèche		
Mois	Cas 1 (= Qinf1)	Cas 2 (= Qinf2)
Janvier	23 668	162 197
Février	39 978	178 507
Mars	87 026	87 026
Avril	132 620	132 620
Mai	183 291	109 512
Juin	258 891	113 642
Juillet	292 957	128 674
Août	238 749	104 893
Septembre	135 326	59 685
Octobre	69 720	34 636
Novembre	31 209	169 738
Décembre	21 666	160 194
TOTAL	1 515 101	1 515 101

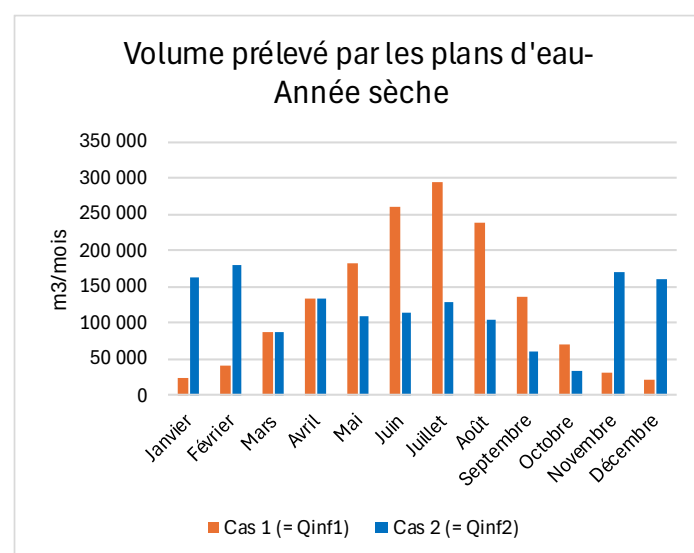


Tableau 68 : Volumes prélevés par les plans d'eau sur le territoire d'étude – Année sèche

8.5 Les prises d'eau et les biefs

Un bief est une dérivation artificielle d'un cours d'eau servant à alimenter en eau un ou des ouvrages tels que plans d'eau, moulins, prise d'eau, ...

Suivant les cas et les usages des équipements sur le bief, l'eau est restituée totalement ou seulement partiellement en aval.

Trois exemples de situations sont représentés dans les schémas ci-dessous, afin de montrer que la présence d'un bief peut avoir des impacts hydrologiques variés en fonction des usages associés (Figure 83) :

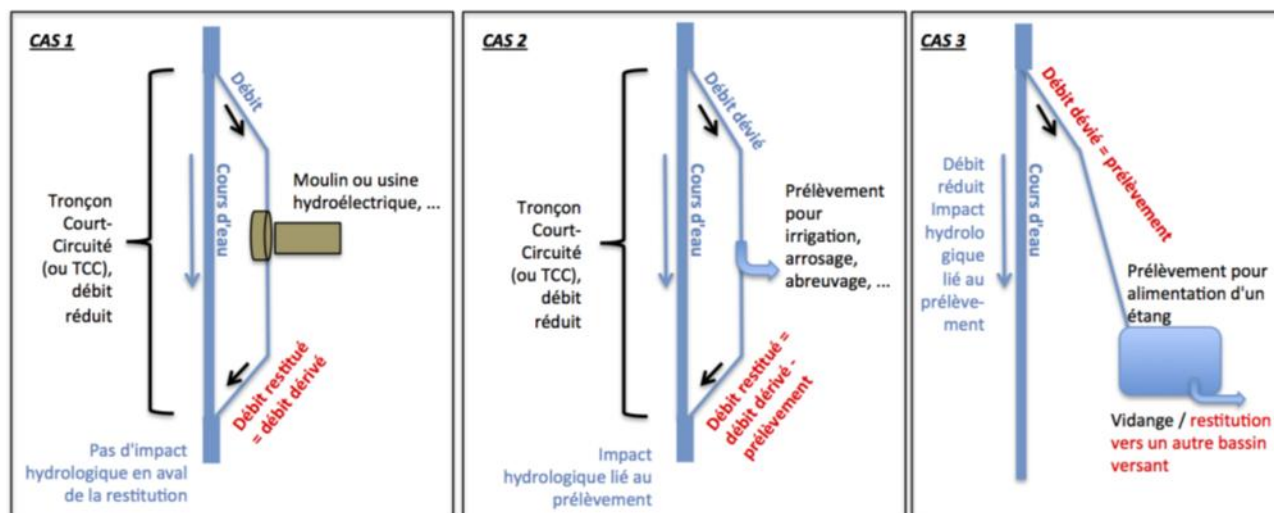


Figure 83 : Fonctionnements possibles d'un bief

- Dans le cas 1, il y a prélèvement mais ensuite restitution. Le débit restitué est égal au débit dérivé.
- Dans le cas 2, il y a prélèvement puis restitution. Le débit restitué est plus faible que le débit prélevé. L'usage associé au bief constitue un prélèvement.
- Dans le cas 3, le débit dérivé n'est pas du tout restitué. Le prélèvement associé au bief correspond au débit du bief lui-même.

Ces schémas permettent de bien comprendre qu'il faut distinguer l'impact local du bief sur le tronçon court-circuité, tant que l'eau n'a pas été restituée, et l'impact après restitution (qui est globalement nul sauf s'il y a eu un prélèvement dans le bief).

La liste exhaustive des obstacles à l'écoulement transmise par le maître d'ouvrage indique 65 biefs recensés comme étant encore en fonctionnement sur le bassin versant du Sornin.

A ce stade de la réflexion, ils ne seront pas considérés en tant que prélèvement. Ce point pourra être précisé suivant les enjeux.

8.6 Rejets et restitutions

8.6.1 Rejets d'assainissement

8.6.1.1 Assainissement collectif

Cf. Carte 26 : Rejets des STEU (source : Portail de l'Assainissement Collectif)

8.6.1.1.1 Données utilisées

La base de données du Portail de l'Assainissement Collectif recense 40 stations d'épuration sur le bassin versant du Sornin, et 6 sur celui du Jarnossin, pour une capacité totale de traitement d'environ 39 000 Equivalents Habitants (EH).

Seules 3 stations présentes des capacités supérieures à 5 000 EH, à savoir : La Clayette, Charlieu et Chauffailles.

Le Tableau 69 précise pour chaque masse d'eau du territoire d'étude la population estimée et la capacité des STEU (en EH). La dernière colonne présente l'écart entre capacité de traitement par les STEU et population estimée pour chaque masse d'eau :

- Quand la valeur est > 0 alors la majorité des rejets domestiques sont sans doute traités au sein de la masse d'eau,
- En revanche si la valeur est < 0 alors il est fort probable qu'une partie des effluents domestiques soient traités en dehors du bassin versant, et/ou que les dispositifs d'assainissement individuels (= assainissement non collectif) soient nombreux.

STEU (données : AELB)						
Bassin versant	Code	Masse d'eau	Nombre de STEU	Population	Capacité EH	Ecart Capacité EH / Population
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	11	6 679	11 990	5 311
	FRGR2262	Genette	3	2 731	500	-2 231
	FRGR0187	Botoret	10	8 542	8 552	10
	FRGR1740	Equetteries	0	584	0	-584
	FRGR1777	Bezo	1	2 120	100	-2 020
	FRGR1735	Chandonnet	6	2 093	1 220	-873
	FRGR1724	Aillant	3	557	380	-177
	FRGR0186	Sornin aval	6	5 827	12 623	6 796
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	6	4 209	3 785	-424
TOTAL			46	33 342	39 150	

Tableau 69 : Nombre de Stations de Traitement des Eaux Usées, capacité par bassin versant et comparaison avec la population résidente

N.B. : la capacité EH de la station de la Clayette est surdimensionnée par rapport à la population actuelle du fait d'un important passé industriel.

8.6.1.1.2 Méthodologie pour l'estimation des rejets

Le débit de rejet d'une station d'épuration est fonction de la quantité d'effluents reçue, qui dépend des habitations et bâtiments raccordés (eaux usées strictes) et d'éventuelles eaux parasites (permanentes ou temporaires). Considérant que les eaux parasites font partie des eaux « naturellement » présentes dans le bassin versant, **nous ne prendrons en considération que les rejets « eaux usées strictes »**.

Nous ne disposons que d'un suivi partiel des débits de rejets des stations d'épurations des eaux usées (RPQS). A ce stade, les rejets sont donc estimés sur la base du dimensionnement des ouvrages (capacité

nominale en EH) et d'une valeur de référence pour le rejet de 108 l/j/ EH (considérant la base d'une consommation d'eau potable de 120 l/j/EH avec 90% de l'eau consommée rejetée dans les réseaux d'eaux usées).

Concernant les variations mensuelles de ces rejets, nous avons considéré en première approche que les débits rejetés sont constants sur l'année.

Sur la zone d'étude, le milieu récepteur des rejets est systématiquement « eau douce de surface » (données ERU) : les rejets se font donc, directement ou indirectement, dans les cours d'eau.

8.6.1.1.3 Résultats sur le territoire d'étude

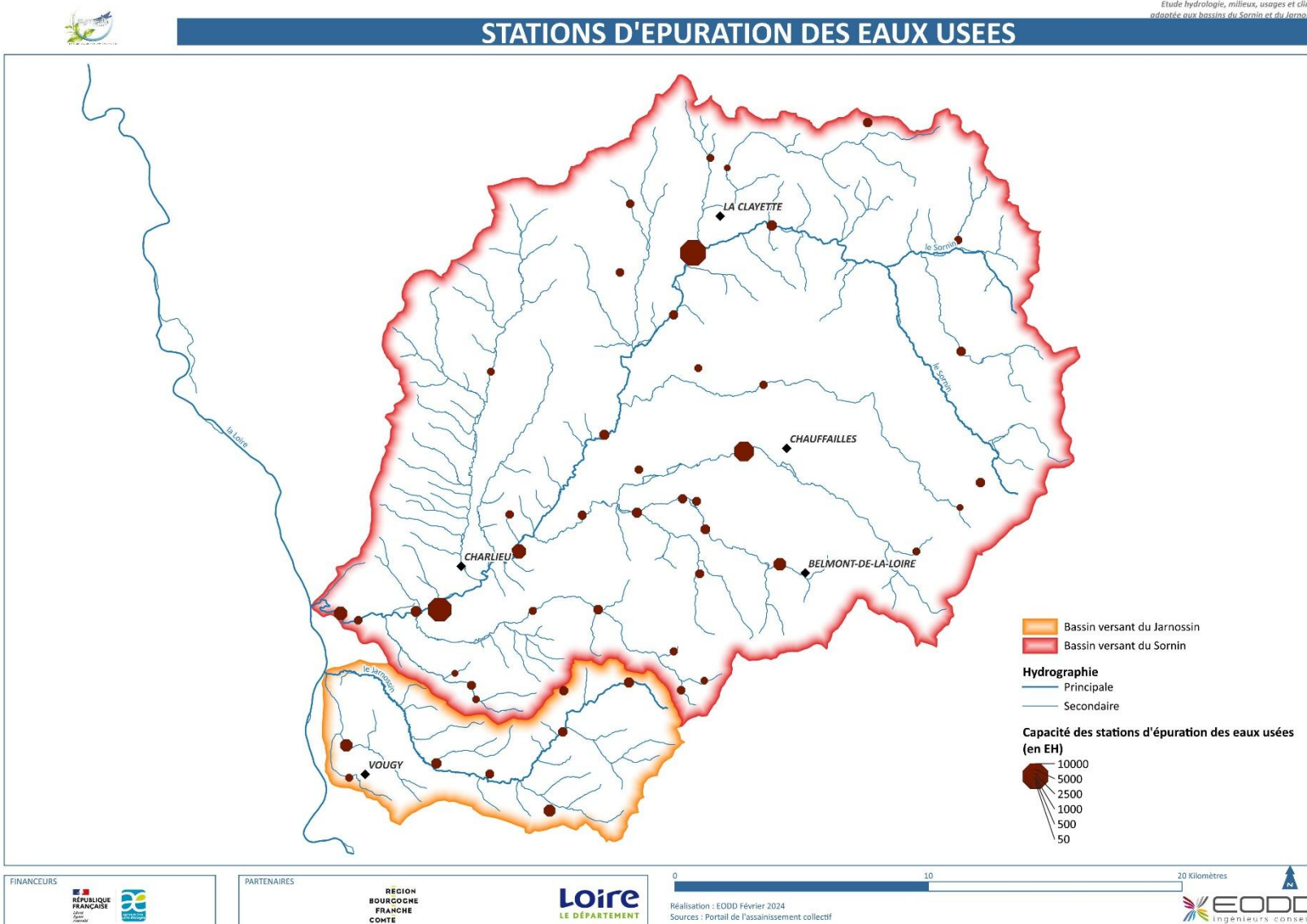
Le bilan indicatif en manière de volumes rejetés est présenté dans le Tableau 70 :

Bassin versant	Code	Masse d'eau	Capacité (EH)	Volume mensuel (m3)	Volume annuel (m3)
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	11 990	41 091	493 088
	FRGR2262	Genette	500	1 644	19 724
	FRGR0187	Botoret	8 552	28 113	337 351
	FRGR1740	Equetteries	0	0	0
	FRGR1777	Bezo	100	329	3 945
	FRGR1735	Chandonnet	1 220	3 024	36 291
	FRGR1724	Aillant	380	1 249	14 990
	FRGR0186	Sornin aval	12 623	42 498	509 971
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	3 785	14 316	171 792
TOTAL			39 150	132 263	1 587 150

Tableau 70 : Rejets des STEU

La totalité des rejets de STEU sera considérée comme pouvant influencer l'hydrologie des cours d'eau.

A l'échelle du territoire d'étude, ces rejets représentent environ 1,59 Mm³/an.



Carte 26 : Rejets des STEU (source : Portail de l'Assainissement Collectif)

8.6.1.2 Assainissement non collectif

Les rejets d'assainissements individuels sont le plus souvent éloignés du réseau hydrographique augmentant les pertes intermédiaires par infiltration puis évapotranspiration notamment en période estivale. Ainsi, même si des rejets directs au milieu superficiel existent, le volume restitué aux cours d'eau par l'assainissement non collectif est souvent faible (10-15% des volumes produits).

De plus, il est impossible d'estimer précisément le volume de ces rejets.

Sur le territoire d'étude, la capacité des stations de traitement des eaux usées est supérieure à la population résidente, les rejets domestiques y semblent donc principalement raccordés.

Dans le cadre de cette étude, il est donc considéré que les rejets d'assainissement non collectif sont négligeables par rapport aux autres rejets, et qu'ils n'ont aucune incidence significative sur l'hydrologie des cours d'eau.

8.6.2 Rejets liés à l'industrie

Actuellement, aucun rejet industriel n'est recensé sur le territoire d'étude (bases de données AELB et Portail de l'Assainissement Collectif).

8.6.3 Rejets liés aux plans d'eau

Les rejets des plans d'eau correspondent aux éventuelles phases de vidange (sauf pour les gravières pour lesquelles la vidange n'est pas possible). Les volumes correspondant sont difficiles à évaluer (fonction du niveau de remplissage de chaque ouvrage lors de la vidange).

Les rejets potentiels des plans d'eau ne sont donc pas estimés dans cette étude.

8.6.4 Biefs / prises d'eau

Comme évoqué lors du paragraphe sur les prélèvements, **les biefs ne seront pas non plus considérés en tant que rejets lors du diagnostic du territoire d'étude.**

8.7 Bilan des usages

8.7.1 Synthèses des prélèvements et rejets

Pour récapituler, les prélèvements concernent les usages suivants : eau potable (= AEP), élevage, irrigation et plans d'eau (évaporation).

Les rejets considérés sont uniquement associés à l'assainissement collectif (STEU).

Au total sur le territoire, les prélèvements sont estimés à :

- **En année moyenne : 3,1 Mm³/an,**
- **En année sèche : 3,5 Mm³/an.**
- **Au mois le plus sec en année sèche (= août QMN5) : 476 000 m³ en considérant le Cas 1 des plans d'eau, et 342 000 m³ en considérant le Cas 2.**

Les prélèvements « diffus » liés au plan d'eau représentant l'usage majoritaire sur le territoire d'étude en termes de volume (1,2 Mm³/an soit 39% du volume total prélevé sur le territoire en année moyenne). Les prélèvements diffus pour l'élevage (0,8 Mm³/an au total sur le territoire) représentent également une part importante du volume prélevé sur les masses d'eau de petites superficies.

Les prélèvements destinés à un usage AEP arrivent en 2^{ème} position en termes de volume (1,1 Mm³/an soit 33% du volume total prélevé sur le territoire en année moyenne), notamment sur les têtes de bassins versants en rive gauche du Sornin (Sornin amont, Botoret, Chandonnet). Aucun point de captage n'est recensé sur le bassin versant du Jarnossin en revanche.

Les prélèvements dans le milieu naturel destinés à l'irrigation restent marginaux à l'échelle du territoire, et cantonnés au bassin versant du Jarnossin.

Quant aux rejets (= assainissement uniquement), sur le territoire ils sont estimés à :

- **1,6 Mm³ en année moyenne comme en année sèche,**
- **136 000 m³ sur le mois sec de l'année sèche (= août QMN5).**

Les plus gros volumes de rejets concernent les masses d'eau du Sornin et du Botoret où se situent les principales villes.

Les Tableau 71 et Tableau 72 rappellent les bilans en termes de volumes des prélèvements et des rejets sur chaque masse d'eau en année moyenne et en année sèche.

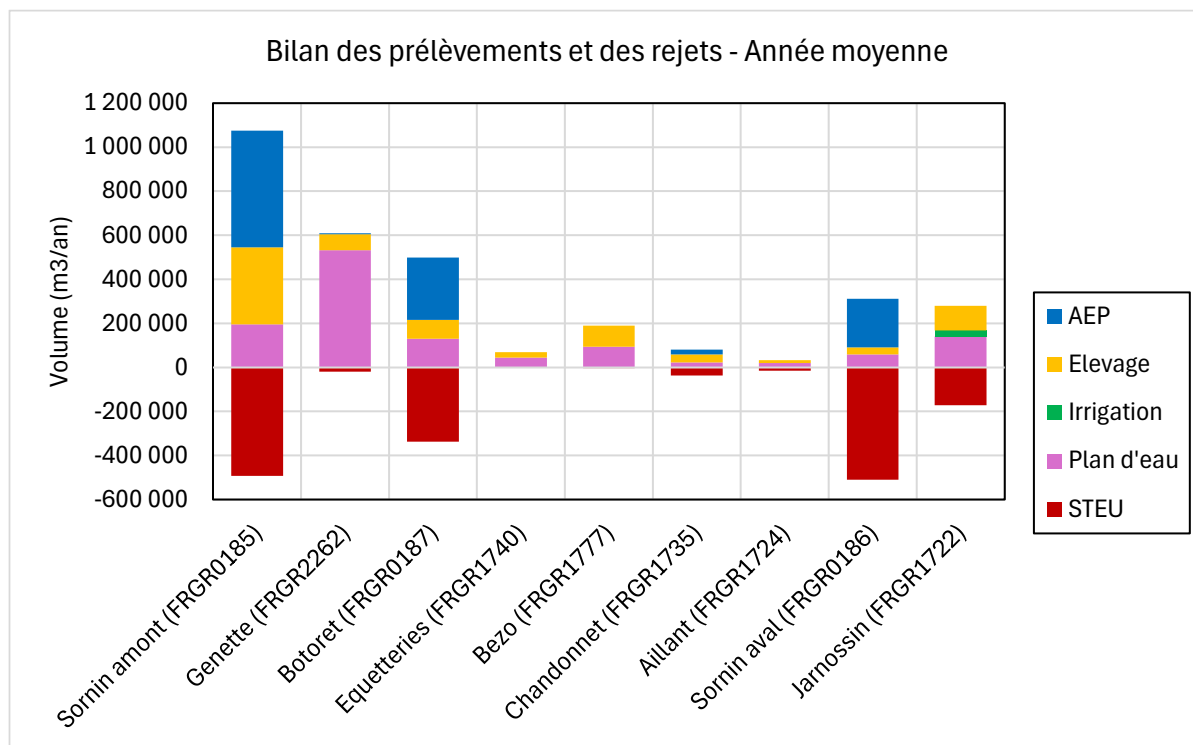
Une première approche du taux d'influence des usages à l'échelle de chaque masse d'eau est également présentée.

En année moyenne, on constate que l'influence hydrologique des usages est très faible à l'échelle de toutes les masses d'eau du territoire d'étude.

En année sèche :

- Sur la Genette l'influence hydrologique des usages devient modérée en raison des nombreux plans d'eau présents sur son bassin versant,
- Sur le Sornin aval l'influence hydrologique des usages est au contraire positive en raison d'importants rejets d'épuration (qui peuvent avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau en revanche),
- Partout ailleurs l'influence hydrologique reste très faible à faible.

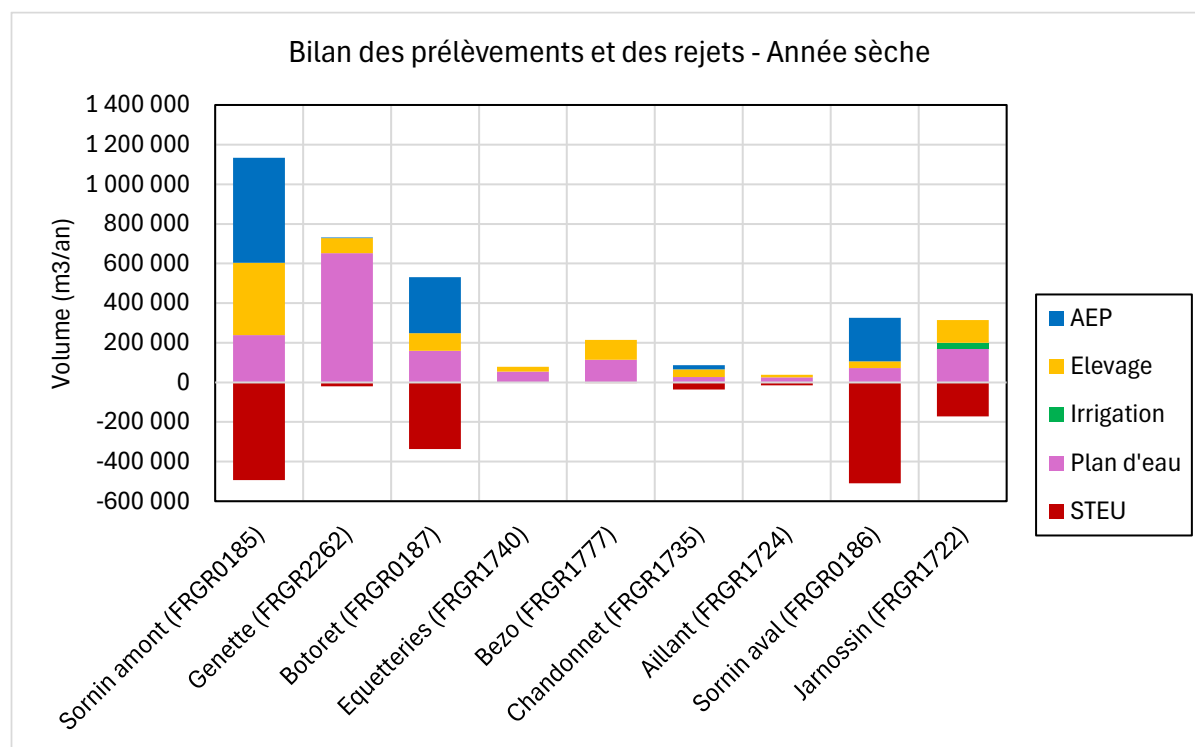
Volumés prélevés et rejetés dans la ressource naturelle par usage (m ³ /an) - Année moyenne							
Bassin versant	Code	Masse d'eau	AEP	Elevage	Irrigation	Plan d'eau	STEU
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	529 826	349 662	0	195 619	-493 088
	FRGR2262	Genette	3 391	72 744	0	532 584	-19 724
	FRGR0187	Botoret	282 280	86 402	0	129 829	-337 351
	FRGR1740	Equetteries	0	23 865	0	44 629	0
	FRGR1777	Bezo	0	95 606	0	93 401	-3 945
	FRGR1735	Chandonnet	20 753	36 942	0	22 344	-36 291
	FRGR1724	Aillant	0	12 148	0	20 368	-14 990
	FRGR0186	Sornin aval	219 826	32 120	0	58 912	-509 971
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	0	111 127	27 445	140 469	-171 792
TOTAL			1 056 076	820 616	27 445	1 238 155	-1 587 150



Année moyenne (m ³ /an)							
Bassin versant	Code	Masse d'eau	Ressource naturelle	Total des prél.	Total des rejets	Ressource influencée	% d'influence
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	96 764 473	1 075 107	-493 088	96 182 453	-0,6%
	FRGR2262	Genette	15 397 133	608 719	-19 724	14 808 138	-3,8%
	FRGR0187	Botoret	36 153 800	498 510	-337 351	35 992 640	-0,4%
	FRGR1740	Equetteries	7 185 081	68 494	0	7 116 587	-1,0%
	FRGR1777	Bezo	24 427 941	189 007	-3 945	24 242 879	-0,8%
	FRGR1735	Chandonnet	8 905 161	80 039	-36 291	8 861 413	-0,5%
	FRGR1724	Aillant	2 443 445	32 516	-14 990	2 425 918	-0,7%
	FRGR0186	Sornin aval	5 736 233	310 858	-509 971	5 935 346	3,5%
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	16 197 351	279 041	-171 792	16 090 102	-0,7%
TOTAL			213 210 618	3 142 292	-1 587 150	211 655 476	-0,7%

Tableau 71 : Bilan des prélèvements et des rejets – Année moyenne

Volumés prélevés et rejetés dans la ressource naturelle par usage (m3/an) - Année sèche							
Bassin versant	Code	Masse d'eau	AEP	Elevage	Irrigation	Plan d'eau	STEU
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	529 826	364 447	0	239 442	-493 088
	FRGR2262	Genette	3 391	75 807	0	651 942	-19 724
	FRGR0187	Botoret	282 280	90 038	0	158 916	-337 351
	FRGR1740	Equetteries	0	24 884	0	54 593	0
	FRGR1777	Bezo	0	99 708	0	114 253	-3 945
	FRGR1735	Chandonnet	20 753	38 545	0	27 323	-36 291
	FRGR1724	Aillant	0	12 675	0	24 894	-14 990
	FRGR0186	Sornin aval	219 826	33 493	0	71 998	-509 971
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	0	115 964	27 445	171 740	-171 792
TOTAL			1 056 076	855 559	27 445	1 515 101	-1 587 150



Année sèche (m3/an)							
Bassin versant	Code	Masse d'eau	Ressource naturelle	Total des prél.	Total des rejets	Ressource influencée	% d'influence
Sornin	FRGR0185	Sornin amont	15 155 946	1 133 716	-493 088	14 515 317	-4,2%
	FRGR2262	Genette	2 457 146	731 139	-19 724	1 745 731	-29,0%
	FRGR0187	Botoret	5 944 072	531 234	-337 351	5 750 188	-3,3%
	FRGR1740	Equetteries	1 204 673	79 477	0	1 125 196	-6,6%
	FRGR1777	Bezo	4 057 363	213 961	-3 945	3 847 347	-5,2%
	FRGR1735	Chandonnet	1 601 475	86 621	-36 291	1 551 145	-3,1%
	FRGR1724	Aillant	466 868	37 569	-14 990	444 289	-4,8%
	FRGR0186	Sornin aval	1 084 682	325 316	-509 971	1 269 336	17,0%
Jarnossin	FRGR1722	Jarnossin	2 963 727	315 149	-171 792	2 820 370	-4,8%
TOTAL			34 935 950	3 454 181	-1 587 150	33 068 919	-5,3%

Tableau 72 : Bilan des prélèvements et des rejets – Année sèche

8.7.2 Complément sur les restrictions en période de sécheresse

Lorsque les débits des cours d'eau deviennent insuffisants pour assurer l'ensemble des usages et le maintien de la vie aquatique, le préfet peut mettre en œuvre des mesures pour limiter ou suspendre provisoirement les usages de l'eau (articles L.211-3 et R.211-66 à R.211-70 du Code de l'environnement). Un arrêté préfectoral appelé arrêté-cadre sécheresse (un par département) définit des zones d'alerte, des points de surveillance, des valeurs seuils et les restrictions d'usage qui y sont associées.

Sur les bassins versants du Sornin et du Jarnossin, une coordination interdépartementale est menée pour définir l'un des 4 niveaux de limitation suivant la sévérité de l'épisode de sécheresse, avec des restrictions d'usages associées (Tableau 73) :

Usages	Vigilance	Alerte	Alerte renforcée	Crise	P	E	C	A	
Arrosage des fleurs et massifs fleuris		Interdit de 10 h à 18 h	Interdit		x	x	x	x	
Arrosage des pelouses		Interdit			x	x	x	x	
Arrosage des jardins potagers		Interdit de 10 h à 18 h	Interdit de 8 h à 20 h	Interdit de 8 h à 20 h De 20 h à 8 h, uniquement par arrosage au pied des plantes		x	x	x	x
Arrosage des espaces verts (hors pelouses, fleurs et massifs fleuris ainsi que jardins potagers)		Interdit sauf plantations (arbres et arbustes plantés en pleine terre depuis moins d'un an uniquement de 18 h à 10 h) et îlots de fraîcheur en milieu urbain dense (uniquement de 20 h à 8 h)		Interdit sauf îlots de fraîcheur en milieu urbain dense (uniquement une fois par semaine de 20 h à 8 h)		x	x	x	x
Remplissage et vidange de piscines privées de plus d'un m ²		Interdiction de remplissage sauf remise à niveau et premier remplissage si le chantier avait débuté avant les premières restrictions			Interdit		x		
Arrosage des terrains de sport (football, pistes pour chevaux, ...)		Interdit sauf terrain de compétition engazonné entre 10h et 18h		Interdit sauf terrain de compétition engazonné une fois par semaine entre 20 h et 8 h		x	x	x	
Pêche		Idem	Sensibilisation accrue des pêcheurs à l'état des populations piscicoles		Interdit sauf plan d'eau et retenues où la pêche est autorisée ou pêche scientifique ou de sauvegarde		x	x	x

Tableau 73 : Arrêté-cadre du département de la Loire et niveaux de restrictions associés (en cours de révision)

En situation de crise, il apparaît notamment que de nombreux usages de l'eau sont totalement interdits, comme l'arrosage des espaces verts, le remplissage des piscines ou la pêche.

Le déclenchement des niveaux de restrictions s'appuie sur des seuils de débits réglementaires en plusieurs points de surveillance des cours d'eau alentours :

- Pour la Saône-et-Loire : la portion du territoire dans le département 71 est située en zone d'alerte « Arconce et Sornin », avec comme station hydrométrique de référence l'Arconce à Montceaux-l'Étoile (K1173210),
- Pour la Loire : la portion du territoire dans le département 42 est situé en zone d'alerte « Rhins-Sornin », avec comme station hydrométrique de référence le Rhins à St-Vincent-de-Boisset (K0983011), le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu étant considéré comme station de secours,
- Pour le Rhône : la portion du territoire dans le département 69 est situé en zone d'alerte « Zone 1 », avec comme station hydrométrique de référence le Rhins à Amplepuis (K0943010).

L'historique des arrêtés sécheresses pour les secteurs du territoire d'étude (répartis sur 3 départements) a été téléchargé sur la période 2014-2022 (Tableau 74).

En raison de seuils réglementaires variables selon les cours d'eau pris en référence, les niveaux de restriction atteints pour une même année sont inégaux selon les départements : par exemple sur l'année 2019, 94 jours en situation de crise (en 6 arrêtés) ont été recensés en Saône-et-Loire, contre aucun sur le département de la Loire.

Sur l'ensemble de la chronique, 12 arrêtés impliquant un niveau de crise ont été recensés sur le département de la Saône-et-Loire, contre 1 seul (en 2020) sur le département de la Loire.

Rhône (69)

Saône-et-Loire (71)

Loire (42)

Date de mise en vigueur de l'arrêté sécheresse	Niveau de restriction	Durée de l'arrêté sécheresse (en jours)	Date de mise en vigueur de l'arrêté sécheresse	Niveau de restriction	Durée de l'arrêté sécheresse (en jours)	Date de mise en vigueur de l'arrêté sécheresse	Niveau de restriction	Durée de l'arrêté sécheresse (en jours)
09/07/2015	Alerte	14	02/07/2014	Alerte	21	13/06/2014	Vigilance	109
24/07/2015	Alerte renforcée	4	06/07/2015	Vigilance	9	01/07/2015	Vigilance	7
29/07/2015	Alerte renforcée	36	16/07/2015	Alerte	10	16/07/2015	Alerte	12
04/09/2015	Alerte renforcée	57	27/07/2015	Alerte renforcée	50	29/07/2015	Alerte	63
09/09/2016	Vigilance	52	30/07/2018	Alerte renforcée	14	02/09/2016	Vigilance	28
31/07/2018	Vigilance	13	14/08/2018	Alerte renforcée	23	19/07/2018	Vigilance	42
14/08/2018	Alerte	50	07/09/2018	Alerte renforcée	37	31/08/2018	Vigilance	10
04/10/2018	Alerte renforcée	21	15/10/2018	Crise	31	11/09/2018	Alerte	19
01/03/2019	Vigilance	30	12/06/2019	Vigilance	20	01/10/2018	Alerte	30
01/04/2019	Vigilance	84	03/07/2019	Alerte	12	01/07/2019	Vigilance	3
25/06/2019	Alerte	30	16/07/2019	Crise	10	05/07/2019	Vigilance	6
26/07/2019	Alerte renforcée	97	27/07/2019	Crise	13	12/07/2019	Vigilance	3
20/04/2020	Vigilance	98	10/08/2019	Crise	30	16/07/2019	Alerte	8
28/07/2020	Alerte	14	10/09/2019	Crise	9	25/07/2019	Alerte	6
12/08/2020	Alerte renforcée	41	20/09/2019	Crise	30	01/08/2019	Alerte	12
23/09/2020	Crise	20	21/10/2019	Crise	2	14/08/2019	Alerte	8
14/10/2020	Alerte renforcée	17	30/04/2020	Alerte	34	23/08/2019	Vigilance	27
24/05/2022	Alerte renforcée	22	04/06/2020	Alerte renforcée	19	20/09/2019	Alerte	56
16/06/2022	Alerte renforcée	35	24/06/2020	Alerte renforcée	14	23/04/2020	Vigilance	83
22/07/2022	Alerte renforcée	7	09/07/2020	Alerte renforcée	15	16/07/2020	Alerte renforcée	19
30/07/2022	Alerte renforcée	11	25/07/2020	Alerte renforcée	11	05/08/2020	Alerte renforcée	19
11/08/2022	Crise	49	06/08/2020	Crise	27	25/08/2020	Alerte renforcée	28
30/09/2022	Alerte renforcée	14	03/09/2020	Crise	34	23/09/2020	Crise	8
01/10/2022	Alerte	27	03/06/2022	Alerte	32	02/10/2020	Alerte renforcée	17
29/10/2022	Alerte	63	06/07/2022	Vigilance	15	27/08/2021	Vigilance	34
			22/07/2022	Alerte	15	24/05/2022	Vigilance	15
			07/08/2022	Alerte renforcée	3	09/06/2022	Vigilance	12
			11/08/2022	Crise	4	22/06/2022	Alerte	33
			16/08/2022	Crise	9	26/07/2022	Alerte renforcée	6
			26/08/2022	Crise	27	02/08/2022	Alerte renforcée	6
			23/09/2022	Alerte renforcée	22	09/08/2022	Alerte renforcée	35
						14/09/2022	Alerte renforcée	12
						27/09/2022	Alerte renforcée	21
						19/10/2022	Vigilance	12

Tableau 74 : Historique des arrêts sécheresse sur le territoire d'étude (période 2014-2022) (source : Vigieau)

8.7.3 Complément sur les usages non-consommateurs d'eau

8.7.3.1 Hydroélectricité

Sur le territoire d'étude, il n'existe qu'un seul ouvrage hydroélectrique recensé (cf. carte en annexe) : une centrale sur le Botoret au lieu-dit *Les Michaudons* (commune de Tancon). Cette installation utilise un débit de 2,3 à 2,8 m³/s (limite de la capacité du canal d'aménagé). La puissance obtenue est d'environ 250 kW avec un rendement d'environ 80%.

La microcentrale est en activité à partir du 1^{er} novembre (exceptionnellement, à partir du mois de septembre), jusqu'au 30 mars (voir 30 mai). Elle fonctionne ponctuellement le reste de l'année.

8.7.4 Complément sur le barrage de Villerest

Le barrage de Villerest est un barrage sur la Loire situé en amont de Roanne (en amont de la confluence avec le Sornin et le Jarnossin).

Bien que situé hors du territoire d'étude, il est intéressant de l'étudier au vu des enjeux sur la ressource en eau potable du territoire pouvant provenir de champs captant situés dans les alluvions en bordure de Loire en aval du barrage.

Les caractéristiques de l'ouvrage sont résumées ci-dessous (Figure 84) :

Barrage	
Type	Barrage poids-voûte
Hauteur (lit de rivière)	59 m
Longueur	469 m
Réservoir	
Nom	Lac de Villerest
Altitude maximale	324 m
Altitude normale	314 m
Volume	1 millions de m ³
Volume maximal	235 millions de m ³
Volume utile	167 millions de m ³
Superficie	7,7 km ²
Longueur	36 km
Centrale(s) hydroélectrique(s)	
Exploitant	EDF
Débit d'équipement	180 m ³ /s
Puissance installée	60 MW
Production annuelle	167 GWh/an

Figure 84 : Caractéristique du barrage de Villerest (source : Wikipedia)

Sa fonction principale est de réguler les débits de la Loire, en jouant un rôle d'écrêteur de crues lors des épisodes de fortes pluies (débits > 1000 m³/s = crue quinquennale), et inversement réaliser du soutien d'étiage en période de basses eaux.

Il est géré en relation avec le barrage de Naussac, afin de maintenir un débit minimal sur la Loire nécessaire au refroidissement des centrales nucléaires situées en aval.

Concernant les prélèvements en bord de Loire situés en aval du barrage, l'ouvrage a une influence car :

- Il peut entraver le transit sédimentaire (enfouissement du lit du fleuve = abaissement de la nappe),
- En revanche il maintient un débit « minimum » en période de basses eaux, ce qui est favorable aux usages associés au fleuve (eau potable, irrigation).

L'alimentation en eau potable du territoire d'étude étant en partie satisfaite par des captages situés le long de la Loire à l'aval du barrage de Villerest, ils peuvent être alors impactés par les modalités de gestion de l'ouvrage.

9. Diagnostic du territoire en situations actuelle et future

9.1 Influence sur l'hydrologie des cours d'eau

L'objectif de cette première étape d'analyse est d'évaluer si les débits « désinfluencés » des cours d'eau sont peu, moyennement ou fortement modifiés par les activités anthropiques.

L'impact des usages sur l'hydrologie d'un cours d'eau est estimé via le calcul d'un débit influencé :

$$\text{Débit influencé} = \text{débit désinfluencé} - \text{prélèvements} + \text{rejets}$$

9.1.1 Hypothèses de calcul

- Les calculs sont réalisés sur tous les points de calcul du bassin versant à l'échelle mensuelle, pour une « année moyenne » et une « année sèche », avec :
 - Débit désinfluencé = débit mensuel moyen ou sec suivant la situation considérée,
 - Prélèvements et rejets : débits mensuels moyens calculés par conversion des volumes mensuels estimés précédemment ($Q_{\text{mens}} (l/s) = V_{\text{mens}} (m^3/\text{mois}) \times 1000 / (\text{nbre jours mois} \times 24 \times 60 \times 60)$).
- Modalités de prise en compte des prélèvements :
 - Sur source : impact direct sur le cours d'eau en aval ; les volumes / débits prélevés le mois « n » sont affectés au bilan du mois « n » ;
 - Puits dans nappe alluviale du Sornin : les études et suivis hydrogéologiques montrent que l'alimentation de la nappe dépend clairement du Sornin en amont de la confluence du Bezo, et que les relations nappe-rivière semblent excellentes (niveau de la nappe très lié à celui du Sornin) ; comme notre analyse est réalisée au pas de temps mensuel, nous avons également considéré que les volumes prélevés au mois « n » affectaient le débit moyen du cours d'eau pour ce même mois.
- Les prélèvements et rejets « diffus » (notamment d'élevage), c'est-à-dire ne faisant pas l'objet de recensements mais uniquement d'estimations, ont été répartis sur le territoire en fonction de données à l'échelle communale. Cette répartition est donc une hypothèse de calcul et ne doit pas être considérée comme une réalité physique certaine.

9.1.2 Influence anthropique sur les débits des cours d'eau

Les débits influencés sont comparés aux débits désinfluencés pour estimer le taux d'influence de l'activité anthropique sur les débits des cours d'eau.

$$\text{Influence} = \text{débit influencé} - \text{débit désinfluencés} = \text{rejets} - \text{prélèvements}$$

$$\text{Taux d'influence} = \text{débit influencé} / \text{débit désinfluencé}$$

Un code couleur a été attribué pour mettre en évidence l'importance de l'influence anthropique sur les débits (Tableau 75).

Influence anthropique sur le débit du cours d'eau					
> +5%	+5% à -5%	-5% à -10%	-10% à -20%	-20% à -40%	< -40%
Soutien de débit	Très faible	Faible	Modérée	Forte	Très forte

Tableau 75 : Gammes d'influences retenues

N.B. : L'influence est positive lorsque les rejets sont supérieurs aux prélèvements.

Les taux d'influence sont calculés mois par mois, pour une année moyenne et une année sèche.

9.1.3 Marges d'incertitude

9.1.3.1 Nature des incertitudes

Plusieurs sources d'incertitudes peuvent être décrites :

- Incertitudes sur les données SAFRAN :
 - La spatialisation des données à l'échelle de mailles de 64 km² entraîne des incertitudes probables sur la donnée d'entrée, et notamment sur les petits bassins versants ;
 - Les erreurs liées aux paramètres d'entrée (notamment ETP) peuvent être compensées par le modèle lors du calage (Andréassian et al., 2004) et donc se répercuter ensuite sur la période modélisée.
- Sur les paramètres des bassins versants non-jaugés :
 - Il a été choisi de garder le même « jeu » de paramètres sur l'ensemble du bassin versant, ce qui peut constituer une source d'incertitude.
- La modélisation elle-même :
 - Malgré une performance satisfaisante lors du calage (KGE = 0.84), le modèle ne peut pas expliquer l'ensemble des variations observées dans les débits mesurés. Certaines dynamiques hydrologiques locales ou des interventions anthropiques non prises en compte peuvent ainsi générer des écarts entre les débits simulés et les débits réels.

9.1.3.2 Conséquences sur les résultats et précautions d'interprétation

Pour faciliter les calculs, les débits (prélèvements, rejets, débits naturels) sont présentés sans leur marge d'incertitude. **Il faut ainsi garder à l'esprit** que :

- Les variations d'une année à l'autre sont très importantes, or on parle ici d'années théoriques statistiques (année moyenne, année quinquennale sèche quinquennale), avec des débits mensuels correspondant également à des moyennes statistiques,
- Il existe des hétérogénéités très locales qui peuvent conduire à une répartition non homogène de la ressource en eau (phénomène de pertes des eaux, difficile à estimer au vu de l'échelle de l'étude). Il existe donc une marge d'incertitude significative sur la reconstitution des régimes naturels (environ 10% sur les débits en régime moyen et 20 à 50 % sur le QMNA5 et les débits mensuels),
- Il existe également une marge d'erreur dans l'estimation des prélèvements et les rejets, et leur répartition mensuelle, fonction de la qualité des données disponibles et des hypothèses considérées. Par exemple, les volumes (et donc débits) nécessaires pour l'abreuvement du bétail ne sont pas directement disponibles ; ils sont estimés à partir de données de cheptels théoriquement présent sur le secteur étudié. En réalité, si le cheptel n'est pas présent, les volumes prélevés sont nuls,
- Pour certains petits affluents, dont les débits naturels d'étiage sont extrêmement faibles, le moindre prélèvement se traduit par un taux d'influence très fort. Suivant le positionnement des points de calcul l'influence d'un usage (prélèvement ou rejet) sera plus ou moins mise en évidence (fonction notamment de la distance à l'usage considéré et de l'importance des apports naturels entre l'usage et le point de calcul),
- Enfin, réflexion à l'échelle mensuelle peut masquer des impacts plus forts sur des périodes plus courtes.

Les taux d'influence doivent donc être interprétés en ordre de grandeur, en tenant compte de la méthode de calcul et du contexte spécifique de chaque cours d'eau.

Pour avoir une comparaison avec la réalité actuelle du territoire, en Tableau 76 est présenté l'écart entre les débits mensuels de la station du Sornin (K1063010) et les débits influencés théoriques obtenus avec notre méthodologie, sur la période commune 2005-2023.

On constate que cet écart est faible sur le cœur des hautes eaux et basses eaux, mais relativement élevé sur les inter-saisons (début d'été et fin d'automne). Cet écart plus important lors des inter-saisons était déjà visible sur le ressource naturelle (cf. paragraphe 6.2.2) : il est lié aux difficultés inhérentes au modèle pour prendre en compte la vitesse de baisse de débit (début d'été) et le début de la période de recharge (fin d'automne).

Débits influencés (période 2005-2023)	Module	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Le Sornin à Pouilly-sous-Charlieu (K1063010)	5 920	10 577	9 313	6 928	7 312	5 955	3 771	3 085	1 868	1 897	2 796	8 191	9 343
SOR-11	5 732	9 946	8 555	6 253	5 635	4 677	3 175	2 658	1 983	2 284	3 673	9 345	10 183
Ecart relatif modélisé / mesuré (%)	-3,2%	-6,0%	-8,1%	-9,7%	-22,9%	-21,5%	-15,8%	-13,8%	6,2%	20,4%	31,3%	14,1%	9,0%

Tableau 76 : Ecart entre les débits influencés théoriques EODD et les débits mesurés à la station K1063010 (période 2005-2023)

Malgré ces incertitudes, l'utilisation du modèle GR4J reste la **solution la plus adaptée pour quantifier la ressource en eau disponible** sur le bassin versant. Sa capacité à restituer une chronique de débit journalière à différents points clés du territoire permet de mieux comprendre la **dynamique spatiale et temporelle** du fonctionnement hydrologique.

9.1.4 Résultats sur l'ensemble du territoire

Les Carte 27 et Carte 28 ci-après illustrent l'impact hydrologique d'origine anthropique au mois sec de l'année moyenne (QMNA1), et au mois sec de l'année sèche (QMN5 au mois d'août), soit pour **les mois les plus contraints en termes de ressources pour ces deux années théoriques**.

Ces taux sont calculés au niveau de chaque point de calcul définis (cf. paragraphe sur l'hydrologie désinfluencée), en prenant en compte les 2 cas considérés pour les plans d'eau (les 2 cartes sont mises en perspectives).

Pour le mois sec de l'année moyenne, il ressort que :

- Seul le bassin versant de la Genette est réellement impacté en raison du nombre important de plans d'eau sur la masse d'eau (impact hydrologique modéré en fermeture de masse d'eau en considérant le cas 2 des plans d'eau, et fort en considérant le cas 1),
- Sur le reste du territoire l'impact hydrologique est faible à très faible.

Pour le mois sec de l'année sèche, la situation évolue de la manière suivante (identique en prenant le cas 1 ou le cas 2 des plans d'eau) :

- L'impact hydrologique dépasse « théoriquement » 100% sur la Genette : cela signifie que l'alimentation des plans d'eau impacte l'intégralité du débit du cours d'eau avec notre modèle théorique (= prélèvement très nettement supérieur à la ressource disponible, comme illustré par la simulation journalière en Figure 85). Dans la réalité l'impact réel est probablement plus faible en raison des modalités de gestion propre à chaque plan d'eau que nous ne pouvons traiter dans le cadre de l'étude, et des fuites possibles sous les ouvrages,

- L'amont du Botoret est concerné par un impact hydrologique très fort, en raison d'un nombre important de captages destinés à l'alimentation en eau potable sur sa tête de bassin versant,
- En considérant le Cas 1 des plans d'eau, l'aval du Sornin et du Jarnossin subiraient un impact très fort en raison du cumul de prélèvement de tous les plans d'eau du bassin versant,
- Sur le reste du territoire d'étude l'impact hydrologique est modéré à fort (le débit des cours d'eau est globalement diminué de 20% à 30%).

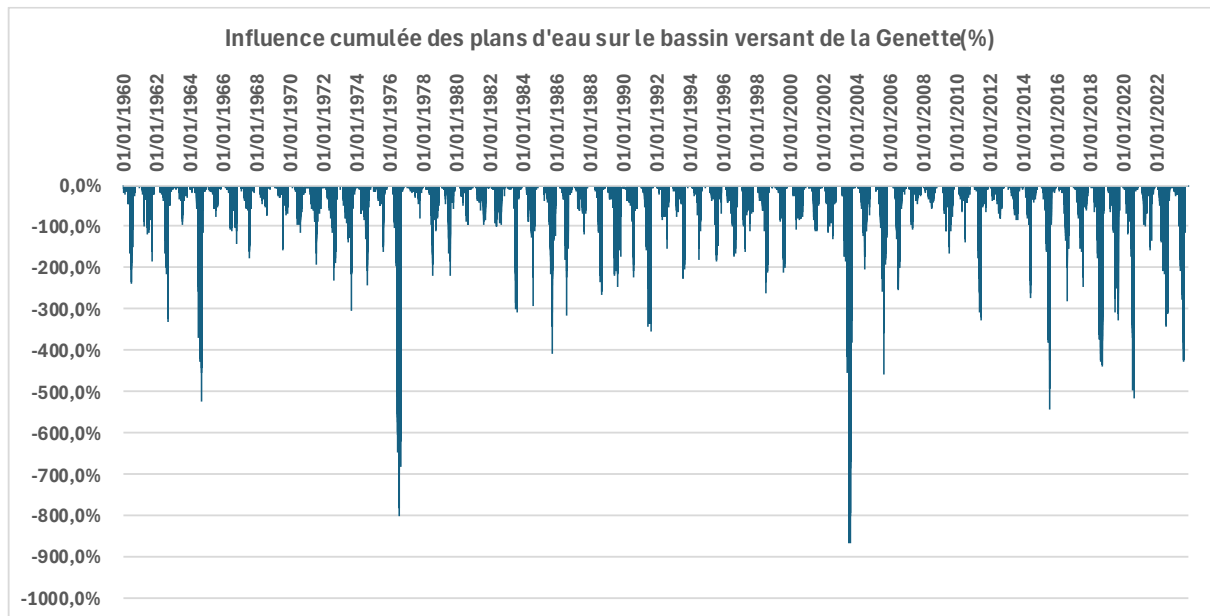
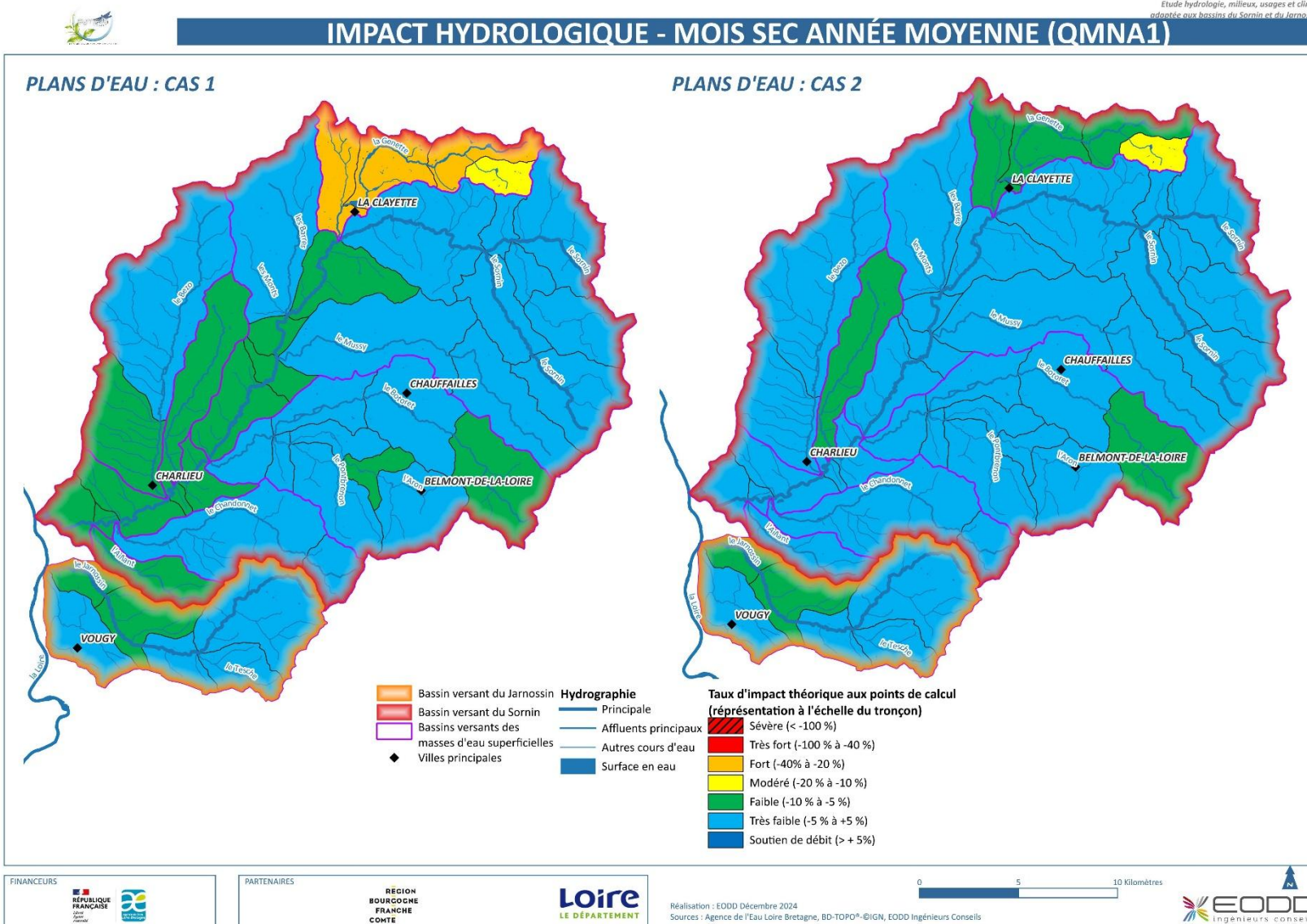
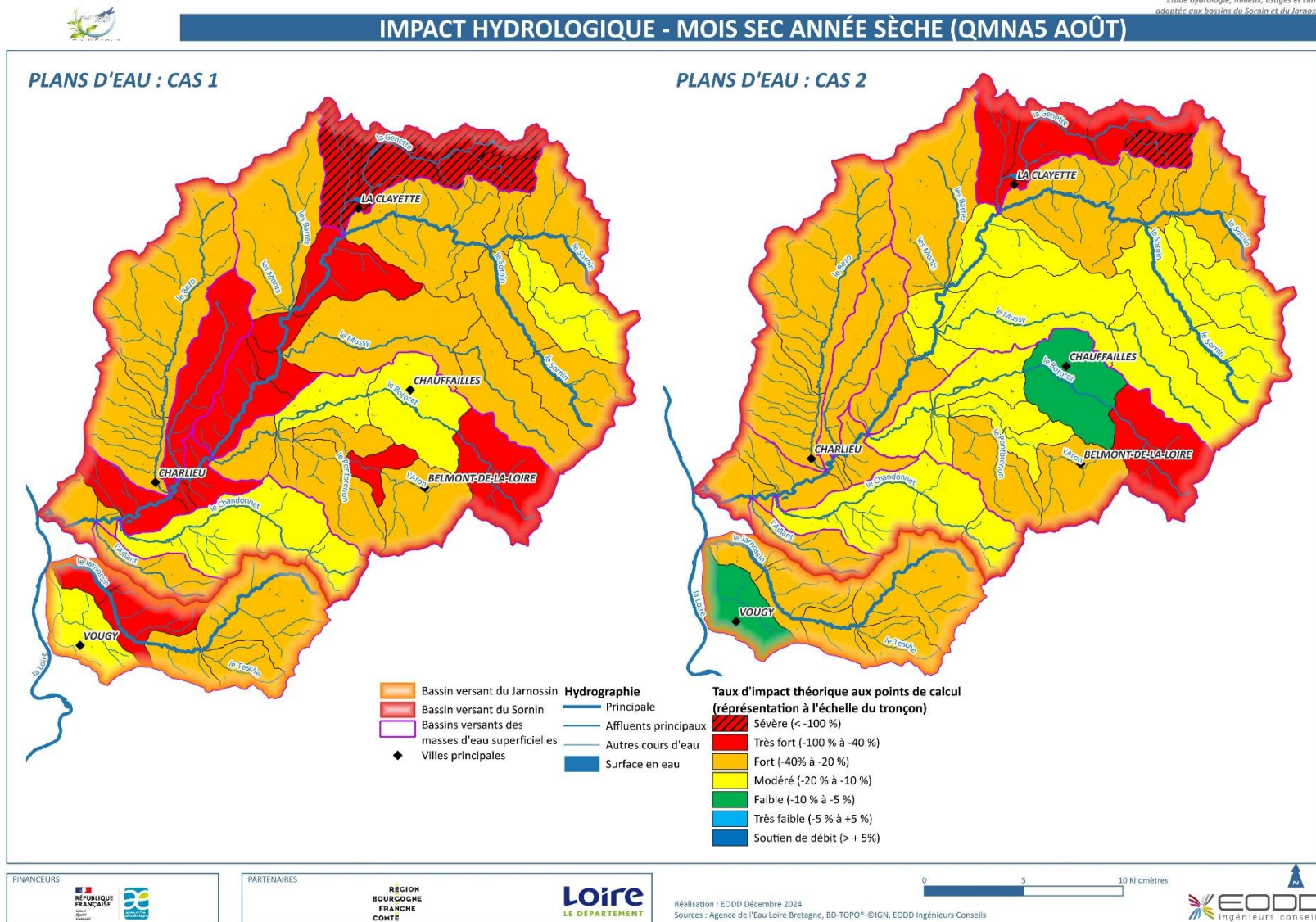


Figure 85 : Simulation journalière de l'influence cumulée des plans d'eau sur le débit de la Genette en fermeture de bassin versant (analyse effectuée à partir des données SAFRAN)



Carte 27 : Impact hydrologique – Mois sec année moyenne (QMNA1)



Carte 28 : Impact hydrologique - Mois sec année sèche (QMN5 août)

9.2 Prise en compte des milieux en basses eaux, analyse ESTIMHAB

9.2.1 Rappel sur la méthode ESTIMHAB

L'analyse ESTIMHAB est utilisée pour qualifier l'impact des usages sur les surfaces d'habitat piscicole. La méthode ESTIMHAB est décrite en détail dans le volet milieu. Pour résumer très succinctement, cette analyse nécessite de choisir des tronçons de cours d'eau à la morphologie peu modifiée par rapport à la situation naturelle. Deux campagnes de mesures sont réalisées au niveau de chaque station d'étude : l'une en basses eaux, l'autre en moyennes eaux. Les données obtenues permettent de tracer des courbes reliant surfaces d'habitats (paramètre SPU) et débits, avec une courbe par espèce-cible voire stade d'espèce-cible (Figure 86 : TRF-ADU = truite fario adulte, TRF-JUV = truite fario juvénile, lof = Loche franche, vai = Vairon).

N.B. : Ces espèces cibles sont variables suivant les cours d'eau. Elles ont été discutées et validées en concertation avec les acteurs compétents, sur la base de données de suivis piscicoles disponibles et des connaissances de terrain.

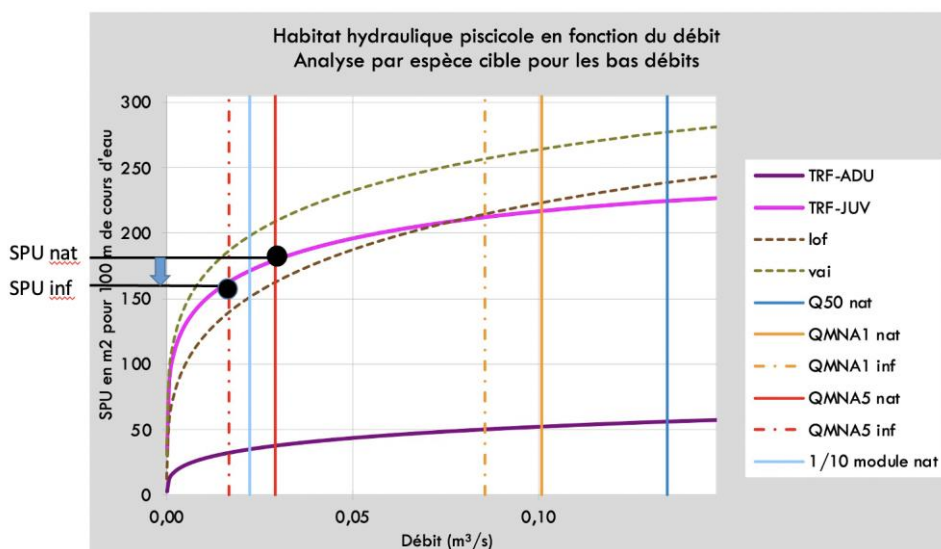


Figure 86 : Analyse ESTIMHAB

Pour une situation hydrologique donnée (débit moyen de juin, QMNA1, QMNA5, ...) l'analyse des courbes permet de fournir une valeur de la Surface Pondérée Utile (SPU) au débit naturel (SPU nat) et une valeur pour le débit influencé par les prélèvements et les rejets (SPU inf).

Comme pour l'influence hydrologique, des gammes d'influence sont proposées (Tableau 77) afin de préciser si l'influence anthropique sur la SPU est faible, modérée ou forte, en comparaison d'une situation avec des débits naturels.

$$\text{Influence} = \text{SPU influencée} - \text{SPU naturelle}$$

$$\text{Et Taux d'influence} = \text{Influence} / \text{SPU naturelle}$$

Influence la SPU					
> +5%	+5% à -5%	-5% à -10%	-10% à -20%	-20% à -40%	< -40%
Soutien de débit	Très faible	Faible	Modérée	Forte	Très forte

Tableau 77 : Gammes d'influences sur la SPU

9.2.2 Pertes de SPU liées à l'influence anthropique

9.2.2.1 Impacts actuels sur les surfaces d'habitats

Du fait des prélèvements sur chaque bassin versant, les débits de basses eaux sont réduits par rapport à la situation naturelle théorique, de manière plus ou moins marquée suivant les stations (cf. § précédent), entraînant des réductions plus ou moins fortes sur les surfaces d'habitats piscicoles.

L'évaluation de cet impact anthropique a été réalisée pour chaque mois pour l'impact hydrologique, et pour les mois de « basses eaux » pour l'impact sur les habitats piscicoles. Sont présentés ci-après les résultats au QMNA1 (mois sec de l'année moyenne) et au QMN5 min. (mois présentant le plus faible débit de l'année sèche), soit les mois les plus « défavorables » pour les années moyenne et sèche théoriques.

Le Tableau 78 ci-dessous récapitule les principales valeurs à retenir au niveau de chacune des stations ESTIMHAB, avec les impacts hydrologiques et sur les habitats piscicoles, estimés en situation influencée c'est-à-dire en tenant compte des prélèvements et des rejets. **Concernant les plans d'eau, le cas 1 (cas le plus défavorable – sans prise en compte de débits réservés, mais le plus probable sur le territoire) a été considéré** dans l'impact des prélèvements sur les surfaces d'habitat.

Point de calcul	Station	Cours d'eau	Situation influencée : Étiage, impact des prélèvements en comparaison de la situation naturelle			
			Impact hydrologique maximum (%) lié aux prélèvements et rejets		Impact maximal sur l'habitat hydraulique piscicole (%) lié aux prélèvements et rejets	
			Année moyenne (QMNA1)	Année sèche (QMNA5 août)	Année moyenne (QMNA1)	Année sèche (QMNA5 août)
22	ARO_EST	Aron	-5%	-32%	-1%	-8%
32	BEZ_EST	Bézo	-6%	-36%	-2%	-14%
19	BOT_EST	Botoret	-9%	-54%	-2%	-17%
34	CHA_EST	Chandonnet	-2%	-15%	-1%	-2%
29	EQU_EST	Équetteries	-7%	-45%	-1%	-12%
42	JAR_EST	Jarnossin	-7%	-44%	-2%	-21%
15	MUS_EST	Mussy	-3%	-21%	-1%	-9%
28	SOR_EST	Sornin	-6%	-44%	-2%	-19%
1	SPR_EST	Sornin à Propière	-3%	-20%	-1%	-12%
4	SSI_EST	Sornin à St-Igny	-2%	-11%	-1%	-5%

Tableau 78 : Synthèse des pertes de SPU sur les cours d'eau - Cas 1 pour les plans d'eau

En année moyenne l'impact des prélèvements sur l'hydrologie reste globalement faible à très faible, avec un maximum de 9% sur le Botoret. Cette faible incidence hydrologique se traduit par un impact très faible sur les surfaces d'habitat pour l'ensemble des stations étudiées..

Pour l'année sèche, l'impact hydrologique est fort à très fort pour la quasi-totalité des cours d'eau (exceptés le Chandonnet et le Sornin de St-Igny). Cela se traduit par un impact plus marqué sur les habitats piscicoles notamment :

- Pour le Bézo, le Botoret, les Équetteries, le Sornin de Propières et le Sornin aval, avec un impact moyen ;
- Pour le Jarnossin avec un impact fort.

Le Tableau 79 après présente les **taux d'impacts hydrologiques et sur les habitats hydrauliques en considérant le cas 2 pour les plans d'eau** (présence de débits réservés pour les plans d'eau sur cours d'eau ou alimentés à partir d'un cours d'eau – cf. § 6.2.2.4), afin d'avoir une vision comparative des deux hypothèses.

Point de calcul	Station	Cours d'eau	Situation influencée : Étiage, impact des prélèvements en comparaison de la situation naturelle			
			Impact hydrologique maximum (%) lié aux prélèvements et rejets		Impact maximal sur l'habitat hydraulique piscicole (%) lié aux prélèvements et rejets	
			Année moyenne (QMNA1)	Année sèche (QMNA5 août)	Année moyenne (QMNA1)	Année sèche (QMNA5 août)
22	ARO_EST	Aron	-5%	-22%	-1%	-5%
32	BEZ_EST	Bézo	-6%	-30%	-2%	-11%
19	BOT_EST	Botoret	-9%	-51%	-2%	-16%
34	CHA_EST	Chandonnet	-2%	-13%	-1%	-2%
29	EQU_EST	Équetteries	-7%	-32%	-1%	-8%
42	JAR_EST	Jarnossin	-7%	-34%	-2%	-16%
15	MUS_EST	Mussy	-3%	-13%	-1%	-5%
28	SOR_EST	Sornin	-6%	-19%	-2%	-7%
1	SPR_EST	Sornin à Propière	-3%	-14%	-1%	-8%
4	SSI_EST	Sornin à St-Igny	-2%	-11%	-1%	-5%

Tableau 79 : Synthèse des pertes de SPU sur les cours d'eau - Cas 2 pour les plans d'eau

En année moyenne l'impact des prélèvements sur l'hydrologie reste globalement faible à très faible, avec un maximum de 9% sur le Botoret, **sans grande différence avec le bilan réalisé en tenant compte du cas 1 pour les plans d'eau.**

Cette faible incidence hydrologique se traduit par un impact toujours très faible sur les surfaces d'habitat pour l'ensemble des stations Estimhab.

En année sèche, le bilan apparait par contre moins défavorable pour les milieux, avec une incidence hydrologique qui reste significative mais bien moindre sur la plupart des cours d'eau les plus fortement impactés (- 5 à -10%, jusqu'à -20% à l'échelle du Sornin).

Cela se traduit par une **incidence moins marquée sur les habitats hydrauliques piscicoles**, qui est au maximum « moyenne » pour quelques stations et faible pour la plupart.

Ces pertes de SPU s'ajoutent néanmoins aux pertes naturelles d'habitat en basses eaux par rapport aux conditions médianes d'écoulement.

Note : il n'a pas été réalisé de protocole micro-habitats sur l'aval de la Genette, considérant le caractère très « altéré » de ce cours d'eau, notamment du fait de la présence de très nombreux plans d'eau.

En synthèse :

L'impact hydrologique actuel des plans d'eau (en considérant l'absence de débit réservé pour la plupart de ceux qui sont implantés sur cours d'eau ou alimentés par cours d'eau – cas 1) est plutôt faible en année moyenne, mais très marqué en conditions sèches, avec pour conséquences un impact significatif sur les habitats hydrauliques pour la plupart des cours d'eau étudiés.

En considérant une hypothèse plus favorable (avec présence d'un dispositif de débit réservé pour les plans d'eau sur cours d'eau ou alimentés par cours d'eau – cas 2), l'impact hydrologique et sur les habitats hydrauliques reste faible à très faible en année moyenne (peu d'écart avec la situation précédente), mais est nettement moins marqué en année sèche (-5 à -10% d'impact hydrologique et sur les habitats). La mise en conformité des plans d'eau (mise en place d'un débit réservé réglementaire), constitue donc un levier majeur d'amélioration de l'état des cours d'eau.

Il est toutefois important de préciser que sur la période de basses eaux et plus spécifiquement celle où les débits sont les plus bas (période d'étiage, débit inférieur ou égal au QMNA5 en particulier), les cours d'eau sont déjà très contraints par ces débits très faibles, et que toute diminution de débit supplémentaire viendra encore accentuer cette contrainte (de plus en plus marquée sous l'effet du changement climatique).

9.2.2.2 Impacts potentiels futurs

En gardant les prélèvements actuels mais en tenant compte de la ressource en eau future, une réévaluation de l'impact sur les milieux a été réalisée. Pour la ressource future, la projection « France » (projection considérée comme la plus contraignante) a été considérée.

Le tableau ci-dessous reprend les taux d'impacts hydrologiques maximums :

- En situation actuelle, taux d'impact lié aux prélèvements ;
- En situation future, taux d'impact lié aux prélèvements et au changement climatique.

Taux d'impact hydrologique maximum							
Station	Cours d'eau	Année moyenne (QMNA1)			Année sèche (QMN5 août)		
		Actuel (1991-2020)	Futur (2041-2070)	Écart	Actuel (1991-2020)	Futur (2041-2070)	Écart
ARO_EST	Aron	-5%	-80%	-75%	-23%	-62%	-39%
BEZ_EST	Bézo	-6%	-77%	-71%	-30%	-60%	-30%
BOT_EST	Botoret	-9%	-81%	-72%	-51%	-81%	-30%
CHA_EST	Chandonnet	-2%	-78%	-76%	-13%	-53%	-40%
EQU_EST	Équetteries	-7%	-75%	-68%	-32%	-60%	-28%
JAR_EST	Jarnossin	-7%	-76%	-69%	-34%	-56%	-22%
MUS_EST	Mussy	-3%	-74%	-71%	-13%	-53%	-40%
SOR_EST	Sornin	-8%	-76%	-68%	-19%	-59%	-40%
SPR_EST	Sornin à Propière	-3%	-71%	-68%	-14%	-61%	-47%
SSL_EST	Sornin à St-Igny	-2%	-71%	-69%	-11%	-60%	-49%

Tableau 80 : Impact sur l'hydrologie des usages actuels en situation actuelle et future

En année sèche comme en année moyenne, l'impact hydrologique s'accroît du fait du changement climatique. En année moyenne, l'écart entre la situation actuelle et future est plus marqué qu'en année sèche.

Le tableau ci-dessous reprend les taux d'impact maximums sur l'habitat en année moyenne et en année sèche en situation actuelle et en situation future.

Taux d'impact maximum sur les surfaces d'habitats							
Station	Cours d'eau	Année moyenne (QMNA1)			Année sèche (QMN5 août)		
		Actuel (1991-2020)	Futur (2041-2070)	Écart	Actuel (1991-2020)	Futur (2041-2070)	Écart
ARO_EST	Aron	-1%	-29%	-28%	-6%	-20%	-14%
BEZ_EST	Bézo	-2%	-39%	-37%	-11%	-26%	-15%
BOT_EST	Botoret	-2%	-30%	-28%	-16%	-33%	-17%
CHA_EST	Chandonnet	-1%	-16%	-15%	-3%	-9%	-6%
EQU_EST	Équetteries	-1%	-23%	-22%	-8%	-18%	-10%
JAR_EST	Jarnossin	-2%	-42%	-40%	-16%	-28%	-12%
MUS_EST	Mussy	-1%	-39%	-38%	-5%	-26%	-21%
SOR_EST	Sornin	-3%	-39%	-36%	-7%	-27%	-20%
SPR_EST	Sornin à Proprière	-1%	-48%	-47%	-8%	-41%	-33%
SSI_EST	Sornin à St-Igny	-1%	-44%	-43%	-5%	-36%	-31%

Tableau 81 : Impact des prélèvements sur les habitats en situation actuelle et future

Concernant les taux d'impact sur les habitats, toujours en comparaison de la situation naturelle actuelle, les impacts s'accroissent plus fortement en année moyenne qu'en année sèche du fait de la baisse liée au changement climatique plus marquée sur les débits.

L'évolution de la ressource induit une diminution significative des surfaces d'habitats pour le futur. En effet, l'année moyenne subirait des impacts forts à très forts. Seule la station du Chandonnet subirait une perte de moins de 20 %. L'écart entre les pertes actuelles et futures varie entre -16 et -47 %.

En année sèche, la plupart des stations subirait un impact fort. En situation actuelle les impacts sont considérés comme faibles à moyens. La situation va se dégrader fortement avec le changement climatique : en comparaison de la situation actuelle, les impacts seront forts à très forts sur les surfaces d'habitats.

En conservant les mêmes usages qu'actuellement, l'évolution de la ressource induirait un impact bien plus important sur les surfaces d'habitats que les prélèvements.

Les impacts maximaux seraient aussi décalés sur la période septembre-octobre alors qu'ils sont actuellement plutôt sur la période août. Les prélèvements accentuent les impacts du changement climatique (cf. tableau ci-contre).

Point de calcul	Station	Cours d'eau	Mois impact max. - Actuel	Mois impact max. - Futur
22	ARO_EST	Aron	Août	Septembre-Octobre
32	BEZ_EST	Bézo	Août	Septembre-Octobre
19	BOT_EST	Botoret	Août	Septembre-Octobre
34	CHA_EST	Chandonnet	Juillet	Septembre-Octobre
29	EQU_EST	Équetteries	Août	Septembre-Octobre
42	JAR_EST	Jarnossin	Juillet	Septembre-Octobre
15	MUS_EST	Mussy	Août	Septembre-Octobre
28	SOR_EST	Sornin	Août	Septembre-Octobre
1	SPR_EST	Sornin à Proprière	Août	Septembre-Octobre
4	SSI_EST	Sornin à St-Igny	Août	Septembre-Octobre

9.3 Analyse des incidences sur l'ensemble de l'année

Sur la période hors basses eaux, les investigations de terrains sont toujours en cours pour définir les besoins milieux et donc les incidences potentielles des usages sur cette période, pour la composante habitat hydraulique.

L'analyse détaillée concernant cette période « hors basses eaux » sera produite ultérieurement.

Les illustrations ci-dessous présentent les analyses réalisées au pas de temps mensuelle, pour l'ensemble de l'année, avec évaluation des taux d'impacts hydrologiques et sur les habitats hydrauliques (uniquement pour la période de basses eaux), mois par mois, en année moyenne et année sèche, en situation actuelle et en situation future.

9.3.1 Situation actuelle

Le Botoret est le cours d'eau présentant l'impact le plus élevé sur l'hydrologie en année moyenne. En dehors des mois de juillet et août, les prélèvements impactent aussi fortement les débits sur les mois d'avril à juin et de septembre. En période estivale, l'impact devient faible (entre -6 et -8 %) entre décembre et février.

		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jn	Jt	At	Sep	Oct	Nov	Déc
Impact en année moyenne	Sur l'hydrologie	-1%	-2%	-2%	-3%	-3%	-5%	-7%	-9%	-5%	-2%	-1%	-1%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	0%	-1%	-1%	-2%	-2%	-1%	HBE	HBE	HBE
Impact en année sèche	Sur l'hydrologie	-6%	-8%	-12%	-24%	-23%	-29%	-47%	-51%	-38%	-20%	-13%	-6%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	-6%	-6%	-8%	-14%	-16%	-11%	HBE	HBE	HBE
					TRF-ADU	TRF-ADU	TRF-ADU	TRF-ADU	TRF-ADU	TRF-ADU			

Tableau 82 : Impact des prélèvements sur hydrologie et les surfaces d'habitat - Botoret

A l'inverse, pour d'autres stations, en dehors des mois de juillet et août, l'impact reste très faible à faible. C'est notamment le cas du Sornin de Propières

		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jn	Jt	At	Sep	Oct	Nov	Déc
Impact en année moyenne	Sur l'hydrologie	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-2%	-3%	-1%	0%	0%	0%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	0%	HBE	HBE
Impact en année sèche	Sur l'hydrologie	-1%	-2%	-1%	-3%	-4%	-8%	-12%	-14%	-8%	-4%	-3%	-1%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	-2%	-2%	-4%	-7%	-8%	-4%	-2%	HBE	HBE
					CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA	CHA		

Tableau 83 : Impact des prélèvements sur l'hydrologie et les surfaces d'habitat - Sornin de Propières

9.3.2 Situation future

En considérant les deux exemples précédents, les impacts sur l'hydrologie deviennent plus importants, le tout sur une durée plus longue. En effet, pour l'année sèche, l'impact devient très fort sur le Botoret d'avril à novembre.

		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jn	Jt	At	Sep	Oct	Nov	Déc
Impact en année moyenne	Sur l'hydrologie	31%	63%	38%	-5%	-14%	-24%	-46%	-62%	-81%	-50%	-4%	-18%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	-1%	-2%	-5%	-12%	-19%	-30%	HBE	HBE	HBE
Impact en année sèche	Sur l'hydrologie	30%	38%	4%	-43%	-55%	-62%	-74%	-80%	-81%	-76%	-43%	-5%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	-12%	-17%	-20%	-28%	-32%	-33%	HBE	HBE	HBE

Tableau 84 : Impact futur sur l'hydrologie et les surfaces d'habitats – Botoret

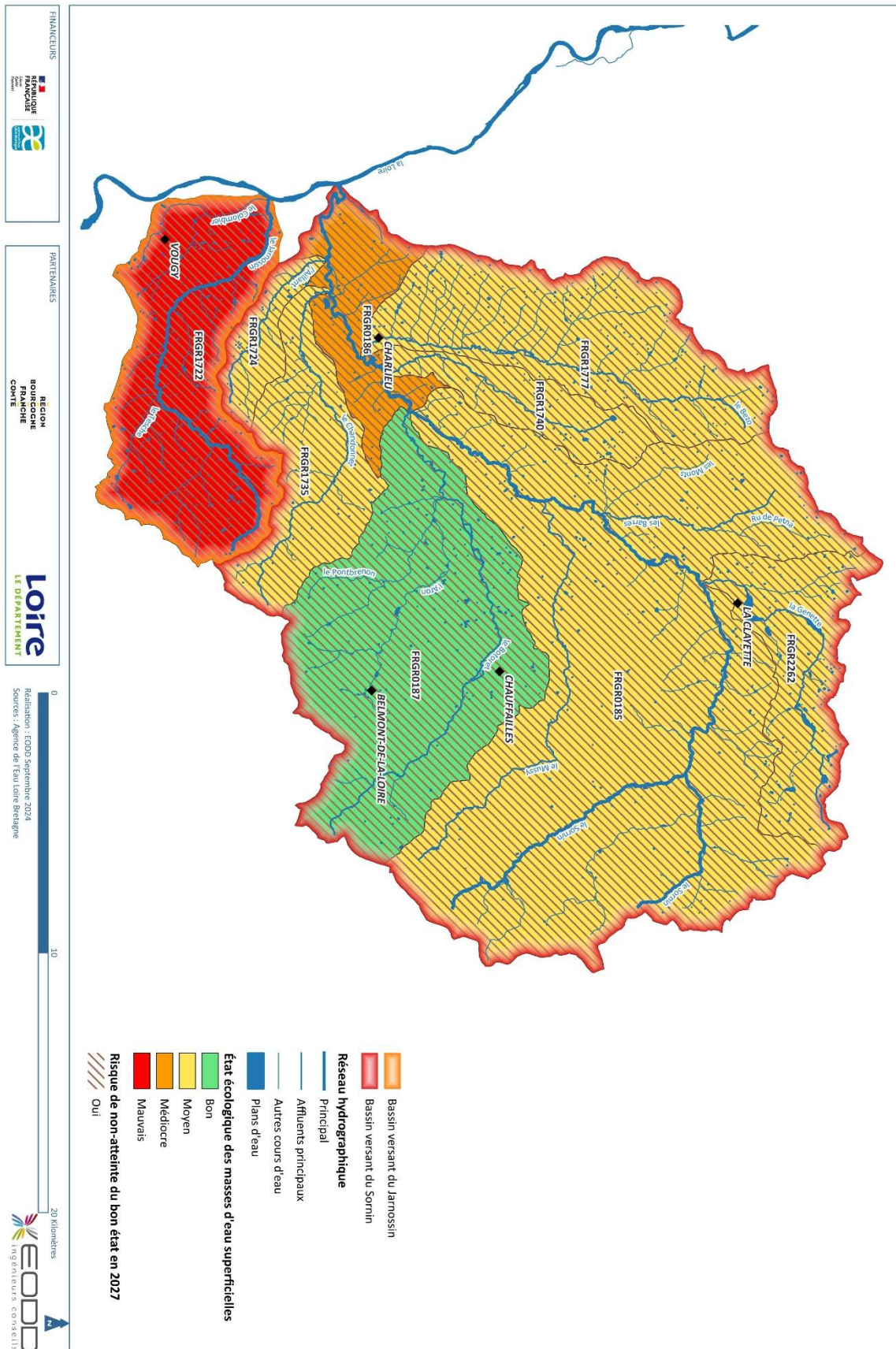
Pour le Sornin de Propières, le constat est le même avec un impact sur l'hydrologie devenant fort d'avril à juillet et très fort d'août à octobre.

		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jn	Jt	At	Sep	Oct	Nov	Déc
Impact en année moyenne	Sur l'hydrologie	36%	66%	34%	-6%	-14%	-22%	-37%	-58%	-71%	-41%	1%	-14%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	-3%	-7%	-12%	-22%	-38%	-48%	-23%	HBE	HBE
Impact en année sèche	Sur l'hydrologie	37%	43%	8%	-31%	-37%	-39%	-40%	-45%	-55%	-61%	-18%	16%
	Sur l'habitat hydraulique *	HBE	HBE	HBE	-18%	-23%	-24%	-24%	-28%	-36%	-41%	HBE	HBE

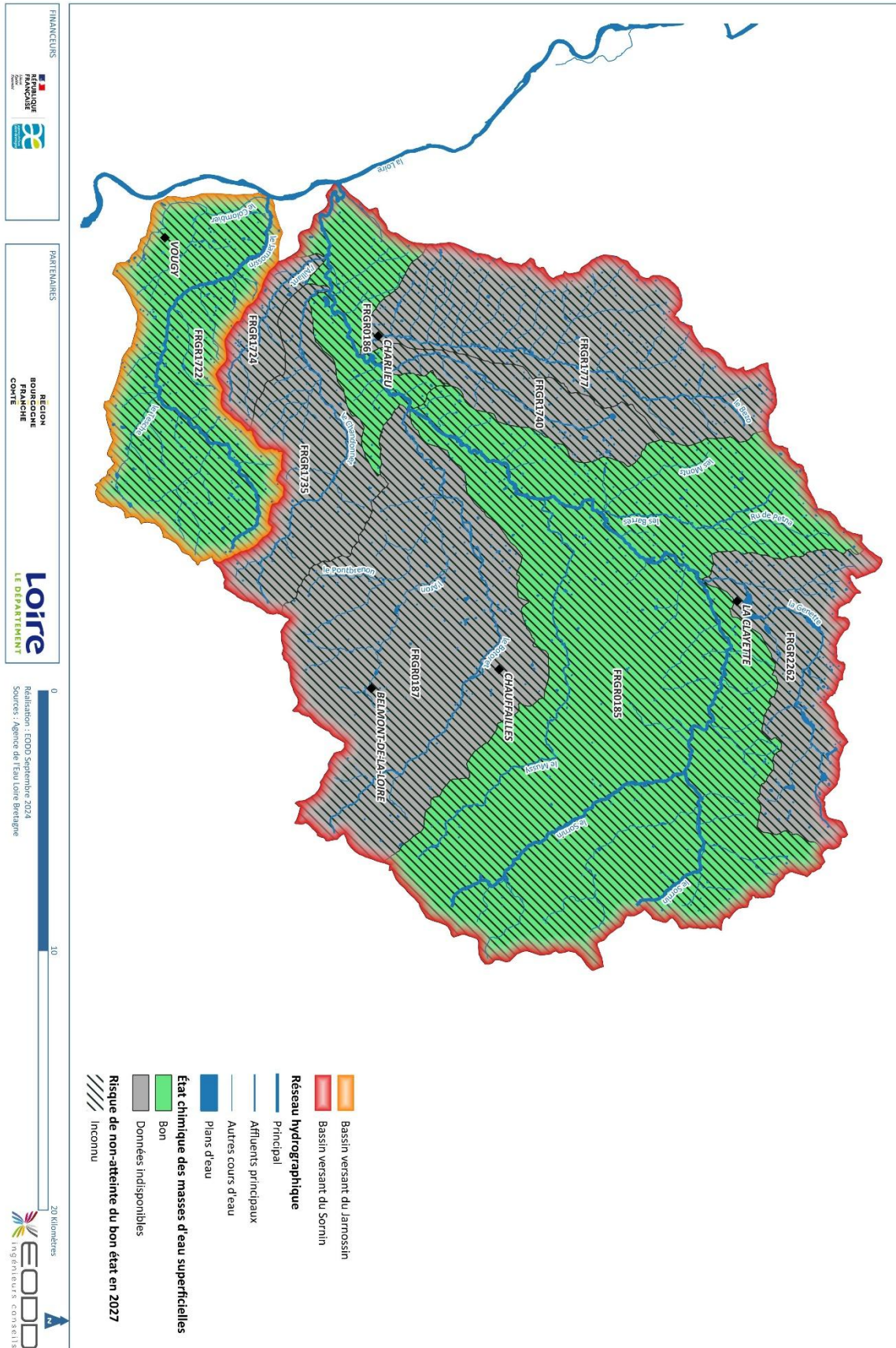
Tableau 85 : Impact futur sur l'hydrologie et les surfaces d'habitats – Sornin de Propières

Ces analyses sont disponibles pour toutes les stations de mesures ESTIMHAB (cf. fiches annexées).

ANNEXE 1 : ETAT ECOLOGIQUE



ANNEXE 2 : ETAT CHIMIQUE



ANNEXE 3 : RESSOURCE NATURELLE EN SITUATION ACTUELLE – ANNEE MOYENNE

Code Tronçon	N°	Année moyenne												
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Module
SOR-1	1	469	394	305	242	205	160	114	72	117	297	497	504	281
SOR-2	2	781	655	506	391	339	252	176	115	184	476	812	832	460
SSB-1	3	510	429	338	245	229	155	104	75	116	295	513	540	296
SSI-1	4	360	303	234	185	157	122	87	55	89	227	381	387	216
SSI-2	5	470	395	306	238	206	155	109	71	114	290	491	503	279
SSB-2	6	1 076	905	706	528	477	337	232	159	250	639	1 100	1 144	630
SOR-3	7	2 578	2 158	1 676	1 254	1 126	796	545	374	589	1 513	2 624	2 725	1 497
GEN-Aff-1	8	119	99	77	56	52	35	23	17	26	67	118	124	68
GEN-1	9	346	288	224	162	150	100	67	48	75	193	343	361	196
GEN-2	10	610	508	394	285	264	176	117	85	131	339	604	635	346
GEN-3	11	869	720	558	402	372	247	164	119	183	476	855	900	489
SOR-4	12	3 790	3 161	2 453	1 813	1 643	1 139	773	539	843	2 174	3 814	3 978	2 177
BAR-1	13	747	614	473	339	313	206	136	99	152	398	726	764	414
SOR-5	14	4 630	3 852	2 984	2 195	1 994	1 371	926	650	1 013	2 621	4 630	4 837	2 642
MUS-1	15	520	435	336	253	223	158	107	73	115	305	532	551	301
MUS-2	16	1 239	1 031	797	586	531	362	243	171	266	699	1 239	1 294	705
SOR-6	17	5 970	4 965	3 844	2 825	2 566	1 760	1 186	834	1 299	3 373	5 966	6 233	3 402
SOR-7	18	6 260	5 203	4 026	2 956	2 687	1 839	1 238	872	1 356	3 525	6 247	6 528	3 561
BOT-1	19	415	349	264	220	206	156	105	70	111	286	468	444	258
BOT-2	20	876	734	562	440	411	295	197	136	213	552	934	926	523
BOT-3	21	1 103	920	705	543	506	358	238	166	259	672	1 154	1 158	649
ARO-1	22	217	187	139	134	146	121	81	56	87	204	298	243	159
ARO-2	23	280	241	179	171	186	154	102	71	111	260	382	313	204
ARO-3	24	408	346	260	231	241	191	126	88	137	331	509	444	276
PON-1	25	194	165	118	108	113	92	61	42	64	163	253	210	132
ARO-4	26	646	548	404	361	376	300	198	137	213	524	813	700	435
BOT-4	27	1 857	1 557	1 174	957	933	695	460	320	497	1 267	2 087	1 969	1 148
SOR-8	28	8 192	6 823	5 244	3 953	3 660	2 565	1 718	1 206	1 875	4 849	8 426	8 576	4 757
EOU-1	29	414	338	259	187	173	114	75	54	83	218	401	420	228
SOR-9	30	8 622	7 174	5 512	4 147	3 842	2 685	1 798	1 263	1 963	5 077	8 844	9 011	4 995
BEZ-1	31	1 039	853	658	471	434	286	189	137	210	552	1 009	1 062	575
BEZ-2	32	1 400	1 147	881	636	590	390	257	186	285	746	1 363	1 425	776
SOR-10	33	10 138	8 413	6 459	4 841	4 495	3 123	2 088	1 473	2 283	5 897	10 333	10 550	5 841
CHA-1	34	84	72	50	47	49	41	27	19	29	73	112	91	58
CHA-2	35	424	358	250	229	240	194	128	89	136	345	546	453	283
SOR-11	36	10 577	8 783	6 718	5 077	4 744	3 323	2 221	1 565	2 424	6 252	10 896	11 019	6 133
AUL-1	37	125	102	72	63	68	52	35	25	37	84	142	126	78
SOR-12	38	10 775	8 943	6 832	5 176	4 852	3 405	2 276	1 604	2 484	6 383	11 118	11 217	6 255
JAR-1	39	288	246	172	159	166	139	92	63	97	247	383	313	197
TES-1	40	92	78	55	51	53	44	29	20	31	79	122	100	63
JAR-2	41	457	387	271	249	262	215	143	99	151	379	594	491	308
JAR-3	42	583	489	343	312	330	267	179	124	189	461	734	617	386
JAR-4	43	642	536	377	342	363	292	195	136	207	500	799	675	422
COL-1	44	150	120	86	75	82	62	43	30	46	97	165	148	92
JAR-5	45	792	657	463	417	445	354	238	166	253	597	964	823	514

ANNEXE 4 : RESSOURCE NATURELLE EN SITUATION ACTUELLE – ANNEE SECHE

Code Tronçon	N°	Année sèche (= QMNS)												Moyenne des QMNS	
		Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre		
SOR-1	1	96	74	50	28	29	23	15	11	12	20	21	45	84	41
SOR-2	2	164	127	85	46	48	37	25	19	19	13	34	73	144	68
SSB-1	3	110	86	58	30	30	24	17	12	13	9	22	46	98	45
SSI-1	4	74	57	39	21	23	17	11	9	9	11	16	34	65	31
SSI-2	5	98	76	51	28	29	23	15	11	12	12	21	44	86	41
SSB-2	6	230	178	120	63	65	51	35	26	27	27	47	98	202	95
SOR-3	7	555	429	289	152	154	122	83	62	64	64	113	234	484	228
GEN-AH-1	8	26	20	14	7	7	6	4	3	3	10	5	10	23	11
GEN-1	9	76	59	40	20	20	16	11	8	8	8	15	30	67	31
GEN-2	10	135	105	70	36	36	29	20	15	15	15	26	53	118	55
GEN-3	11	194	150	100	52	50	41	28	21	21	21	37	76	167	78
SOR-4	12	826	639	429	225	225	179	121	91	93	93	164	339	718	337
BAR-1	13	170	130	87	45	43	35	24	18	18	18	31	64	144	67
SOR-5	14	1 018	785	527	275	273	218	148	111	113	113	199	411	879	413
MUS-1	15	112	86	58	31	31	25	17	12	13	13	23	47	99	46
MUS-2	16	210	210	141	74	73	59	40	29	30	30	53	110	237	111
SOR-6	17	1 313	1 013	680	355	353	282	191	143	146	146	256	530	1 135	533
SOR-7	18	1 380	1 064	714	373	370	296	200	150	153	153	268	555	1 192	560
BOI-1	19	98	74	50	28	29	24	16	12	13	13	22	44	86	41
BOI-2	20	202	154	104	56	57	46	32	24	24	25	43	85	177	84
BOI-3	21	254	194	130	69	70	57	39	29	30	30	52	105	221	104
ARO-1	22	56	42	29	18	20	17	13	10	11	11	16	30	50	26
ARO-2	23	72	55	37	23	25	22	16	13	14	14	21	38	65	33
ARO-3	24	102	78	52	31	33	28	20	16	17	17	27	50	90	45
PON-1	25	52	40	26	16	17	14	10	9	9	9	13	24	44	23
ARO-4	26	166	126	84	50	53	45	26	26	28	28	43	79	144	73
BOI-4	27	448	342	228	127	131	109	76	59	62	62	101	194	388	189
SOR-8	28	1 849	1 422	953	506	507	410	281	213	218	218	374	758	1 596	757
EQU-1	29	97	74	49	26	25	20	14	10	10	10	18	36	81	38
SOR-9	30	1 950	1 499	1 005	533	533	431	295	224	229	229	393	796	1 680	797
BEZ-1	31	237	181	121	63	60	49	33	25	25	25	43	89	200	94
BEZ-2	32	325	249	167	86	83	67	46	35	35	35	60	122	272	129
SOR-10	33	2 304	1 772	1 188	630	625	506	348	264	270	270	462	931	1 977	940
CHA-1	34	23	17	11	7	7	6	5	4	4	4	6	11	19	10
CHA-2	35	115	89	59	36	37	32	24	19	20	20	30	52	96	51
SOR-11	36	2 423	1 864	1 249	668	664	539	373	284	291	291	494	985	2 076	992
ALI-1	37	32	27	18	11	11	9	7	6	6	6	9	15	27	15
SOR-12	38	2 474	1 906	1 277	685	681	553	384	293	300	300	508	1 008	2 118	1 016
JAR-1	39	78	60	39	24	25	22	16	13	14	14	21	36	65	35
TES-1	40	25	19	13	8	8	7	6	4	4	4	7	12	21	11
JAR-2	41	123	96	63	39	40	34	26	21	22	22	33	57	103	55
JAR-3	42	156	122	81	50	51	44	33	27	28	28	42	71	130	70
JAR-4	43	171	135	90	55	56	48	36	30	31	31	46	78	143	77
COL-1	44	38	32	22	13	13	11	8	7	7	7	11	17	32	18
JAR-5	45	209	167	112	69	69	59	45	37	38	38	57	96	174	94

ANNEXE 5 : TAUX D'IMPACT HYDROLOGIQUE – ANNEE MOYENNE

Code Tronçon	N°	Année moyenne												
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Module
SOR-1	1	-0,08%	-0,11%	-0,21%	-0,50%	-0,81%	-1,33%	-1,98%	-2,68%	-1,14%	-0,32%	-0,13%	-0,06%	-0,41%
SOR-2	2	-0,08%	-0,13%	-0,25%	-0,65%	-1,08%	-1,88%	-2,81%	-3,81%	-1,70%	-0,50%	-0,18%	-0,07%	-0,58%
SSB-1	3	-0,08%	-0,11%	-0,16%	-0,62%	-1,03%	-2,00%	-2,95%	-3,92%	-1,96%	-0,70%	-0,25%	-0,07%	-0,58%
SSI-1	4	0,04%	0,04%	0,04%	-0,16%	-0,40%	-0,75%	-1,05%	-1,54%	-0,65%	-0,22%	-0,05%	0,04%	-0,17%
SSI-2	5	0,01%	0,00%	-0,03%	-0,29%	-0,60%	-1,11%	-1,59%	-2,26%	-1,00%	-0,33%	-0,09%	0,01%	-0,29%
SSB-2	6	-0,04%	-0,07%	-0,11%	-0,49%	-0,88%	-1,66%	-2,42%	-3,32%	-1,59%	-0,54%	-0,18%	-0,04%	-0,47%
SOR-3	7	-0,16%	-0,21%	-0,30%	-0,74%	-1,21%	-2,18%	-3,20%	-4,29%	-2,04%	-0,70%	-0,26%	-0,13%	-0,67%
GEN-AH-1	8	-0,24%	-0,49%	-1,17%	-2,87%	-4,31%	-8,36%	-13,33%	-15,73%	-7,07%	-1,71%	-0,50%	-0,22%	-2,22%
GEN-1	9	-0,26%	-0,65%	-1,74%	-4,23%	-6,34%	-12,38%	-20,01%	-23,01%	-10,01%	-2,15%	-0,55%	-0,22%	-3,17%
GEN-2	10	-0,49%	-1,15%	-2,99%	-6,96%	-10,24%	-19,93%	-32,38%	-36,98%	-16,05%	-3,33%	-0,87%	-0,42%	-5,14%
GEN-3	11	-0,35%	-0,84%	-2,19%	-5,16%	-7,64%	-14,94%	-24,30%	-27,80%	-12,11%	-2,53%	-0,66%	-0,31%	-3,83%
GEN-4	12	0,13%	0,04%	-0,24%	-1,07%	-1,95%	-3,97%	-6,26%	-7,96%	-2,84%	-0,53%	-0,02%	0,15%	-0,83%
BAR-1	13	0,00%	-0,03%	-0,10%	-0,52%	-0,95%	-1,98%	-3,05%	-3,83%	-1,79%	-0,54%	-0,14%	0,00%	-0,47%
SOR-5	14	0,11%	0,03%	-0,22%	-0,98%	-1,78%	-3,63%	-5,73%	-6,76%	-2,66%	-0,54%	-0,04%	0,12%	-0,77%
MUS-1	15	-0,14%	-0,17%	-0,28%	-0,59%	-0,85%	-1,48%	-2,30%	-2,96%	-1,37%	-0,40%	-0,18%	-0,12%	-0,48%
MUS-2	16	-0,06%	-0,10%	-0,19%	-0,51%	-0,81%	-1,55%	-2,40%	-3,02%	-1,39%	-0,40%	-0,14%	-0,05%	-0,43%
SOR-6	17	0,08%	0,01%	-0,19%	-0,85%	-1,54%	-3,14%	-4,96%	-5,88%	-2,34%	-0,49%	-0,05%	0,09%	-0,67%
SOR-7	18	-0,08%	-0,17%	-0,44%	-1,36%	-2,06%	-3,93%	-6,41%	-7,68%	-3,65%	-0,86%	-0,24%	-0,04%	-1,04%
BOT-1	19	-1,36%	-1,54%	-2,22%	-3,08%	-3,31%	-4,54%	-7,40%	-9,12%	-4,64%	-1,54%	-1,15%	-1,12%	-2,32%
BOT-2	20	0,04%	0,07%	-0,03%	-0,39%	-0,56%	-1,05%	-1,98%	-1,64%	-0,20%	0,13%	0,03%	0,11%	-0,18%
BOT-3	21	0,04%	0,05%	-0,08%	-0,47%	-0,71%	-1,36%	-2,41%	-2,29%	-0,57%	0,01%	0,00%	0,09%	-0,27%
ARO-1	22	-0,67%	-0,73%	-1,26%	-1,86%	-1,90%	-2,63%	-4,49%	-4,96%	-2,07%	-0,59%	-0,49%	-0,46%	-1,31%
ARO-2	23	-0,60%	-0,74%	-1,40%	-2,18%	-2,43%	-3,54%	-5,95%	-6,66%	-2,90%	-0,77%	-0,49%	-0,43%	-1,60%
ARO-3	24	-0,13%	-0,19%	-0,55%	-1,22%	-1,55%	-2,54%	-4,34%	-4,75%	-1,75%	-0,34%	-0,16%	-0,04%	-0,86%
PON-1	25	-0,35%	-0,42%	-0,76%	-1,30%	-1,56%	-2,34%	-3,79%	-4,67%	-2,19%	-0,66%	-0,35%	-0,27%	-1,00%
ARO-4	26	-0,10%	-0,15%	-0,45%	-1,07%	-1,41%	-2,30%	-3,70%	-4,38%	-1,67%	-0,35%	-0,15%	-0,03%	-0,77%
BOT-4	27	0,00%	-0,01%	-0,19%	-0,67%	-0,97%	-1,75%	-3,01%	-3,18%	-1,05%	-0,15%	-0,05%	0,06%	-0,45%
SOR-8	28	0,02%	-0,09%	-0,32%	-1,10%	-1,69%	-3,19%	-5,28%	-6,18%	-2,77%	-0,60%	-0,16%	0,02%	-0,83%
EQU-1	29	-0,11%	-0,21%	-0,46%	-1,19%	-1,83%	-3,64%	-5,80%	-6,97%	-3,26%	-0,85%	-0,25%	-0,10%	-0,95%
SOR-9	30	-0,07%	-0,14%	-0,40%	-1,19%	-1,80%	-3,36%	-5,53%	-6,50%	-2,98%	-0,69%	-0,20%	-0,03%	-0,91%
BEZ-1	31	-0,06%	-0,12%	-0,24%	-0,77%	-1,26%	-2,54%	-3,96%	-4,92%	-2,35%	-0,69%	-0,21%	-0,06%	-0,66%
BEZ-2	32	-0,08%	-0,14%	-0,30%	-0,89%	-1,43%	-2,87%	-4,48%	-5,56%	-2,65%	-0,77%	-0,23%	-0,07%	-0,76%
SOR-10	33	-0,01%	-0,07%	-0,30%	-1,04%	-1,64%	-3,15%	-5,17%	-6,02%	-2,70%	-0,60%	-0,15%	0,02%	-0,80%
CHA-1	34	-0,22%	-0,22%	-0,44%	-0,84%	-0,92%	-1,32%	-2,29%	-2,37%	-0,85%	-0,19%	-0,18%	-0,11%	-0,54%
CHA-2	35	0,02%	-0,01%	-0,11%	-0,58%	-0,92%	-1,59%	-2,52%	-3,16%	-1,35%	-0,39%	-0,11%	0,04%	-0,49%
SOR-11	36	0,00%	-0,06%	-0,28%	-1,00%	-1,59%	-3,04%	-4,98%	-5,80%	-2,55%	-0,58%	-0,14%	0,03%	-0,77%
ALL-1	37	0,20%	0,14%	-0,09%	-0,87%	-1,47%	-2,84%	-4,49%	-5,34%	-2,17%	-0,53%	-0,02%	0,20%	-0,72%
SOR-12	38	0,02%	-0,03%	-0,24%	-0,96%	-1,54%	-2,96%	-4,87%	-5,65%	-2,49%	-0,54%	-0,12%	0,05%	-0,73%
JAR-1	39	0,32%	0,28%	0,14%	-0,65%	-1,35%	-2,51%	-4,01%	-4,96%	-1,87%	-0,39%	0,03%	0,31%	-0,57%
TES-1	40	1,07%	1,08%	1,05%	0,01%	-1,02%	-2,51%	-4,28%	-4,63%	-0,91%	0,25%	0,55%	1,00%	0,01%
JAR-2	41	0,47%	0,45%	0,37%	-0,44%	-1,18%	-2,38%	-3,84%	-4,52%	-1,56%	-0,26%	0,14%	0,45%	-0,41%
JAR-3	42	0,43%	0,40%	0,27%	-0,60%	-1,42%	-3,60%	-6,73%	-7,09%	-1,98%	-0,37%	0,09%	0,41%	-0,74%
JAR-4	43	0,36%	0,31%	0,12%	-0,81%	-1,64%	-3,87%	-7,05%	-7,60%	-2,34%	-0,50%	0,03%	0,35%	-0,89%
COI-1	44	0,91%	1,04%	1,20%	0,51%	-0,27%	-1,32%	-2,14%	-2,14%	-0,05%	0,39%	0,57%	0,93%	0,37%
JAR-5	45	0,46%	0,44%	0,32%	-0,57%	-1,39%	-3,42%	-6,17%	-6,60%	-1,93%	-0,35%	0,13%	0,45%	-0,66%

ANNEXE 6 : TAUX D'IMPACT HYDROLOGIQUE – ANNEE SECHE

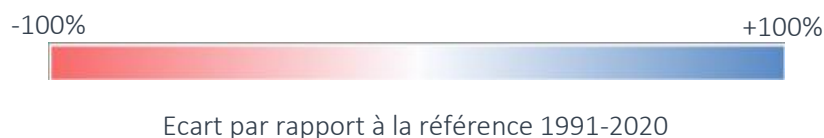
Code Tronçon	N°	Année sèche (= QMNS)												Moyenne des QMNS
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
SOR-1	1	-1,29%	-1,87%	-1,37%	-3,19%	-4,19%	-7,35%	-13,87%	-7,88%	-3,76%	-5,83%	-3,49%	-1,38%	-1,89%
SOR-2	2	-1,76%	-2,62%	-1,59%	-3,93%	-5,57%	-10,29%	-15,79%	-19,34%	-19,34%	-16,61%	-11,60%	-5,83%	-3,18%
SSR-1	3	-0,73%	-1,04%	-0,95%	-4,61%	-7,30%	-13,20%	-16,95%	-24,61%	-24,61%	-16,05%	-5,35%	-8,98%	-3,99%
SSI-1	4	0,05%	0,21%	0,21%	-1,25%	-2,85%	-5,67%	-8,48%	-10,67%	-10,67%	-5,35%	-2,98%	-0,09%	-1,30%
SSI-2	5	-0,40%	-0,64%	-0,22%	-1,92%	-3,74%	-7,16%	-10,62%	-13,52%	-13,52%	-7,49%	-4,14%	-2,06%	-0,43%
SSR-2	6	-0,59%	-0,89%	-0,71%	-3,68%	-5,94%	-11,20%	-16,40%	-20,97%	-20,97%	-12,93%	-7,04%	-2,97%	-0,64%
SOR-3	7	-1,38%	-1,99%	-1,83%	-5,40%	-7,83%	-13,96%	-20,47%	-25,65%	-25,65%	-16,11%	-8,96%	-4,50%	-1,46%
GEN-4H-1	8	-1,37%	-2,92%	-11,32%	-25,31%	-35,64%	-64,69%	-100,92%	-114,37%	-68,19%	-11,47%	-23,34%	-6,43%	-1,47%
GEN-1	9	-16,14%	-24,56%	-11,35%	-14,89%	-22,07%	-40,99%	-63,85%	-72,55%	-42,15%	-15,37%	-3,94%	-18,33%	-24,24%
GEN-2	10	-33,29%	-49,95%	-19,31%	-14,00%	-20,81%	-38,42%	-59,26%	-68,35%	-40,46%	-15,55%	-91,58%	-38,06%	-38,69%
GEN-3	11	-23,45%	-35,37%	-14,00%	-11,53%	-17,32%	-32,06%	-49,41%	-57,02%	-33,74%	-13,11%	-65,70%	-27,02%	-28,95%
SOR-4	12	-4,62%	-7,29%	-1,88%	-3,07%	-4,50%	-11,29%	-17,17%	-19,40%	-19,40%	-6,85%	-2,17%	-13,41%	-6,81%
BAR-1	13	-0,46%	-0,82%	-0,65%	-4,28%	-6,21%	-12,12%	-17,92%	-22,07%	-22,07%	-13,04%	-6,51%	-2,83%	-3,29%
SOR-5	14	-3,84%	-6,07%	-1,66%	-3,99%	-4,83%	-11,47%	-17,86%	-19,94%	-19,94%	-8,02%	-2,96%	-11,54%	-6,17%
MUS-1	15	-1,59%	-2,26%	-1,73%	-3,41%	-4,55%	-8,76%	-10,46%	-12,95%	-12,95%	-9,22%	-4,54%	-4,40%	-1,74%
MUS-2	16	-1,09%	-1,64%	-1,15%	-4,36%	-4,43%	-8,07%	-12,20%	-14,98%	-14,98%	-9,22%	-4,55%	-3,63%	-1,22%
SOR-6	17	-3,16%	-5,00%	-1,46%	-4,17%	-4,63%	-10,60%	-16,05%	-18,60%	-18,60%	-7,98%	-3,12%	-9,64%	-3,56%
SOR-7	18	-4,09%	-6,20%	-2,85%	-6,09%	-8,70%	-15,95%	-25,70%	-29,85%	-29,85%	-20,02%	-8,09%	-12,37%	-7,69%
BOI-1	19	-6,26%	-7,94%	-11,80%	-23,96%	-22,79%	-29,34%	-46,69%	-50,85%	-37,99%	-19,59%	-13,43%	-13,43%	-14,69%
BOI-2	20	-0,30%	-0,38%	-0,29%	-3,38%	-4,44%	-6,11%	-11,23%	-14,99%	-14,99%	-8,34%	0,17%	2,10%	-0,91%
BOI-3	21	-0,27%	-0,41%	-0,55%	-4,09%	-5,66%	-6,73%	-14,99%	-13,39%	-13,39%	-3,48%	0,44%	-1,05%	0,01%
ARO-1	22	-4,50%	-6,05%	-6,34%	-11,71%	-14,65%	-15,40%	-23,38%	-21,61%	-12,38%	-6,02%	-8,60%	-4,34%	-7,18%
ARO-2	23	-6,91%	-9,95%	-7,24%	-10,75%	-12,53%	-13,97%	-20,95%	-19,99%	-11,57%	-1,27%	-5,81%	-13,85%	-10,91%
ARO-3	24	-3,80%	-5,62%	-3,09%	-10,11%	-12,53%	-8,95%	-14,07%	-12,55%	-4,64%	-1,27%	-6,66%	-8,66%	-3,92%
PON-1	25	-1,61%	-2,24%	-3,61%	-9,54%	-11,16%	-16,32%	-23,75%	-24,89%	-15,30%	-7,89%	-4,40%	-1,66%	-6,29%
ARO-4	26	-2,51%	-3,74%	-2,46%	-8,52%	-10,96%	-10,76%	-16,42%	-15,68%	-6,90%	-2,54%	-6,26%	-2,57%	-5,37%
BOI-4	27	-1,05%	-1,58%	-1,15%	-5,61%	-7,66%	-9,40%	-16,22%	-14,19%	-4,99%	-0,91%	-3,11%	-0,91%	-3,26%
SOR-8	28	-2,90%	-4,47%	-2,09%	-6,03%	-7,13%	-13,41%	-21,61%	-23,86%	-14,21%	-5,31%	-8,87%	-3,14%	-6,11%
FOU-1	29	-2,27%	-3,69%	-2,69%	-9,56%	-9,85%	-17,91%	-27,22%	-31,87%	-19,72%	-8,81%	-7,89%	-2,70%	-6,60%
SOR-9	30	-3,08%	-4,68%	-2,48%	-6,35%	-8,00%	-14,53%	-23,19%	-25,76%	-16,02%	-6,36%	-9,31%	-3,35%	-6,61%
BEZ-1	31	-1,34%	-2,10%	-1,48%	-6,30%	-7,25%	-13,44%	-19,91%	-24,59%	-15,43%	-7,80%	-5,26%	-7,80%	-4,58%
BEZ-2	32	-1,22%	-1,95%	-1,78%	-7,16%	-8,95%	-16,44%	-24,59%	-29,54%	-18,34%	-8,82%	-5,03%	-1,43%	-5,18%
SOR-10	33	-2,54%	-3,93%	-1,91%	-7,30%	-7,43%	-14,06%	-22,31%	-24,52%	-14,40%	-5,47%	-8,03%	-2,76%	-5,85%
CHA-1	34	-1,04%	-1,23%	-2,02%	-5,74%	-6,26%	-9,45%	-12,77%	-11,12%	-5,01%	-2,43%	-2,42%	-0,80%	-3,29%
CHA-2	35	-0,05%	-0,20%	-0,61%	-4,02%	-6,36%	-11,55%	-16,77%	-16,77%	-8,69%	-4,63%	-1,48%	0,03%	-3,14%
SOR-11	36	-2,02%	-3,19%	-1,78%	-8,12%	-7,61%	-13,73%	-21,64%	-23,68%	-13,71%	5,24%	-6,67%	-2,17%	-5,63%
ALL-1	37	0,13%	-0,36%	-0,79%	-5,69%	-10,72%	-18,83%	-25,77%	-26,90%	-12,85%	-5,89%	-1,70%	0,19%	-4,84%
SOR-12	38	-1,89%	-3,01%	-1,59%	-8,10%	-8,10%	-13,46%	-21,17%	-23,02%	-12,97%	-4,82%	-6,34%	-2,02%	-5,39%
JAR-1	39	-0,21%	-0,91%	0,21%	-5,25%	-10,04%	-15,23%	-21,50%	-22,65%	-9,37%	-4,55%	-2,89%	-0,21%	-4,34%
JAR-2	40	2,65%	2,47%	3,88%	-1,73%	-9,01%	-15,18%	-26,87%	-28,87%	-4,64%	1,89%	2,88%	3,24%	-1,77%
JAR-3	41	0,57%	0,10%	1,18%	-3,67%	-9,01%	-15,41%	-21,83%	-22,54%	-8,02%	-3,64%	-1,27%	0,73%	-3,41%
JAR-4	42	-0,22%	-1,00%	0,74%	-4,77%	-10,58%	-20,37%	-33,79%	-30,27%	-8,47%	-4,74%	-3,16%	-0,21%	-5,29%
JAR-5	43	-0,74%	-1,73%	0,06%	-6,11%	-12,16%	-21,19%	-34,30%	-31,46%	-10,06%	-6,08%	-4,40%	-0,83%	-6,15%
COL-1	44	2,59%	2,56%	4,41%	1,99%	-2,98%	-12,56%	-10,24%	-9,06%	3,03%	2,84%	3,12%	3,15%	0,88%
JAR-5	45	-0,20%	-1,00%	0,91%	-4,53%	-10,46%	-18,63%	-29,77%	-27,24%	-7,57%	-4,37%	-3,18%	-0,19%	-4,84%

ANNEXE 7 : SIMULATIONS HYDROLOGIQUES FUTURES

Tableau 1 et 2 : Résultats de la projection « médiane », au niveau de chaque point de calcul.

Tableau 3 et 4 : Résultats de la projection « France », au niveau de chaque point de calcul.

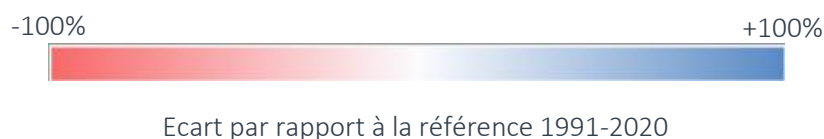
Projection "médiane"	Année moyenne												
	Tronçon	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
AIL-1	24%	31%	7%	34%	8%	11%	5%	-2%	17%	35%	35%	14%	21%
ARO-1	20%	11%	1%	10%	4%	-2%	-4%	-14%	7%	20%	26%	7%	10%
ARO-2	20%	13%	1%	11%	4%	-2%	-4%	-14%	8%	20%	26%	8%	10%
ARO-3	25%	19%	2%	14%	2%	-4%	-7%	-14%	10%	17%	24%	8%	12%
ARO-4	22%	23%	2%	22%	8%	3%	-2%	-12%	13%	25%	29%	12%	16%
BAR-1	28%	17%	1%	16%	2%	-9%	-9%	-18%	-4%	9%	25%	7%	11%
BEZ-1	27%	24%	1%	22%	2%	-2%	-1%	-10%	6%	14%	26%	11%	14%
BEZ-2	25%	29%	4%	26%	3%	4%	2%	-5%	15%	21%	28%	13%	17%
BOT-1	25%	14%	0%	7%	3%	-3%	-4%	-14%	-4%	16%	22%	8%	9%
BOT-2	25%	19%	1%	12%	-1%	-5%	-5%	-13%	9%	15%	23%	8%	11%
BOT-3	25%	20%	3%	14%	2%	-5%	-8%	-15%	10%	16%	24%	8%	12%
BOT-4	23%	22%	2%	20%	7%	2%	-3%	-12%	12%	24%	29%	11%	15%
CHA-1	20%	22%	2%	22%	10%	5%	1%	-10%	13%	28%	31%	14%	16%
CHA-2	22%	25%	3%	27%	10%	7%	2%	-8%	14%	30%	32%	14%	18%
COL-1	18%	26%	6%	34%	18%	18%	8%	-8%	14%	29%	33%	10%	19%
EQU-1	25%	23%	3%	18%	3%	-3%	-5%	-13%	11%	17%	25%	9%	14%
GEN-1	27%	15%	0%	14%	1%	-9%	-5%	-15%	-8%	7%	23%	6%	10%
GEN-2	28%	16%	-1%	15%	1%	-9%	-7%	-17%	-6%	7%	25%	7%	10%
GEN-3	29%	16%	2%	18%	2%	-9%	-8%	-19%	-9%	7%	25%	7%	11%
GEN-Aff-1	27%	15%	-1%	12%	1%	-8%	-3%	-13%	-8%	7%	22%	6%	9%
JAR-1	17%	22%	2%	24%	17%	12%	1%	-15%	9%	27%	29%	12%	16%
JAR-2	16%	23%	4%	30%	22%	19%	7%	-12%	11%	27%	31%	9%	18%
JAR-3	19%	26%	6%	33%	17%	17%	7%	-7%	14%	30%	33%	10%	19%
JAR-4	24%	32%	9%	36%	7%	12%	6%	0%	18%	36%	36%	14%	22%
JAR-5	24%	32%	9%	36%	7%	12%	6%	0%	18%	36%	36%	14%	22%
MUS-1	27%	16%	-1%	7%	1%	-5%	-5%	-13%	-6%	13%	20%	9%	10%
MUS-2	26%	19%	2%	13%	0%	-5%	-7%	-13%	10%	15%	23%	8%	12%
PON-1	20%	20%	2%	18%	8%	2%	-1%	-12%	11%	25%	29%	12%	14%
SOR-1	29%	15%	-3%	1%	2%	-4%	-5%	-11%	-20%	13%	18%	10%	8%
SOR-10	24%	32%	9%	36%	7%	12%	6%	0%	18%	36%	36%	14%	22%
SOR-11	24%	32%	9%	36%	7%	12%	6%	0%	18%	36%	36%	14%	22%
SOR-12	24%	32%	9%	36%	7%	12%	6%	0%	18%	36%	36%	14%	22%
SOR-2	27%	16%	-1%	9%	1%	-6%	-5%	-15%	-6%	11%	22%	8%	10%
SOR-3	28%	16%	-1%	14%	1%	-9%	-6%	-17%	-5%	8%	24%	7%	10%
SOR-4	27%	17%	1%	15%	1%	-8%	-8%	-17%	-2%	9%	25%	7%	11%
SOR-5	25%	20%	3%	15%	2%	-5%	-9%	-15%	10%	17%	24%	7%	13%
SOR-6	25%	20%	3%	15%	2%	-5%	-9%	-15%	10%	17%	24%	7%	13%
SOR-7	25%	20%	3%	15%	3%	-5%	-9%	-15%	10%	17%	24%	8%	13%
SOR-8	22%	26%	3%	27%	9%	7%	2%	-7%	14%	29%	32%	14%	18%
SOR-9	24%	32%	9%	36%	7%	12%	6%	0%	18%	36%	36%	14%	22%
SSB-1	24%	14%	-1%	7%	1%	-6%	3%	-3%	-15%	6%	19%	6%	8%
SSB-2	28%	16%	-1%	14%	1%	-9%	-5%	-16%	-6%	7%	24%	6%	10%
SSI-1	28%	14%	-3%	1%	2%	-4%	-4%	-11%	-20%	12%	18%	10%	8%
SSI-2	25%	14%	-1%	7%	1%	-6%	2%	-5%	-14%	6%	19%	6%	8%
TES-1	14%	21%	3%	23%	23%	17%	2%	-19%	6%	24%	27%	10%	15%



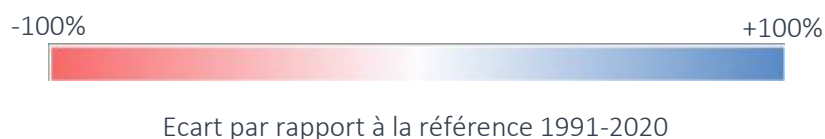
Projection "médiane"	Année sèche (= QMNS)												
Tronçon	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
AIL-1	18%	27%	-6%	-1%	-12%	-10%	-3%	9%	2%	-15%	-13%	-17%	-10%
ARO-1	25%	27%	-10%	-13%	-17%	-15%	-9%	2%	-11%	-19%	-17%	-14%	-11%
ARO-2	24%	28%	-11%	-12%	-17%	-15%	-9%	3%	-10%	-20%	-17%	-15%	-11%
ARO-3	21%	34%	-11%	-10%	-16%	-17%	-9%	4%	-9%	-23%	-16%	-14%	-13%
ARO-4	20%	29%	-11%	-6%	-15%	-14%	-6%	8%	-3%	-21%	-15%	-17%	-9%
BAR-1	22%	30%	-8%	-12%	-14%	-16%	-12%	2%	-7%	-27%	-12%	-19%	-16%
BEZ-1	21%	32%	-11%	-8%	-14%	-11%	-9%	3%	-3%	-29%	-12%	-17%	-14%
BEZ-2	18%	31%	-9%	-5%	-13%	-10%	-6%	7%	-2%	-26%	-15%	-16%	-11%
BOT-1	28%	31%	-13%	-12%	-16%	-15%	-12%	0%	-16%	-24%	-16%	-12%	-15%
BOT-2	22%	34%	-12%	-12%	-17%	-17%	-11%	2%	-11%	-24%	-17%	-14%	-13%
BOT-3	21%	34%	-10%	-10%	-16%	-18%	-9%	4%	-8%	-23%	-16%	-14%	-13%
BOT-4	20%	30%	-11%	-7%	-16%	-14%	-6%	8%	-4%	-22%	-15%	-17%	-10%
CHA-1	21%	26%	-12%	-5%	-14%	-12%	-5%	8%	-2%	-20%	-15%	-18%	-9%
CHA-2	19%	25%	-10%	-3%	-13%	-11%	-4%	9%	0%	-19%	-15%	-18%	-9%
COL-1	10%	22%	-1%	0%	-11%	-11%	-1%	15%	7%	-10%	-19%	-23%	-5%
EQU-1	20%	34%	-10%	-8%	-16%	-16%	-8%	6%	-6%	-25%	-15%	-15%	-12%
GEN-1	23%	33%	-10%	-13%	-14%	-17%	-16%	0%	-10%	-28%	-12%	-18%	-18%
GEN-2	23%	31%	-10%	-14%	-15%	-16%	-14%	1%	-8%	-28%	-12%	-20%	-18%
GEN-3	23%	30%	-7%	-12%	-14%	-15%	-13%	1%	-7%	-28%	-12%	-20%	-18%
GEN-Aff-1	22%	34%	-10%	-12%	-14%	-18%	-17%	0%	-12%	-27%	-13%	-18%	-18%
JAR-1	15%	20%	-7%	-3%	-12%	-12%	-3%	14%	3%	-16%	-21%	-22%	-5%
JAR-2	9%	19%	0%	-1%	-10%	-12%	0%	16%	8%	-11%	-22%	-24%	-3%
JAR-3	11%	22%	-1%	0%	-11%	-11%	-1%	15%	7%	-11%	-19%	-23%	-6%
JAR-4	17%	28%	-5%	0%	-12%	-10%	-3%	9%	3%	-15%	-12%	-16%	-10%
JAR-5	17%	28%	-5%	0%	-12%	-10%	-3%	9%	3%	-15%	-12%	-16%	-10%
MUS-1	27%	32%	-13%	-11%	-17%	-16%	-13%	-1%	-18%	-26%	-15%	-11%	-17%
MUS-2	21%	34%	-11%	-11%	-17%	-18%	-10%	3%	-10%	-24%	-16%	-14%	-13%
PON-1	23%	27%	-13%	-8%	-16%	-14%	-7%	7%	-5%	-21%	-15%	-18%	-9%
SOR-1	34%	30%	-16%	-11%	-18%	-14%	-14%	-5%	-24%	-25%	-11%	-7%	-20%
SOR-10	17%	28%	-5%	0%	-12%	-10%	-3%	9%	3%	-15%	-12%	-16%	-10%
SOR-11	17%	28%	-5%	0%	-12%	-10%	-3%	9%	3%	-15%	-12%	-16%	-10%
SOR-12	17%	28%	-5%	0%	-12%	-10%	-3%	9%	3%	-15%	-12%	-16%	-10%
SOR-2	25%	33%	-13%	-12%	-16%	-16%	-14%	-1%	-15%	-27%	-14%	-14%	-16%
SOR-3	22%	31%	-11%	-14%	-15%	-16%	-14%	1%	-8%	-27%	-13%	-20%	-17%
SOR-4	22%	31%	-9%	-12%	-15%	-17%	-13%	2%	-8%	-27%	-13%	-19%	-16%
SOR-5	21%	34%	-10%	-9%	-16%	-18%	-8%	5%	-8%	-23%	-15%	-14%	-13%
SOR-6	21%	34%	-10%	-9%	-16%	-18%	-8%	5%	-8%	-23%	-15%	-14%	-13%
SOR-7	21%	35%	-10%	-9%	-16%	-18%	-8%	5%	-7%	-23%	-15%	-14%	-13%
SOR-8	19%	26%	-10%	-3%	-13%	-11%	-4%	9%	0%	-19%	-15%	-18%	-9%
SOR-9	17%	28%	-5%	0%	-12%	-10%	-3%	9%	3%	-15%	-12%	-16%	-10%
SSB-1	22%	35%	-10%	-9%	-13%	-20%	-19%	0%	-17%	-22%	-13%	-13%	-18%
SSB-2	22%	32%	-10%	-13%	-14%	-17%	-15%	1%	-10%	-28%	-13%	-19%	-17%
SSI-1	34%	30%	-16%	-11%	-18%	-15%	-14%	-4%	-24%	-25%	-12%	-7%	-20%
SSI-2	23%	35%	-10%	-10%	-14%	-19%	-19%	-1%	-17%	-23%	-13%	-13%	-18%
TES-1	10%	15%	-3%	-3%	-10%	-13%	-1%	17%	5%	-14%	-25%	-24%	-1%



Projection "France"	Année moyenne												
	Tronçon	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
AIL-1	28%	51%	59%	4%	-12%	-30%	-48%	-38%	-72%	-55%	-14%	-19%	-2%
ARO-1	24%	63%	51%	4%	-7%	-24%	-41%	-52%	-79%	-50%	-1%	-17%	-2%
ARO-2	25%	62%	51%	3%	-7%	-24%	-42%	-51%	-79%	-50%	-2%	-17%	-1%
ARO-3	36%	55%	41%	-1%	-11%	-25%	-45%	-46%	-75%	-50%	-5%	-18%	1%
ARO-4	33%	58%	52%	2%	-5%	-24%	-45%	-42%	-77%	-50%	-4%	-18%	1%
BAR-1	34%	48%	44%	-5%	-16%	-14%	-46%	-44%	-78%	-58%	-9%	-17%	-1%
BEZ-1	32%	50%	42%	-6%	-21%	-23%	-47%	-47%	-76%	-56%	-11%	-18%	-3%
BEZ-2	32%	51%	46%	-2%	-20%	-31%	-48%	-44%	-72%	-55%	-13%	-20%	-3%
BOT-1	32%	65%	40%	-2%	-11%	-20%	-38%	-52%	-76%	-48%	-3%	-17%	0%
BOT-2	34%	57%	38%	-2%	-13%	-25%	-43%	-50%	-75%	-50%	-3%	-18%	0%
BOT-3	38%	53%	41%	-1%	-12%	-25%	-45%	-45%	-74%	-50%	-5%	-19%	1%
BOT-4	34%	57%	50%	2%	-6%	-24%	-46%	-42%	-77%	-50%	-4%	-18%	1%
CHA-1	29%	60%	56%	3%	-3%	-23%	-45%	-43%	-78%	-50%	-3%	-17%	1%
CHA-2	29%	57%	57%	4%	-5%	-25%	-46%	-41%	-77%	-52%	-6%	-18%	0%
COL-1	27%	54%	58%	6%	-11%	-35%	-49%	-38%	-71%	-49%	-18%	-23%	-2%
EQU-1	36%	52%	43%	-2%	-15%	-26%	-47%	-44%	-74%	-53%	-8%	-19%	0%
GEN-1	33%	53%	42%	-5%	-12%	-15%	-44%	-46%	-76%	-50%	-5%	-16%	1%
GEN-2	33%	53%	43%	-4%	-12%	-15%	-44%	-45%	-76%	-51%	-6%	-16%	1%
GEN-3	33%	47%	45%	-6%	-17%	-14%	-47%	-44%	-78%	-57%	-8%	-16%	-1%
GEN-Aff-1	33%	54%	42%	-5%	-13%	-16%	-44%	-46%	-76%	-50%	-5%	-15%	1%
JAR-1	25%	62%	56%	3%	-7%	-31%	-48%	-43%	-77%	-51%	-11%	-20%	-2%
JAR-2	25%	58%	57%	5%	-10%	-36%	-50%	-40%	-72%	-49%	-18%	-23%	-3%
JAR-3	27%	54%	58%	5%	-11%	-35%	-49%	-38%	-71%	-50%	-18%	-22%	-3%
JAR-4	28%	49%	59%	4%	-14%	-31%	-48%	-37%	-71%	-55%	-16%	-19%	-3%
JAR-5	28%	49%	59%	4%	-14%	-31%	-48%	-37%	-71%	-55%	-16%	-19%	-3%
MUS-1	36%	61%	35%	-4%	-13%	-22%	-39%	-52%	-73%	-46%	-2%	-17%	1%
MUS-2	36%	55%	39%	-2%	-13%	-25%	-44%	-48%	-75%	-50%	-4%	-18%	1%
PON-1	29%	60%	54%	3%	-5%	-24%	-44%	-45%	-78%	-50%	-3%	-18%	0%
SOR-1	36%	66%	34%	-5%	-13%	-21%	-35%	-56%	-70%	-40%	1%	-14%	3%
SOR-10	28%	49%	59%	4%	-14%	-31%	-48%	-37%	-71%	-55%	-16%	-19%	-3%
SOR-11	28%	49%	59%	4%	-14%	-31%	-48%	-37%	-71%	-55%	-16%	-19%	-3%
SOR-12	28%	49%	59%	4%	-14%	-31%	-48%	-37%	-71%	-55%	-16%	-19%	-3%
SOR-2	35%	58%	38%	-4%	-13%	-21%	-41%	-50%	-74%	-48%	-3%	-16%	1%
SOR-3	33%	53%	42%	-5%	-13%	-16%	-44%	-45%	-76%	-51%	-6%	-16%	1%
SOR-4	35%	50%	43%	-5%	-14%	-16%	-45%	-45%	-77%	-55%	-7%	-17%	0%
SOR-5	38%	53%	42%	-1%	-11%	-25%	-46%	-43%	-74%	-50%	-6%	-19%	2%
SOR-6	38%	53%	42%	-1%	-11%	-25%	-46%	-43%	-74%	-50%	-6%	-19%	2%
SOR-7	38%	53%	42%	0%	-11%	-25%	-46%	-43%	-74%	-50%	-6%	-19%	2%
SOR-8	30%	56%	56%	3%	-7%	-26%	-47%	-41%	-76%	-52%	-7%	-18%	0%
SOR-9	28%	49%	59%	4%	-14%	-31%	-48%	-37%	-71%	-55%	-16%	-19%	-3%
SSB-1	31%	55%	41%	-5%	-13%	-16%	-42%	-49%	-76%	-50%	-5%	-15%	0%
SSB-2	33%	53%	42%	-5%	-12%	-15%	-44%	-45%	-76%	-50%	-5%	-16%	1%
SSI-1	36%	66%	34%	-5%	-13%	-20%	-35%	-55%	-70%	-41%	1%	-14%	3%
SSI-2	31%	56%	40%	-5%	-13%	-16%	-42%	-49%	-76%	-50%	-4%	-15%	1%
TES-1	21%	64%	56%	3%	-11%	-36%	-50%	-44%	-74%	-51%	-16%	-23%	-4%



Projection "France"	Année sèche (= QMNS)												
Tronçon	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	QMNA5
AIL-1	10%	44%	28%	-10%	-22%	-23%	-22%	-24%	-37%	-45%	-39%	-21%	-37%
ARO-1	25%	37%	19%	-12%	-29%	-30%	-28%	-30%	-44%	-56%	-33%	-5%	-46%
ARO-2	26%	39%	19%	-13%	-29%	-30%	-28%	-29%	-44%	-56%	-32%	-6%	-46%
ARO-3	35%	50%	20%	-14%	-32%	-32%	-29%	-28%	-41%	-54%	-28%	-5%	-42%
ARO-4	28%	49%	23%	-11%	-28%	-29%	-25%	-26%	-39%	-51%	-33%	-10%	-40%
BAR-1	37%	47%	21%	-16%	-29%	-27%	-26%	-26%	-41%	-52%	-19%	-4%	-40%
BEZ-1	36%	46%	21%	-17%	-30%	-27%	-28%	-28%	-41%	-51%	-26%	-8%	-40%
BEZ-2	28%	46%	23%	-16%	-29%	-28%	-28%	-28%	-39%	-49%	-36%	-16%	-40%
BOT-1	36%	46%	16%	-19%	-32%	-33%	-27%	-29%	-43%	-56%	-29%	2%	-45%
BOT-2	34%	48%	17%	-16%	-32%	-33%	-30%	-30%	-43%	-57%	-27%	-3%	-45%
BOT-3	35%	51%	21%	-14%	-32%	-32%	-29%	-27%	-40%	-54%	-27%	-5%	-41%
BOT-4	29%	50%	23%	-12%	-28%	-29%	-26%	-26%	-39%	-51%	-32%	-9%	-40%
CHA-1	21%	43%	24%	-10%	-26%	-28%	-25%	-26%	-39%	-51%	-34%	-10%	-40%
CHA-2	19%	43%	25%	-10%	-25%	-26%	-24%	-25%	-38%	-48%	-35%	-12%	-39%
COL-1	6%	42%	29%	-9%	-22%	-23%	-20%	-22%	-34%	-46%	-43%	-22%	-33%
EQU-1	34%	50%	22%	-15%	-30%	-30%	-28%	-27%	-40%	-52%	-29%	-9%	-40%
GEN-1	36%	46%	21%	-21%	-28%	-27%	-26%	-28%	-42%	-52%	-13%	11%	-41%
GEN-2	36%	47%	21%	-20%	-28%	-27%	-25%	-27%	-42%	-51%	-13%	10%	-41%
GEN-3	39%	47%	21%	-17%	-29%	-26%	-25%	-26%	-41%	-52%	-17%	-1%	-40%
GEN-Aff-1	36%	46%	21%	-21%	-28%	-27%	-26%	-28%	-42%	-52%	-13%	11%	-42%
JAR-1	13%	38%	25%	-13%	-26%	-27%	-23%	-24%	-37%	-50%	-40%	-17%	-37%
JAR-2	6%	38%	28%	-11%	-23%	-24%	-20%	-22%	-34%	-48%	-44%	-22%	-34%
JAR-3	6%	42%	29%	-10%	-23%	-23%	-20%	-22%	-34%	-46%	-43%	-22%	-34%
JAR-4	7%	44%	28%	-10%	-22%	-22%	-22%	-24%	-37%	-44%	-39%	-24%	-37%
JAR-5	7%	44%	28%	-10%	-22%	-22%	-22%	-24%	-37%	-44%	-39%	-24%	-37%
MUS-1	37%	47%	13%	-21%	-33%	-33%	-29%	-30%	-44%	-57%	-22%	7%	-45%
MUS-2	35%	49%	19%	-16%	-32%	-33%	-30%	-29%	-42%	-55%	-26%	-4%	-43%
PON-1	24%	43%	22%	-11%	-27%	-29%	-26%	-27%	-40%	-52%	-34%	-9%	-42%
SOR-1	38%	45%	10%	-28%	-33%	-31%	-28%	-31%	-47%	-57%	-15%	18%	-48%
SOR-10	7%	44%	28%	-10%	-22%	-22%	-22%	-24%	-37%	-44%	-39%	-24%	-37%
SOR-11	7%	44%	28%	-10%	-22%	-22%	-22%	-24%	-37%	-44%	-39%	-24%	-37%
SOR-12	7%	44%	28%	-10%	-22%	-22%	-22%	-24%	-37%	-44%	-39%	-24%	-37%
SOR-2	36%	46%	16%	-21%	-32%	-30%	-28%	-29%	-44%	-56%	-18%	9%	-44%
SOR-3	36%	47%	21%	-20%	-28%	-27%	-26%	-27%	-42%	-52%	-13%	10%	-41%
SOR-4	37%	47%	21%	-17%	-30%	-28%	-26%	-27%	-41%	-52%	-18%	1%	-41%
SOR-5	36%	52%	22%	-13%	-32%	-32%	-28%	-27%	-40%	-53%	-27%	-6%	-41%
SOR-6	36%	52%	22%	-13%	-32%	-32%	-28%	-27%	-40%	-53%	-27%	-6%	-41%
SOR-7	35%	52%	22%	-13%	-31%	-32%	-28%	-27%	-40%	-53%	-27%	-6%	-41%
SOR-8	20%	44%	25%	-11%	-26%	-26%	-24%	-25%	-38%	-48%	-35%	-13%	-39%
SOR-9	7%	44%	28%	-10%	-22%	-22%	-22%	-24%	-37%	-44%	-39%	-24%	-37%
SSB-1	35%	46%	19%	-22%	-29%	-28%	-27%	-29%	-44%	-54%	-11%	11%	-43%
SSB-2	36%	46%	21%	-21%	-28%	-27%	-26%	-28%	-42%	-52%	-13%	11%	-41%
SSI-1	38%	46%	10%	-28%	-33%	-31%	-28%	-31%	-47%	-57%	-14%	18%	-48%
SSI-2	35%	46%	18%	-22%	-29%	-28%	-27%	-29%	-44%	-54%	-12%	12%	-44%
TES-1	7%	32%	24%	-14%	-24%	-25%	-22%	-23%	-36%	-52%	-46%	-23%	-37%



ANNEXE 8 : REPARTITION DES PLANS D'EAU PAR MASSE D'EAU ET PAR CATEGORIES DE SURFACE

MASSES D'EAU			
Code masse d'eau	Typologie de surface	Nombre	Surface (en ha)
FRGR0185	Moins de 1 000 m ²	185	6,0
	De 1 000 m ² à 1 ha	63	16,3
	De 1 à 3 ha	3	4,6
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR0186	Moins de 1 000 m ²	25	0,7
	De 1 000 m ² à 1 ha	10	2,6
	De 1 à 3 ha	0	0
	Plus de 3 ha	1	5,1
FRGR0187	Moins de 1 000 m ²	86	3,7
	De 1 000 m ² à 1 ha	31	7,5
	De 1 à 3 ha	4	6,6
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR1722	Moins de 1 000 m ²	145	3,6
	De 1 000 m ² à 1 ha	43	11,4
	De 1 à 3 ha	4	4,6
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR1724	Moins de 1 000 m ²	27	0,7
	De 1 000 m ² à 1 ha	6	2,1
	De 1 à 3 ha	0	0
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR1735	Moins de 1 000 m ²	25	0,9
	De 1 000 m ² à 1 ha	11	2,2
	De 1 à 3 ha	0	0
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR1740	Moins de 1 000 m ²	42	1,1
	De 1 000 m ² à 1 ha	7	1,8
	De 1 à 3 ha	2	3,2
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR1777	Moins de 1 000 m ²	147	3,7
	De 1 000 m ² à 1 ha	30	9,2
	De 1 à 3 ha	0	0
	Plus de 3 ha	0	0
FRGR2262	Moins de 1 000 m ²	70	2,2
	De 1 000 m ² à 1 ha	45	11,5
	De 1 à 3 ha	2	2,4
	Plus de 3 ha	6	57,0
TOTAL	Moins de 1 000 m²	752	22,7
	De 1 000 m² à 1 ha	246	64,7
	De 1 à 3 ha	15	21,5
	Plus de 3 ha	7	62,1

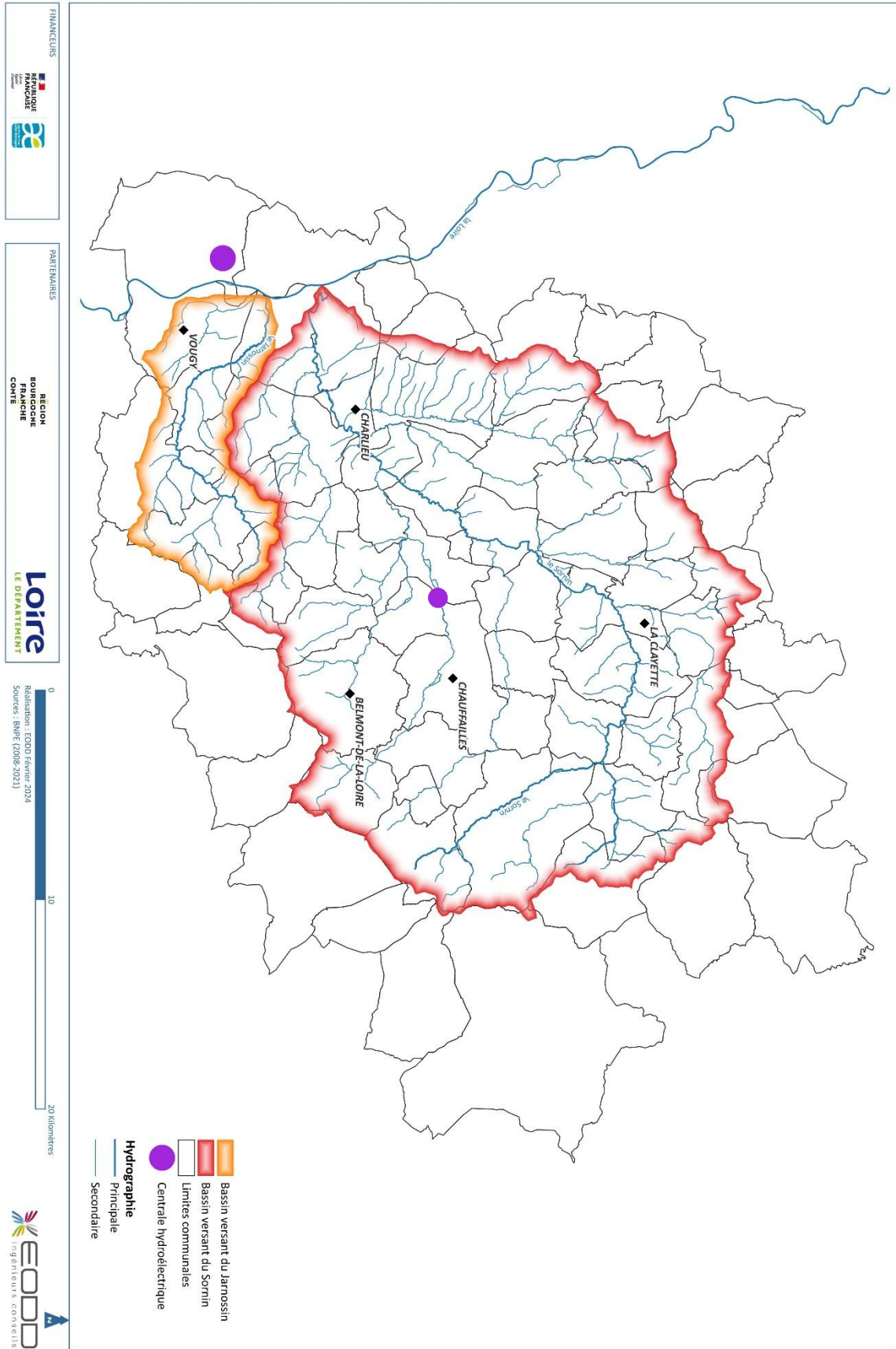
ANNEXE 9 : MAILLES SAFRAN AVEC ETP ASSOCIEES

unité = mm

Maille	Année moyenne												Année
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
5624	12,3	20,8	44,6	67,8	93,4	116,7	131,2	106,7	68,9	36,0	16,3	11,2	725,8
5625	11,9	20,5	44,6	68,1	93,8	117,1	131,9	107,3	69,0	35,5	15,8	10,8	726,3
5716	11,8	20,4	44,7	68,2	93,9	117,3	132,1	107,4	69,0	35,4	15,7	10,7	726,3
5717	11,8	20,4	44,7	68,2	93,9	117,3	132,1	107,4	69,0	35,4	15,7	10,7	726,3
5718	11,2	20,0	44,8	68,6	94,4	117,9	133,2	108,3	69,1	34,7	15,0	10,2	727,3
5719	10,8	19,4	44,9	69,1	95,0	118,7	134,6	109,5	69,3	33,7	14,5	10,0	729,5
5808	12,0	20,6	44,6	68,0	93,7	117,1	131,7	107,2	68,9	35,6	15,9	10,9	726,1
5809	12,3	20,8	44,6	67,8	93,4	116,7	131,2	106,8	68,9	35,9	16,2	11,2	725,8
5810	11,1	19,8	44,8	68,7	94,6	118,2	133,7	108,8	69,2	34,3	14,8	10,1	728,0
5811	11,2	19,2	43,2	66,4	93,8	117,4	133,7	109,8	68,2	33,6	14,7	10,6	721,8
5897	14,1	21,2	42,9	64,4	89,2	111,1	126,3	102,9	67,4	37,5	17,8	13,2	707,8
5898	13,6	21,3	44,2	66,4	92,7	115,8	132,1	108,3	69,8	37,4	17,8	12,4	731,9
5899	12,4	19,9	43,1	65,5	92,4	116,2	133,0	109,5	69,2	35,7	16,3	11,9	725,1
5900	11,2	19,2	43,2	66,4	93,8	117,2	133,5	109,6	68,1	33,6	14,8	10,6	721,3
5988	13,9	21,0	42,8	64,3	89,1	111,0	126,2	102,8	67,2	37,3	17,7	13,1	706,6
5989	13,6	21,2	44,1	66,3	92,6	115,7	132,2	108,3	69,7	37,3	17,7	12,4	731,1
5990	11,3	19,3	43,1	66,2	93,4	116,6	132,6	108,7	67,6	33,5	14,9	10,5	717,7

Maille	Année sèche												Année
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
5624	14,2	23,9	51,2	78,0	107,4	151,7	170,5	138,7	79,2	41,3	18,7	12,9	887,9
5625	13,7	23,6	51,3	78,3	107,8	152,3	171,4	139,5	79,3	40,8	18,2	12,4	888,6
5716	13,5	23,5	51,4	78,4	107,9	152,4	171,7	139,7	79,3	40,7	18,0	12,2	888,8
5717	13,5	23,5	51,4	78,4	107,9	152,4	171,7	139,7	79,3	40,7	18,0	12,2	888,8
5718	12,9	23,0	51,5	78,9	108,5	153,3	173,1	140,8	79,5	39,9	17,3	11,7	890,4
5719	12,5	22,3	51,6	79,4	109,2	154,4	175,0	142,4	79,6	38,7	16,6	11,5	893,4
5808	13,8	23,7	51,3	78,2	107,7	152,2	171,2	139,3	79,3	40,9	18,2	12,5	888,4
5809	14,1	23,9	51,3	78,0	107,5	151,7	170,6	138,8	79,2	41,3	18,6	12,9	887,9
5810	12,7	22,8	51,5	79,1	108,8	153,7	173,8	141,4	79,5	39,4	17,0	11,6	891,3
5811	12,9	22,1	49,7	76,4	107,9	152,6	173,8	142,8	78,4	38,7	17,0	12,2	884,2
5897	16,2	24,3	49,3	74,1	102,6	144,4	164,2	133,8	77,5	43,1	20,5	15,2	865,0
5898	15,7	24,5	50,8	76,3	106,6	150,5	171,8	140,8	80,2	43,0	20,5	14,3	895,1
5899	14,3	22,9	49,5	75,3	106,2	151,1	172,9	142,3	79,6	41,1	18,8	13,6	887,7
5900	12,9	22,1	49,7	76,4	107,8	152,4	173,6	142,5	78,3	38,7	17,0	12,2	883,5
5988	16,0	24,2	49,2	74,0	102,5	144,3	164,1	133,7	77,3	42,9	20,3	15,0	863,6
5989	15,6	24,4	50,7	76,2	106,5	150,5	171,8	140,8	80,1	42,9	20,4	14,2	894,2
5990	13,0	22,2	49,6	76,1	107,4	151,6	172,4	141,3	77,7	38,5	17,1	12,0	879,0

ANNEXE 10 : CENTRALES HYDROELECTRIQUES



ANNEXE 11 : IMPACTS MENSUELS SUR LA SPU AU NIVEAU DES STATIONS ESTIMHAB (SITUATION ACTUELLE)

Station	Cours d'eau	Impacts sur la SPU en année moyenne											
		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
ARO_EST	Aron	HBE	HBE	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	0%	HBE	HBE	HBE
BEZ_EST	Bézot	HBE	HBE	HBE	0%	0%	-1%	-1%	-2%	-1%	0%	HBE	HBE
BOT_EST	Botoret	HBE	HBE	HBE	0%	-1%	-1%	-2%	-2%	-1%	HBE	HBE	HBE
CHA_EST	Chandonnet	HBE	HBE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	HBE	HBE	HBE
EQU_EST	Équetteries	HBE	HBE	HBE	0%	0%	-1%	-1%	-3%	-1%	HBE	HBE	HBE
JAR_EST	Jarnossin	HBE	HBE	0%	0%	0%	-1%	-2%	-1%	-1%	HBE	HBE	HBE
MUS_EST	Mussy	HBE	HBE	HBE	0%	0%	0%	-1%	-1%	0%	HBE	HBE	HBE
SOR_EST	Sornin	HBE	HBE	HBE	0%	0%	-1%	-2%	-2%	-1%	0%	HBE	HBE
SPR_EST	Sornin de Propières	HBE	HBE	HBE	0%	0%	-1%	-1%	-1%	-1%	0%	HBE	HBE
SSL_EST	Sornin de St-Igny	HBE	HBE	HBE	0%	0%	0%	0%	-1%	0%	HBE	HBE	HBE

Station	Cours d'eau	Impacts sur la SPU en année sèche											
		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
ARO_EST	Aron	HBE	HBE	-1%	-3%	-3%	-4%	-6%	-5%	-4%	HBE	HBE	HBE
BEZ_EST	Bézot	HBE	HBE	HBE	-2%	-3%	-6%	-9%	-11%	-7%	-3%	HBE	HBE
BOT_EST	Botoret	HBE	HBE	HBE	-6%	-6%	-8%	-14%	-16%	-11%	HBE	HBE	HBE
CHA_EST	Chandonnet	HBE	HBE	0%	-1%	-1%	-1%	-2%	-2%	-1%	HBE	HBE	HBE
EQU_EST	Équetteries	HBE	HBE	HBE	-2%	-2%	-4%	-6%	-8%	-5%	HBE	HBE	HBE
JAR_EST	Jarnossin	HBE	HBE	0%	-2%	-4%	-6%	-16%	-14%	-4%	HBE	HBE	HBE
MUS_EST	Mussy	HBE	HBE	HBE	-1%	-2%	-3%	-4%	-5%	-3%	HBE	HBE	HBE
SOR_EST	Sornin	HBE	HBE	HBE	-1%	-2%	-4%	-6%	-7%	-3%	HBE	HBE	HBE
SPR_EST	Sornin de Propières	HBE	HBE	HBE	-2%	-2%	-4%	-7%	-8%	-4%	-2%	HBE	HBE
SSL_EST	Sornin de St-Igny	HBE	HBE	HBE	-1%	-1%	-3%	-4%	-5%	-3%	HBE	HBE	HBE

X : débit mensuel en dehors du domaine de validité du modèle

ANNEXE 12 : IMPACTS MENSUELS SUR LA SPU AU NIVEAU DES STATIONS ESTIMHAB (SITUATION 2050)

Station	Cours d'eau	Impacts sur la SPU en année moyenne															
		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.				
ARO_EST	Aron	HBE	HBE	1%	0%	-2%	-5%	-12%	-16%	-12%	-12%	-12%	-16%	-29%	HBE	HBE	HBE
BEZ_EST	Bézot	HBE	HBE	HBE	-2%	-8%	-10%	-22%	-39%	-23%	-39%	-39%	-39%	-23%	HBE	HBE	HBE
BOT_EST	Botoret	HBE	HBE	HBE	-1%	-2%	-5%	-12%	-19%	-19%	-30%	-30%	-30%	HBE	HBE	HBE	HBE
CHA_EST	Chandonnet	HBE	HBE	3%	0%	0%	-2%	-2%	-7%	-7%	-16%	-16%	-5%	HBE	HBE	HBE	HBE
ÉQU_EST	Équetteries	HBE	HBE	HBE	0%	-2%	-5%	-13%	-13%	-13%	-23%	-23%	-23%	X	HBE	HBE	HBE
JAR_EST	Jarnossin	HBE	HBE	1%	0%	-3%	-14%	-26%	-23%	-23%	-42%	-42%	HBE	HBE	HBE	HBE	
MUS_EST	Mussy	HBE	HBE	HBE	-1%	-5%	-6%	-18%	-26%	-26%	-39%	-39%	-17%	HBE	HBE	HBE	HBE
SOR_EST	Sornin	HBE	HBE	HBE	-1%	-6%	-8%	-19%	-24%	-24%	-39%	-39%	-20%	HBE	HBE	HBE	HBE
SPR_EST	Sornin de Propières	HBE	HBE	HBE	-3%	-7%	-12%	-22%	-38%	-38%	-48%	-48%	-23%	HBE	HBE	HBE	HBE
SSL_EST	Sornin de St-Igny	HBE	HBE	HBE	-2%	-6%	-10%	-19%	-33%	-33%	-44%	-44%	-20%	HBE	HBE	HBE	HBE

Station	Cours d'eau	Impacts sur la SPU en année sèche														
		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.			
ARO_EST	Aron	HBE	HBE	1%	-5%	-11%	-12%	-15%	-15%	-17%	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE
BEZ_EST	Bézot	HBE	HBE	HBE	-8%	-15%	-18%	-22%	-25%	-26%	-26%	-26%	-26%	HBE	HBE	HBE
BOT_EST	Botoret	HBE	HBE	HBE	-12%	-17%	-20%	-28%	-32%	-33%	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE
CHA_EST	Chandonnet	HBE	HBE	2%	-2%	-5%	-5%	-6%	-6%	-7%	-9%	-9%	HBE	HBE	HBE	HBE
ÉQU_EST	Équetteries	HBE	HBE	-4%	-10%	-12%	-16%	-17%	-17%	-18%	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE
JAR_EST	Jarnossin	HBE	HBE	4%	-7%	-14%	-21%	-28%	-27%	-21%	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE	HBE
MUS_EST	Mussy	HBE	HBE	HBE	-10%	-17%	-18%	-18%	-20%	-26%	-31%	-31%	HBE	HBE	HBE	HBE
SOR_EST	Sornin	HBE	HBE	HBE	-7%	-15%	-17%	-19%	-21%	-23%	-27%	-27%	HBE	HBE	HBE	HBE
SPR_EST	Sornin de Propières	HBE	HBE	HBE	-18%	-23%	-24%	-24%	-28%	-28%	-36%	-36%	-41%	HBE	HBE	HBE
SSL_EST	Sornin de St-Igny	HBE	HBE	HBE	-15%	-19%	-20%	-20%	-23%	-23%	-31%	-31%	-36%	HBE	HBE	HBE

X : débit mensuel en dehors du domaine de validité du modèle