



ÉTUDE DE DÉPENDANCE DES PRINCIPAUX USAGES DE L'EAU
DU MAINE-ET-LOIRE AU FLEUVE LOIRE
DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

RAPPORT DE PHASE 1 :
REALISATION D'UN DIAGNOSTIC GENERAL CARTOGRAPHIE
DE LA SITUATION HYDROLOGIQUE ACTUELLE ET FUTURE (2030, 2050 et 2070)
DE LA LOIRE SUR LE DEPARTEMENT DE MAINE-ET-LOIRE



1299 chemin des Nartettes
83400 Hyères

Tel : 04 22 14 53 09

SIRET 528 254 311 00053

sophie.nicolai@eco-logique-conseil.fr



Le Vexin 1 - 8, place de la
Fontaine 95000 CERGY

Tél : 01 30 32 33 30

SIRET 391 455 920 00044

ecodecision@ecodecision.fr



Parc de l'Île – 15/27 rue du
Port

92022 Nanterre cedex

Tel : 01 46 14 71 48

Siret : 542 021 829 00107

didier.dagorne@safège.fr

SOMMAIRE

1	Préambule	14
1.1	Contexte de l'étude.....	14
1.2	Périmètre d'étude.....	14
2	Diagnostic général sur le département Maine-et-Loire : cartographie	15
2.1	Carte A : Situation actuelle	17
2.1.1	Hydrologie de la Loire et ses principaux affluents	17
2.1.2	Les usages de l'eau	29
2.2	Carte B : Evolutions futures	37
2.2.1	Evolutions climatiques et hydrologiques : projet Explore 2.....	37
2.2.2	Evolution des usages de l'eau	44
2.3	Carte C : La Loire dans son entièreté	53
2.3.1	Les débits de la Loire.....	53
2.3.2	Les prélèvements à l'échelle du bassin de la Loire	55
2.3.3	Les prélèvements en Loire sur le département de Loire-Atlantique	57
2.3.4	Evolution des débits	58
3	Annexes	59
3.1	Annexe 1 :.....	59
3.2	Annexe 2 : Explore 2 et projections à l'échelle de la France hexagonale	59

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des données hydrométriques pour les stations analysées, représentatives de la Loire et de ses principaux affluents (source : Hydroportail)	18
Tableau 2 : Indicateurs statistiques pour les stations de la Loire à Saumur et à Montjean-sur-Loire (Source : Hydroportail, Suez Consulting).....	20
Tableau 3 : Evolution des indicateurs statistiques, entre les périodes 1965-1987 et 2000-2022, des stations de la Loire en Maine-et-Loire (Source : Hydroportail, Suez Consulting)	21
Tableau 4 : Caractérisation des données valorisées pour décrire les prélèvements d'eau (Source : Suez Consulting).....	30
Tableau 5 : part, pour chaque mois de l'année, du prélèvement annuel en eau potable (Source : SDGRE 49).....	31
Tableau 6 : consommation journalière par type de bétail.....	31
Tableau 7 : origine de l'eau selon les animaux (Source : SDGRE 49)	32
Tableau 8 : origine de la ressource pour l'abreuvement (Source : SDGRE 49)	32
Tableau 9 : Répartition temporelle des prélèvements pour l'irrigation des cultures (Source : SDGRE 49)	33
Tableau 10 : Volumes de prélèvements à l'échelle du département de Maine-et-Loire sur la période 2000-2022 (Source : Suez Consulting).....	36
Tableau 11 : Taux d'évolutions de la population du département (sources : SDGRE, INSEE)	45
Tableau 12 : Evolution de la consommation domestique du département (calculs Ecodecision)	46
Tableau 13 : évolution du cheptel aux horizons 2050 et 2070 (source : SDGRE et atelier de concertation)	49
Tableau 14 : évolutions des filières végétales (Source SDGRE, CD49).....	50
Tableau 15 : évolution des besoins en irrigation (source : SGRE et atelier de concertation).....	50
Tableau 16 : évolution du nombre de jours antigel (source : SGRE , BE, DDT, CD49).....	51

Liste des figures

Figure 1 : Les bassins versants du Maine-et-Loire (Source : SDGRE 49)	15
Figure 2 : Stations hydrométriques analysées dans l'étude (source : Hydroportail)	19
Figure 3 : Evolution des débits entre 1965 et 2022 sur la Loire à Montjean-sur-Loire.....	21
Figure 4 : Débits moyens mensuels interannuels (en haut) Débits mensuels secs d'occurrence 5 ans (QMN5, en bas) de la Loire à Saumur et Montjean-sur-Loire (Source : Hydroportail, Suez Consulting)	22
Figure 5 : Débits moyens (gauche) et secs (droite) spécifiques sur la Loire et ses affluents (Source : Hydroportail, Suez Consulting).....	23

Figure 6 : Schématisation du temps de propagation des fluctuations de débit le long de la Loire et de l'Allier (Source : EPTB Loire)	24
Figure 7 : Proportion de débits provenant des ouvrages de soutien d'étiage de Naussac et Villerest (source : HydroPortail, EP Loire)	26
Figure 8 : Emprise des nappes du département 49 et piézomètres mesurant leur niveau (source : BRGM)	27
Figure 9 : Localisation des points de prélèvements sur le département 49 et origine de la ressource prélevée (Source : Suez Consulting)	34
Figure 10 : Prélèvements en eau à l'échelle du département de Maine-et-Loire (Source : Suez Consulting).....	35
Figure 11 : Volumes moyens annuels prélevés en m ³ par zone hydrographique (Source : Suez Consulting).....	36
Figure 12 : Répartition mensuelles des prélèvements à l'échelle du département de Maine-et-Loire (Source : Suez Consulting)	37
Figure 13 : Evolution des émissions de CO ₂ d'après les scénarios RCP (Source : https://doi.org/10.3390/su14042410).....	38
Figure 14 : Chaîne de modélisation du Scénario d'émission à la projection des débits (Source : Explore 2).....	39
Figure 15 : Evolution de l'importance relative des différentes sources d'incertitude selon les horizons futurs considérés (source : Explore 2).....	40
Figure 16 : Représentation de la cascade d'incertitudes dans le cadre de la modélisation du changement climatique et de ses effets sur la ressource en eau (Source : Explore 2).....	41
Figure 17 : Evolution (en %) des débits moyens (en haut) et des débits faibles (en bas) [Moyenne multi-modèles] (Source : https://meandre.explore2.inrae.fr/).....	44
Figure 18 : Scénarios Omphale d'évolution de la population du département (source : INSEE).....	45
Figure 19 : Evolution de la population du département via le scénario Omphale-haut (source : ECODECISION)	46
Figure 20 : évolution du nombre de gros animaux sur le département du Maine-et-Loire (source : Agreste)	47
Figure 21 : évolution du nombre de bovins par grande catégorie sur le département du Maine-et-Loire (source : Agreste)	48
Figure 22 : Prélèvements industriels sur le département (source : données SDGRE mises à jour par Suez Consulting).....	52
Figure 23 : Débits moyens le long de la Loire. Valeurs absolues à gauche, valeurs spécifiques à droite (source : HydroPortail)	53
Figure 24 : Débits spécifiques moyens sec (QMNA5) le long de la Loire (source : HydroPortail).....	54
Figure 25 : Localisation des prélèvements en Loire et ressource concernée par les prélèvements (source : AELB).....	55
Figure 26 : Localisation et volume de prélèvement en Loire et ses alluvions, type d'usage (source : AELB).....	56
Figure 27 : Volumes prélevés en Loire et ses alluvions sur le département de Loire-Atlantique.....	57
Figure 28 : Volumes prélevés en Loire et ses alluvions sur le département de Mai-et-Loire	57

Figure 29 : Evolutions des débits moyens (gauche) et des faibles débits (droite) à l’horizon 2041-2070	58
Figure 30 : Changements projetés pour la température moyenne annuelle pour 4 futurs contrastés (narratifs Explore 2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005)	61
Figure 31 : Changements projetés pour les cumuls annuels de précipitation pour quatre futurs contrastés (narratifs d’Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005).....	62
Figure 32 : Changements projetés pour le débit moyen estival pour quatre futurs contrastés (narratifs d’Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005) (médiane des modèles).....	62
Figure 33 : Changements projetés pour le VCN10 pour quatre futurs contrastés (narratifs d’Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005) (estimation médiane tous modèles hydrologiques confondus). Résultats Explore 2 mise en forme sur le site Méandre (INRAE)	63

Glossaire

Terme	Acronyme	Définition	Source
Agence de l'eau Loire-Bretagne	AELB	<p>Les agences de l'eau, établissements publics de l'État, sont les opérateurs de la politique de l'eau sur ces grands bassins. Elles définissent leur cadre d'action en fonction des spécificités de leur territoire, des orientations nationales ou engagements européens, et en tenant compte de la stratégie de l'eau et des milieux aquatiques élaborée et validée par des « parlements locaux de l'eau », appelés des comités de bassin.</p> <p>Depuis la loi sur l'eau de 1964, l'eau est gérée en France par grands bassins hydrographiques qui correspondent aux territoires des grands fleuves. Il y a ainsi en France 6 agences de l'eau. L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne est l'une d'entre elles.</p>	lesagencesdel'eau.fr
Aquifère	-	Formation géologique contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau et constituée de roches perméables et capable de la restituer naturellement et/ou par exploitation.	Actu-Environnement
Bassin versant	BV	Le bassin versant est un territoire géographique bien défini : il correspond à l'ensemble de la surface recevant les eaux qui circulent naturellement vers un même cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine.	OFB
Chambre d'Agriculture	CA	<p>Les Chambres d'agriculture, créées en 1924, sont des établissements publics dirigés par des élus. Elles représentent l'ensemble des acteurs du monde agricole, rural et forestier : exploitants, propriétaires, salariés, groupements professionnels... Le réseau des Chambres d'agriculture est investi de 3 missions, issues du Code rural et amendées par Loi d'avenir de l'agriculture du 13 octobre 2014 : Contribuer à l'amélioration de la performance économique, sociale et environnementale des exploitations agricoles et de leurs filières. Accompagner dans les territoires, la démarche entrepreneuriale et responsable des agriculteurs ainsi que la création d'entreprise et le développement de l'emploi. Assurer une fonction de représentation auprès des pouvoirs publics et des collectivités territoriales.</p>	chambres-agriculture.fr

Terme	Acronyme	Définition	Source
Communauté de Commune	CC	<p>Une communauté de communes est une catégorie d'établissement public de coopération communale (EPCI) à fiscalité propre créée en 1992.</p> <p>Elle regroupe généralement plusieurs communes sur un territoire d'un seul tenant et sans enclave.</p> <p>Elle exerce des compétences sur ce territoire à la place des communes dans des domaines comme l'aménagement de l'espace, le développement économique, ou encore la gestion des déchets.</p>	vie-publique.fr
Débit	Q	Le débit représente un volume d'eau écoulé par unité de temps, généralement exprimé en m ³ /s.	Actu-Environnement
Débit de base	-	Le débit de base est une partie du débit fluvial qui n'est pas directement générée par les précipitations excessives. Il s'agit du débit qui existerait dans le cours d'eau sans la contribution du ruissellement direct des précipitations. Le niveau d'eau le plus bas correspond à l'étiage. Le débit de base est la contribution du débit des eaux souterraines qui alimente de nombreuses rivières pérennes.	Aquaportail
Débit de crise	DCR	Le DCR est le débit moyen journalier en dessous duquel seules les exigences de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité civile et de l'alimentation en eau potable de la population et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits. Il s'agit d'une valeur opérationnelle suivie au quotidien. À ce niveau, toutes les mesures de restriction des prélèvements et des rejets doivent donc avoir été mises en œuvre. (Source : Il de l'article 6 de l'arrêté ministériel du 17 mars 2006 relatif au contenu des SDAGE, www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000609821).	SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027

Terme	Acronyme	Définition	Source
Débit d'étiage quinquennal	QMNA5	Le QMNA5 correspond au débit moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans, c'est-à-dire ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé pour une année donnée. Le QMNA5 est également mentionné dans la circulaire du 3 août 2010 du ministère en charge de l'écologie (NOR : DEVO1020916C) : « Le débit de l'année quinquennale sèche correspond, en se référant aux débits des périodes de sécheresse constatés les années précédentes, à la valeur la plus faible qui risque d'être atteinte une année sur cinq. La probabilité d'avoir un débit supérieur à cette valeur est donc de quatre années sur cinq ». Le QMNA5, dont on peut considérer qu'il reflète indirectement un potentiel de dilution et un débit d'étiage typiques d'une année sèche, est utilisé dans le traitement des dossiers de rejet et de prélèvement en eau en fonction de la sensibilité des milieux concernés. Le QMNA5 sert en particulier de référence aux débits objectifs d'étiage (DOE - voir ce terme). Le QMNA5 est une valeur réglementaire qui présente l'inconvénient d'être soumise à l'échelle calendaire. Les débits d'étiage peuvent en effet être observés durant une période chevauchant deux mois, induisant une surestimation du débit d'étiage par le QMNA. Pour cette raison, même si le QMNA5 reste une valeur réglementaire, l'évaluation des niveaux de débit en période d'étiage s'appuie préférentiellement sur des données journalières.	SUEZ Consulting
Débit mensuel interannuel quinquennal sec	QMN5	Le débit mensuel interannuel quinquennal sec correspond pour un mois considéré, au débit mensuel qui a une probabilité de 4/5 d'être dépassé chaque année. Il permet de caractériser un mois calendaire de faible hydraulicité.	SUEZ Consulting
Débit minimum de l'année calculé sur d jours consécutifs	VCNd	Les VCNd sont des valeurs extraites annuellement en fonction d'une durée fixée « d ». <ul style="list-style-type: none"> - Le VCN3 permet de caractériser une situation d'étiage sévère sur une courte période (3 jours). - Les VCN7 et VCN10 correspondent à des valeurs réglementaires dans de nombreux pays et sont très utilisés d'une manière générale dans les travaux portant sur les étiages. <p>Nota : Il est intéressant de comparer le QMNA au VCN30. Le VCN30 correspond à la moyenne mobile la plus faible de l'année calculée sur 30 jours consécutifs, car il se rapproche en termes de durée de l'échelle mensuelle. Ces deux grandeurs devraient être proches, mais dans certains contextes des écarts importants peuvent apparaître, notamment lors d'années pluvieuses et dans le cas de bassins imperméables qui ont une réponse rapide aux impulsions pluviométriques.</p>	SUEZ Consulting
Débit moyen mensuel	QMM	Moyenne, pour un mois donné, des débits moyens journaliers.	Glossaire Eau

Terme	Acronyme	Définition	Source
Débit moyen mensuel minimum de l'année	QMNA	Il s'agit de la variable usuellement employée par les services gestionnaires pour caractériser les étiages d'un cours d'eau. Il s'agit, pour une année donnée, du débit moyen mensuel (= moyenne des débits journaliers sur un mois) le plus bas de l'année.	SUEZ Consulting
Débit ruisselé	-	Le débit ruisselé est, au sein du débit total d'un cours d'eau, la part complémentaire au débit de base	SUEZ Consulting
Débit seuil d'alerte	DSA	À l'échelle du bassin Loire-Bretagne, le DSA est un débit moyen journalier en dessous duquel une des activités utilisatrices d'eau ou une des fonctions du cours d'eau est compromise. Le DSA est donc un seuil de déclenchement de mesures correctives. La fixation de ce seuil tient également compte de l'évolution naturelle des débits et de la nécessaire progressivité des mesures pour ne pas atteindre le DCR. Le DSA constitue, en tant que seuil d'alerte, un seuil de déclenchement de restrictions et de mesures associées, en référence à l'Instruction du 27 juillet 2021 (NOR: TREL2119797J) relative à la gestion des situations de crise liées à la sécheresse hydrologique	SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027
Direction Départementale des Territoires	DDT	Les directions départementales des territoires (et de la mer) sont le relai des DREAL pour le déploiement de la politique du ministère. Les DDT veillent au développement équilibré et durable des territoires, tant urbains que ruraux, par le biais des politiques agricole, d'urbanisme, de construction, d'aménagement et de transport.	Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires Ministère de la Transition Energétique
Directive Cadre sur l'Eau	DCE	Ce texte définit la notion de « bon état des eaux », vers lequel doivent tendre tous les États membres, dont la France. La DCE poursuit plusieurs objectifs : la non-dégradation des ressources et des milieux ; le bon état des masses d'eau, sauf dérogation motivée ; la réduction des pollutions liées aux substances ; le respect de normes dans les zones protégées.	Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires Ministère de la Transition Energétique
Etablissements publics de coopération intercommunale	EPCI	Les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des structures administratives permettant à plusieurs communes d'exercer des compétences en commun. Ils sont soumis à des règles communes, homogènes et comparables à celles de collectivités locales. Les communautés urbaines, communautés d'agglomération, communautés de communes, syndicats d'agglomération nouvelle, syndicats de communes et les syndicats mixtes sont des EPCI.	INSEE

Terme	Acronyme	Définition	Source
Evapotranspiration potentielle	ETP	Une évapotranspiration potentielle ETP est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par évapotranspiration sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré. Elle s'exprime en hauteur d'eau.	Aquaportail
Exutoire	-	Les exutoires hydrologiques sont des passages par lesquels s'écoule le débit sortant d'un réservoir ou d'un cours d'eau, comme un estuaire.	Aquaportail
Hydrogéologie	-	L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Cette science étudie les interactions entre les structures géologiques du sous-sol (nature et structures des roches, des sols) et les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface.	Futura Sciences
Hydrogramme	-	Un hydrogramme est une courbe graphique représentative du débit d'un cours d'eau en fonction du temps, montrant une représentation, graphique ou non, de la variation temporelle des débits.	Aquaportail
Hydrographie	-	Branche de la géographie ayant pour objet l'étude et la description des mers, des lacs et des cours d'eau présents à la surface du globe. Dans le cadre de la présente étude, on s'intéresse en particulier au tracé des cours d'eau	cnrtl
Hydrologie	-	L'hydrologie est l'étude du mouvement, de la distribution, et la qualité de l'eau sur Terre et d'autres planètes du point de vue hydrologique, y compris le cycle hydrologique, les ressources en eau et le développement durable du bassin versant de l'environnement.	Aquaportail
Hydrosystème	-	Un hydrosystème est composé d'eau et de tous les milieux aquatiques associés dans un secteur géographique délimité, notamment un bassin versant. Le concept d'hydrosystème insiste sur la notion de biosystème et sur son fonctionnement hydraulique et biologique qui peuvent être modifiés par les actions de l'homme.	Aquaportail
LoiEau	LoiEau	La base de données Web LoiEau fournit des chroniques hydrologiques simulées de 1958 à 2018 au pas de temps journalier, à partir desquelles de multiples indicateurs hydrologiques sont extraits, permettant de caractériser la ressource en eau dans son ensemble (étiage, saisonnalité, bilan).	La Houille Blanche
Masse d'eau	ME	Portion de cours d'eau, canal, aquifère, plan d'eau ou zone côtière homogène. Il s'agit d'un découpage élémentaire des milieux aquatiques destinée à être l'unité d'évaluation de la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE.	EauFrance
Masse Souterraine	d'Eau MESOU	Une masse d'eau souterraine est un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères.	EauFrance

Terme	Acronyme	Définition	Source
Masse d'Eau Superficielle	MESU	Une masse d'eau de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface, telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau la délimitation des masses d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau et la notion d'hydro-écorégion. Les masses d'eau sont regroupées en types homogènes qui servent de base à la définition de la notion de bon état.	EauFrance
Module	-	<p>Débit moyen interannuel</p> <p>Le module est la moyenne des débits moyens annuels calculés sur une année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station. Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource d'un bassin versant. Il doit être calculé sur une période d'observations suffisamment longue pour être représentative des débits mesurés ou reconstitués.</p> <p>Il a valeur de référence réglementaire, notamment dans le cadre de l'article L214-18 du code de l'environnement et de sa circulaire d'application du 5 juillet 2011 fixant au dixième du module désinfluencé la valeur plancher du débit à laisser en aval d'un ouvrage dans le lit d'un cours d'eau.</p>	OFB
Nappe d'accompagnement	-	Nappe d'eau souterraine voisine d'un cours d'eau dont les propriétés hydrauliques sont très liées à celles du cours d'eau. L'exploitation d'une telle nappe induit une diminution du débit d'étiage du cours d'eau, soit parce que la nappe apporte moins d'eau au cours d'eau, soit parce que le cours d'eau se met à alimenter la nappe (Source : Glossaire Eau et Biodiversité) ; Les nappes d'accompagnement sont des nappes libres en lien très étroit avec les cours et s'articule ainsi le long de ces derniers.	EauFrance
Nappe souterraine	d'eau	<p>Une nappe d'eau souterraine est une eau contenue dans des interstices, des fissures et des fractures en communication les uns avec les autres. Cette eau souterraine est localisée dans un aquifère, situé au-dessus d'une couche de terrain imperméable. Une nappe d'eau souterraine se caractérise par son niveau supérieur ou son niveau piézométrique.</p> <p>En fonction de sa position, on distingue les nappes libres ou nappes phréatiques où le niveau piézométrique se situe dans l'aquifère et des eaux captives, situées entre deux couches de terrains imperméables, dont le niveau piézométrique est situé au-dessus de l'aquifère.</p>	Aquaportail
Période d'étiage	-	L'étiage d'un cours d'eau, c'est la période de l'année pendant laquelle les niveaux d'eau sont les plus bas.	Les Agences de l'Eau

Terme	Acronyme	Définition	Source
Piézométrie	-	La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. Elle est exprimée soit par rapport au sol en m, soit par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en m NGF (Nivellement Général Français).	SIGES Centre-Val de Loire
Projection climatique	-	Désigne la prévision de la réaction du système climatique en réponse à des scénarios d'émissions ou de concentration de gaz à effet de serre, d'aérosols, ou de forçage radiatif. Ces projections reposent fréquemment sur des simulations générées par des modèles climatiques, offrant ainsi des aperçus anticipés des évolutions climatiques potentielles en fonction des différentes variables et des conditions spécifiques envisagées.	Météo France
Racine de l'écart quadratique moyen	RMSE	La RMSE donne une idée de la distance moyenne entre les prédictions d'un modèle et les valeurs réelles. Plus la RMSE est petite, meilleure est la performance du modèle, car cela signifie que les prédictions sont en moyenne plus proches des valeurs réelles.	SUEZ Consulting
Résurgence	-	En hydrographie, une résurgence consiste en l'apparition des eaux en surface au terme d'une circulation entièrement souterraine dans le karst ; elle est une réapparition à l'air libre, au terme de son parcours souterrain, d'un écoulement de surface qui avait disparu en amont.	Aquaportail
Retenue	-	Une retenue d'eau est un plan d'eau confiné dans une enceinte, comme un réservoir. Elle est un lac, un étang ou un plan d'eau réservoir, créé artificiellement par la construction d'un barrage, digue, vanne ou autre type de barrière. La retenue d'eau est une étendue d'eau formée par accumulation, par exemple en amont d'un barrage.	Aquaportail
Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux	SAGE	Le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) est un outil de planification, institué par la loi sur l'eau de 1992, visant la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau. Déclinaison du SDAGE à une échelle plus locale, il vise à concilier la satisfaction et le développement des différents usages (eau potable, industrie, agriculture, ...) et la protection des milieux aquatiques, en tenant compte des spécificités d'un territoire. Délimité selon des critères naturels, il concerne un bassin versant hydrographique ou une nappe. Il repose sur une démarche volontaire de concertation avec les acteurs locaux.	Gesteau

Terme	Acronyme	Définition	Source
Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux	SDAGE	En France comme dans les autres pays membres de l'union européenne, les "plans de gestion" des eaux sont encadrés par le droit communautaire inscrit dans la directive cadre sur l'eau (DCE) de 2000. Ce sont les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). Institués par la loi sur l'eau de 1992, ces documents de planification ont évolué à la suite de la DCE. Ils fixent pour six ans les orientations qui permettent d'atteindre les objectifs attendus en matière de "bon état des eaux". Ils sont au nombre de 12, un pour chaque "bassin" de la France métropolitaine et d'outre-mer.	Gesteau
Sécheresse	-	On distingue trois grands types de sécheresses : La sécheresse météorologique provoquée par un manque de pluie ; La sécheresse agricole causée par un manque d'eau dans les sols et qui nuit au développement de la végétation ; La sécheresse hydrologique lorsque les lacs, rivières, cours d'eau ou nappes souterraines ont des niveaux anormalement bas.	Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires Ministère de la Transition énergétique
Zone de Répartition des Eaux	ZRE	Zone comprenant les bassins, sous-bassins, fractions de sous-bassins hydrographiques et systèmes aquifères définis dans le décret du 29 avril 1994. Les zones de répartition des eaux (ZRE) sont des zones où est constatée une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins. Elles sont définies afin de faciliter la conciliation des intérêts des différents utilisateurs de l'eau. Les seuils d'autorisation et de déclaration du décret nomenclature y sont plus contraignants.	Glossaire Eau

1 Préambule

1.1 Contexte de l'étude

Le changement climatique et les périodes de sécheresse associées de ces dernières années mettent en évidence le risque de vulnérabilité de certains usages de l'eau. En effet, certains usages peuvent être impactés par d'éventuelles restrictions en eau et générer des impacts socio-économiques importants. Le département du Maine-et-Loire est concerné par cette problématique puisque le débit de la Loire au cours de l'été 2019 a affiché une valeur inférieure à la valeur minimale la plus basse depuis 30 ans. L'élaboration du Schéma Départemental de Gestion de la Ressource en Eau (SDGRE) a permis aux différents acteurs de l'eau de prendre connaissance des différents usages de l'eau présents sur le territoire et d'analyser leurs évolutions futures.

Les objectifs de cette étude sont multiples et se veulent complémentaires :

- Sensibiliser les acteurs et les usagers à la raréfaction de la ressource en eau ;
- Fournir aux territoires un socle commun sur lequel s'appuyer pour anticiper les besoins futurs tout en intégrant la diminution des ressources en eau ;
- Appréhender les vulnérabilités des territoires, en matière de ressource en eau ;
- Mieux adapter le territoire de Maine-et-Loire face à la baisse d'accessibilité de la ressource en eau (quantitative et qualitative) ;
- Proposer des solutions d'adaptation spécifiées au département de Maine-et-Loire, susceptibles d'être reprise dans le SDGRE et dans l'actualisation du Schéma Départemental d'Alimentation en Eau Potable (SDAEP).

Cette étude se compose de **4 phases** :

- Une première phase consacrée à l'élaboration du diagnostic général cartographié de la situation hydrologique du territoire actuelle et future (2030, 2050 et 2070) ;
- Une seconde phase visera à déterminer la vulnérabilité actuelle et future (2030, 2050 et 2070) des principaux usages ;
- Une troisième phase permettra d'estimer l'impact socio-économique actuel et futur (2030, 2050 et 2070) de la vulnérabilité des principaux usages ;
- Une dernière phase sera dédiée à l'identification des mesures d'adaptation des usages dépendants de la Loire.

1.2 Périmètre d'étude

Le Maine-et-Loire, situé dans la région des Pays de la Loire, se caractérise par un réseau hydrographique dense et varié, jouant un rôle central dans la gestion de la ressource en eau. Ce territoire est marqué par la rencontre de deux grands ensembles géologiques : le Massif Armoricaïn à l'ouest, composé de terrains cristallins et métamorphiques, et le Bassin Parisien à l'est, constitué de formations sédimentaires. La vallée de la Loire, véritable axe structurant, traversant le département d'est en ouest, façonne à la fois les paysages et les activités humaines.

Dans le cadre de cette étude, réalisée en continuité avec le Schéma Directeur de Gestion de la Ressource en Eau (SDGRE), les analyses s'appuient sur les contours administratifs du département. Le découpage utilisé reprend les limites des zones définies par le SDGRE, elles-mêmes alignées, lorsque cela s'applique, sur les périmètres des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Au

total, 14 zones distinctes ont été identifiées (dans le cadre du SDGRE) et sont présentées dans la figure suivante :

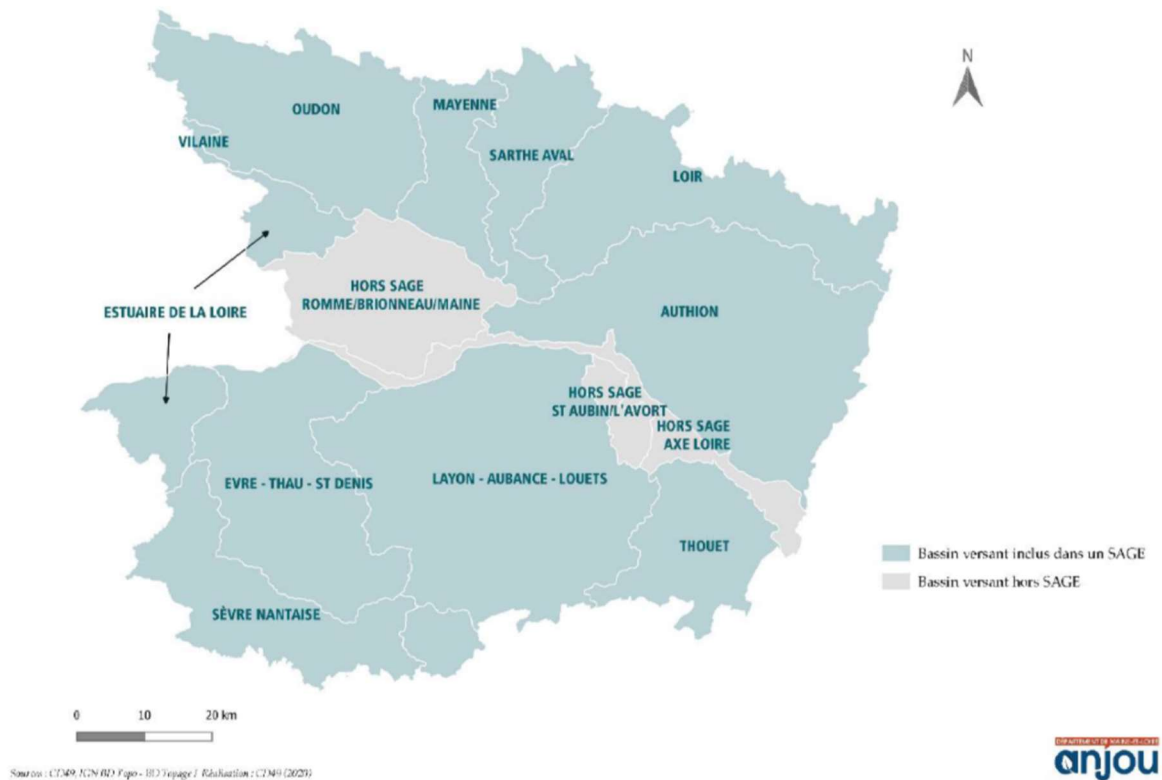


Figure 1 : Les bassins versants du Maine-et-Loire (Source : SDGRE 49)

2 Diagnostic général sur le département Maine-et-Loire : cartographie

La première phase de l'étude repose sur un diagnostic général de la situation hydrologique actuelle (ressources et usages) et futures (2030, 2050 et 2070), avec deux objectifs principaux :

- **Évaluer l'état de la ressource en eau**, en examinant sa résilience et sa vulnérabilité face aux impacts du changement climatique ;
- **Identifier les usages de l'eau, et leur évolution, dans la zone d'étude**, en mettant en lumière leur dépendance au fleuve Loire.

Ce diagnostic vise à fournir aux acteurs locaux une compréhension claire et accessible des ressources disponibles et des usages associés. Il permet d'anticiper les dynamiques et les risques liés aux évolutions climatiques, en offrant une base solide pour élaborer des solutions adaptées et durables, notamment pour les usages prioritaires comme l'alimentation en eau potable.

Pour faciliter l'analyse et la communication des résultats, trois **cartographies interactives** ont été développées afin de visualiser les données actualisées, dont la plupart sont issues du SDGRE :

Carte A : État actuel

Elle dresse un diagnostic précis des ressources en eau et des usages dans le département, localisant les points de prélèvement, les volumes consommés par secteur (eau potable, agriculture, industrie) et

leur répartition géographique. Elle met également en évidence les liens de dépendance entre les prélèvements et le fleuve Loire ou ses affluents.

Carte B : Évolutions futures

Cette carte projette les changements possibles dans les usages et les ressources en eau à l'horizon 2030, 2050 et 2070. Basée sur un scénario élaboré en concertation avec les acteurs locaux et enrichie des résultats du projet *Explore 2*, elle anticipe les impacts des tendances démographiques, des évolutions climatiques et des stratégies d'adaptation envisagées sur le territoire.

Carte C : Bassin de la Loire

Cette cartographie étend l'analyse au niveau du bassin de la Loire, en intégrant les usages dépendant du fleuve ainsi que les débits mesurés tout au long de son cours. Elle apporte un éclairage global sur les enjeux hydrologiques, permettant une comparaison des situations observées dans les différentes parties du bassin.

Les analyses détaillées relatives à chacune de ces cartes sont présentées dans les sections suivantes.

2.1 Carte A : Situation actuelle

2.1.1 Hydrologie de la Loire et ses principaux affluents

Le régime hydrologique d'un cours d'eau, correspondant aux fluctuations de son débit ayant lieu au cours d'une année type, est une clé essentielle pour comprendre le fonctionnement global d'un bassin versant. Ce régime est principalement influencé par le mode d'alimentation du cours d'eau, qu'il soit dû aux précipitations, à la fonte des neiges ou à des apports souterrains (source : Eau France). Une caractérisation précise du cycle hydrologique est donc indispensable pour analyser les dynamiques à l'œuvre dans un territoire donné.

Dans le cadre de cette étude, les débits de la Loire et de ses principaux affluents dans le département du Maine-et-Loire ont été analysés à partir des mesures issues des stations hydrométriques réparties sur l'ensemble du territoire.

Cette analyse vise à caractériser les évolutions hydrologiques sur la période contemporaine (2000-2022) et, lorsque les données le permettent, à les comparer avec celles d'une période historique de référence (1965-1987). Ces comparaisons permettent de mettre en évidence les impacts déjà observés des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les régimes hydrologiques.

En complément, un paragraphe met en lumière le rôle global du soutien d'étiage assuré par les barrages de Naussac et de Villerest. Une approche simplifiée est utilisée pour estimer la contribution des débits provenant de ces ouvrages dans différentes configurations.

Un paragraphe détaille également le fonctionnement hydrogéologique des bassins versants, en s'appuyant sur les résultats du SDGRE et sur l'expertise du BRGM.

2.1.1.1 Analyse approfondie des débits

2.1.1.1.1 Stations hydrométriques

Les stations hydrométriques retenues pour cette étude permettent de couvrir les cours d'eau principaux de chaque zone hydrographique du SDGRE. La priorité a été donnée aux stations les plus aval possible sur leurs bassins respectifs, afin d'avoir une vue globale sur les débits des cours d'eau principaux. Toutefois, dans certains cas, comme pour la Mayenne et la Sarthe, une station située plus en amont a été choisie lorsque les données de la station aval étaient insuffisantes pour un traitement robuste. Ainsi, les stations de Chambellay et de Saint-Denis d'Anjou ont respectivement été sélectionnées pour la Mayenne et la Sarthe.

À l'exception des observations réalisées sur l'Authion aux Ponts-de-Cé, les données proviennent de la base Hydroportail (<https://www.hydro.eaufrance.fr/>). Pour l'Authion, les mesures sont issues d'une station hydrométrique gérée par le Syndicat mixte pour le Développement agricole de la Vallée de l'Authion (SYDEVA), auprès duquel les données ont été collectées.

Un préalable essentiel aux analyses est de vérifier la complétude des données hydrométriques. Pour chaque station, les lacunes dans les séries de données ont été identifiées et documentées. Les années présentant des données insuffisantes ou de mauvaise qualité ont été exclues des analyses. Le tableau suivant présente la synthèse des lacunes identifiées pour chaque station :

X	Pas de données pour l'année donnée
I (...)	Année incomplète (... = nombre de jours manquants)
O	Année complète

Tableau 1 : Caractéristiques des données hydrométriques pour les stations analysées, représentatives de la Loire et de ses principaux affluents (source : Hydroportail)

	L8000010 La Loire à Montsoreau et à Saumur	L8602110 Le Thouet à Chacé	L8700010 La Loire aux Ponts-de-Cé	M1531610 Le Loir à Durtal	M3630910 La Mayenne à Chambellay	M3851810 L'Oudon à Segré [écluse de Maingué]	M3910910 La Mayenne à Montreuil- Juigné	M4101910 La Maine à Angers	M5222010 Le Layon à Saint- Lambert-du- Lattay	M5300010 La Loire à Montjean-sur- Loire	M6013010 L'Evre à la Chapelle-Saint- Florent	Authion L'Authion au Pont Bourguignon	M0680610 La Sarthe à Saint-Denis- d'Anjou
1965	0	0	X	0	I (59)	X	X	X	0	X	X	X	X
1966	0	0	X	0	I (44)	X	X	X	0	X	X	X	X
1967	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	X	X	X
1968	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	X
1969	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	X
1970	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	X
1971	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1972	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1973	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1974	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1975	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	I (11)	X	0
1976	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	I (93)	X	0
1977	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1978	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	I (363)	X	0
1979	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	X	X	0
1980	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	I (14)	X	0
1981	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1982	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1983	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1984	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1985	0	0	X	I (90)	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1986	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1987	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1988	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1989	0	0	X	0	0	X	X	0	0	0	I (75)	X	0
1990	0	0	X	I (58)	0	X	X	0	0	0	I (92)	X	0
1991	0	I (205)	X	0	0	X	X	0	0	0	I (51)	X	0
1992	0	X	X	0	0	X	X	0	0	0	0	X	0
1993	0	X	X	0	0	X	I (360)	0	I (29)	0	0	X	0
1994	0	X	X	0	0	X	I (3)	0	0	0	0	X	0
1995	0	X	X	0	0	I (24)	I (44)	0	0	0	0	X	0
1996	0	X	X	0	0	0	I (30)	0	I (44)	0	I (36)	X	0
1997	0	X	X	0	0	0	I (58)	0	I (68)	0	0	X	0
1998	0	X	X	0	0	0	0	0	I (62)	0	0	X	0
1999	0	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
2000	0	X	I (194)	0	0	0	I (56)	0	0	0	0	X	0
2001	0	0	0	0	0	0	I (86)	0	I (16)	0	0	X	0
2002	0	I (361)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
2003	0	X	0	0	0	0	I (59)	0	0	0	0	X	0
2004	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
2005	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	I (88)	X	0
2006	0	I (177)	0	0	0	0	I (61)	0	0	0	0	X	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I (31)	0
2009	0	0	0	0	0	0	I (73)	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	I (12)	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	I (265)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	X	0	0	0	I (39)	X	0	0	0	0	0
2013	0	0	X	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0
2014	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	X	0	0	0	I (70)	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	0	X	0	0	0	I (25)	0	0	0	0	0	0
2019	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	X	0	I (96)	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	X	0	I (264)	0	0	I (120)	0	0	0	0	0
2023	0	0	X	I (4)	I (325)	0	0	0	0	0	0	I (181)	0

La carte ci-dessous situe les stations d'intérêt, analysées dans les prochains paragraphes :

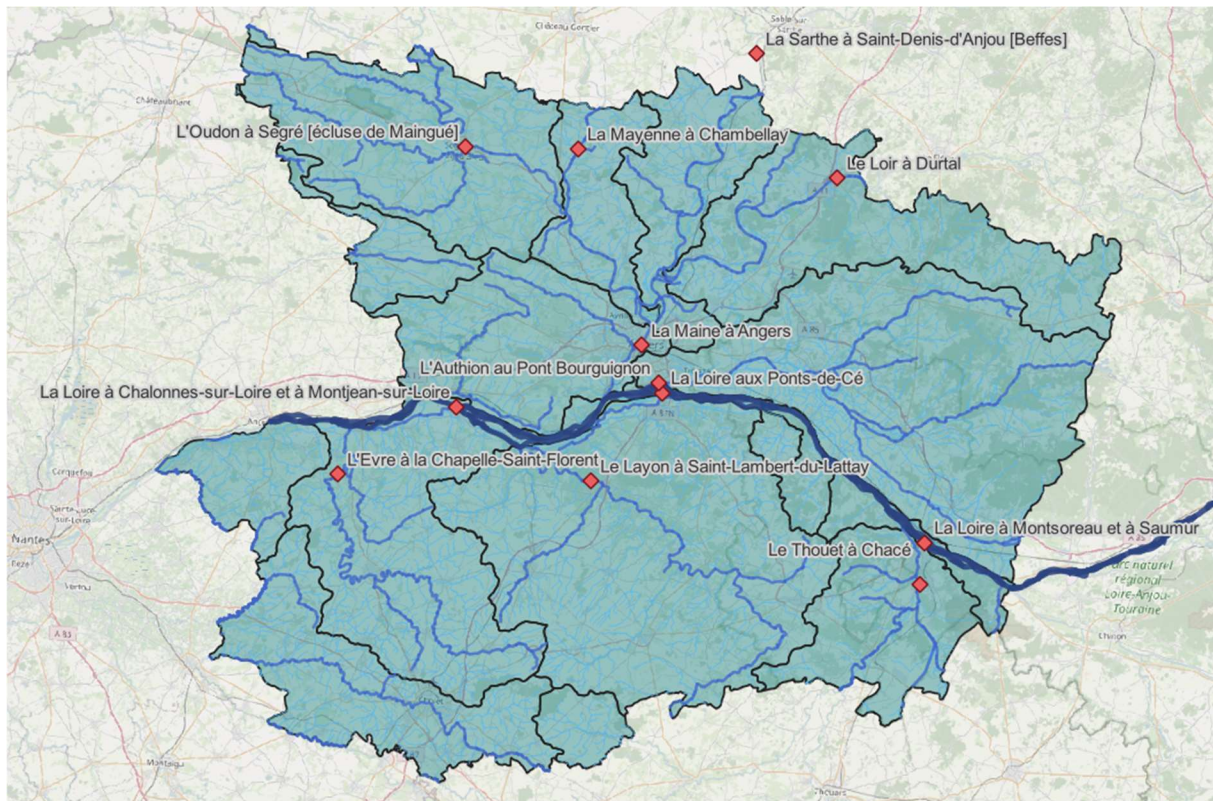


Figure 2 : Stations hydrométriques analysées dans l'étude (source : Hydroportail)

2.1.1.1.2 Analyses hydrologiques

Ce chapitre présente les résultats des analyses des mesures hydrométriques de la Loire, effectuées en amont (Saumur) et en aval (Montjean-sur-Loire) du département de Maine-et-Loire (49). Ces analyses ont été réalisées sur l'ensemble des stations hydrométriques du territoire, en se limitant aux années disposant de séries de données suffisantes.

Le lecteur est invité à consulter les fiches annexées pour visualiser les résultats détaillés concernant les principaux affluents.

Les paragraphes suivants expliquent la méthodologie des analyses effectuées et détaillent le contenu des fiches annexes à travers les résultats obtenus pour la Loire.

La première section de chaque fiche met en avant les indicateurs statistiques hydrologiques calculés sur la période 2000-2022. Les résultats des analyses sont présentés à la fois en débit absolu et en débit spécifique, ce qui permet non seulement de comparer la magnitude des débits aux différents points du territoire d'étude, mais également la productivité des bassins versants, indépendamment de leur taille.

Les indicateurs présentés pour chaque station permettent de décrire les conditions hydrologiques sur la base de débits observés. Le **module** correspond au débit moyen interannuel sur une période donnée, traduisant une idée générale des écoulements dans le cours d'eau. La **médiane** représente le débit central des observations, ce qui permet de résumer la tendance générale des débits, tout en minimisant l'impact des valeurs extrêmes. Le **QMNA** fait référence au débit mensuel minimal observé

au cours d'une année. Ainsi le **QMNA moyen** est la moyenne de ces valeurs sur la période étudiée. Les **QMNA2** et **QMNA5** se rapportent respectivement au calcul du débit mensuel minimal pour une période de retour de 2 et 5 ans. Ces derniers permettent d'apprécier les faibles débits d'un cours d'eau sur une période donnée.

Les bassins drainés par les stations de Saumur et de Montjean-sur-Loire couvrent respectivement des surfaces de 81 200 km² et 109 930 km². Les indicateurs sont également présentés sous une forme spécifique, où les surfaces des bassins versants sont prises en compte pour calculer des valeurs normalisées. Ainsi, bien que les débits absolus montrent une augmentation, les résultats spécifiques révèlent une tendance à la baisse des débits à mesure que l'on progresse de l'amont vers l'aval du département.

Tableau 2 : Indicateurs statistiques pour les stations de la Loire à Saumur et à Montjean-sur-Loire (Source : Hydroportail, Suez Consulting)

Débit absolu (m ³ /s) Débit spécifique L/s/km ²	Module	Médiane	QMNA moyen	QMNA2	QMNA5	VCN10 5 ans	VCN3 5 ans
	La Loire à Saumur	600	410	142	135	104	109
	7.39	5.05	1.74	1.67	1.29	1.34	1.30
La Loire à Montjean-sur-Loire	757	527	163	155	118	123	119
	6.88	4.79	1.48	1.41	1.08	1.12	1.09

Ce tableau récapitulatif des indicateurs statistiques est accompagné d'un graphique comparatif, qui met en parallèle les valeurs de ces indicateurs calculées sur la période 2000-2022 avec celles obtenues pour une période antérieure. La période de comparaison choisie s'étend du 1er janvier 1965 au 31 décembre 1987, d'une durée équivalente à celle de l'étude, et constitue la période la plus ancienne disponible pour cette analyse.

Cette approche comparative permet de mettre en évidence l'évolution récente des conditions hydrologiques sur le territoire d'étude. Parmi les 12 stations analysées, 10 ont pu être utilisées pour cette comparaison. Les résultats présentés dans ce rapport se concentrent sur l'évolution des débits de la Loire, tandis que les fiches annexées à l'outil interactif offrent une analyse détaillée des données concernant les affluents de la Loire.

Le lecteur est encouragé à consulter ces annexes pour approfondir les informations relatives à ces affluents.

Les résultats révèlent une **diminution générale des débits de la Loire** entre la période passée et la période actuelle. Cette baisse est observée de manière comparable aux deux points de mesure, tant en amont qu'en aval. Il convient de souligner une diminution plus marquée des débits moyens et médians que des indicateurs d'étiage. Cela met en évidence deux phénomènes concomitants :

- Un affaiblissement notable des écoulements au cours des dernières décennies ;
- Une mitigation de cet affaiblissement, lors des périodes d'étiage, par l'action de soutien des retenues de Naussac et de Villerest (voir chapitre suivant) ;

Tableau 3 : Evolution des indicateurs statistiques, entre les périodes 1965-1987 et 2000-2022, des stations de la Loire en Maine-et-Loire (Source : Hydroportail, Suez Consulting)

%	Module	Médiane	QMNA moyen	QMNA2	QMNA5	VCN10 5 ans	VCN3 5 ans
La Loire à Saumur	-23%	-29%	-14%	-14%	-13%	-14%	-14%
La Loire à Montjean-sur-Loire	-22%	-25%	-14%	-15%	-14%	-16%	-15%

Les fiches permettent de visualiser graphiquement les débits annuels, de 1965 à 2022, lorsque les données sont disponibles. L'exemple ci-dessous présente les résultats obtenus pour la station de la Loire à Montjean-sur-Loire. La tendance à la baisse, mentionnée précédemment à partir de la comparaison des indicateurs statistiques, est ici clairement mise en évidence par le graphique.

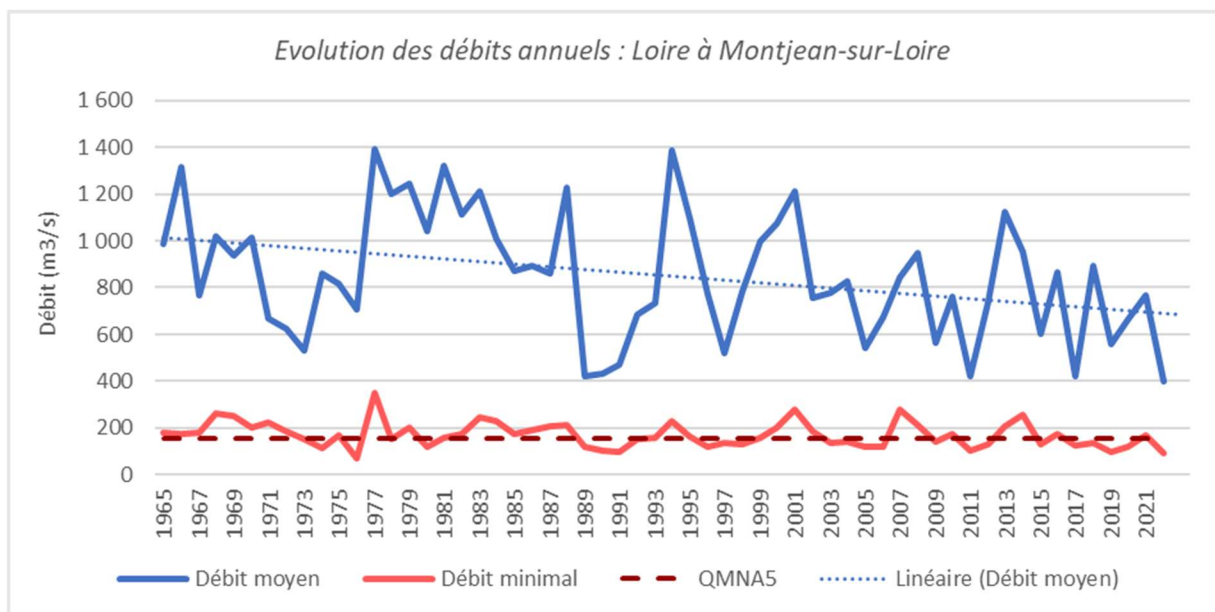


Figure 3 : Evolution des débits entre 1965 et 2022 sur la Loire à Montjean-sur-Loire

Les graphiques suivants présentent quant à eux les débits moyens mensuels et les débits mensuels d'été calculés sur la période 2000-2022. Les courbes reprennent les valeurs spécifiques pour les stations de la Loire à Saumur et Montjean-sur-Loire. De l'amont vers l'aval, on observe une différence marquée sur les mois printaniers notamment.

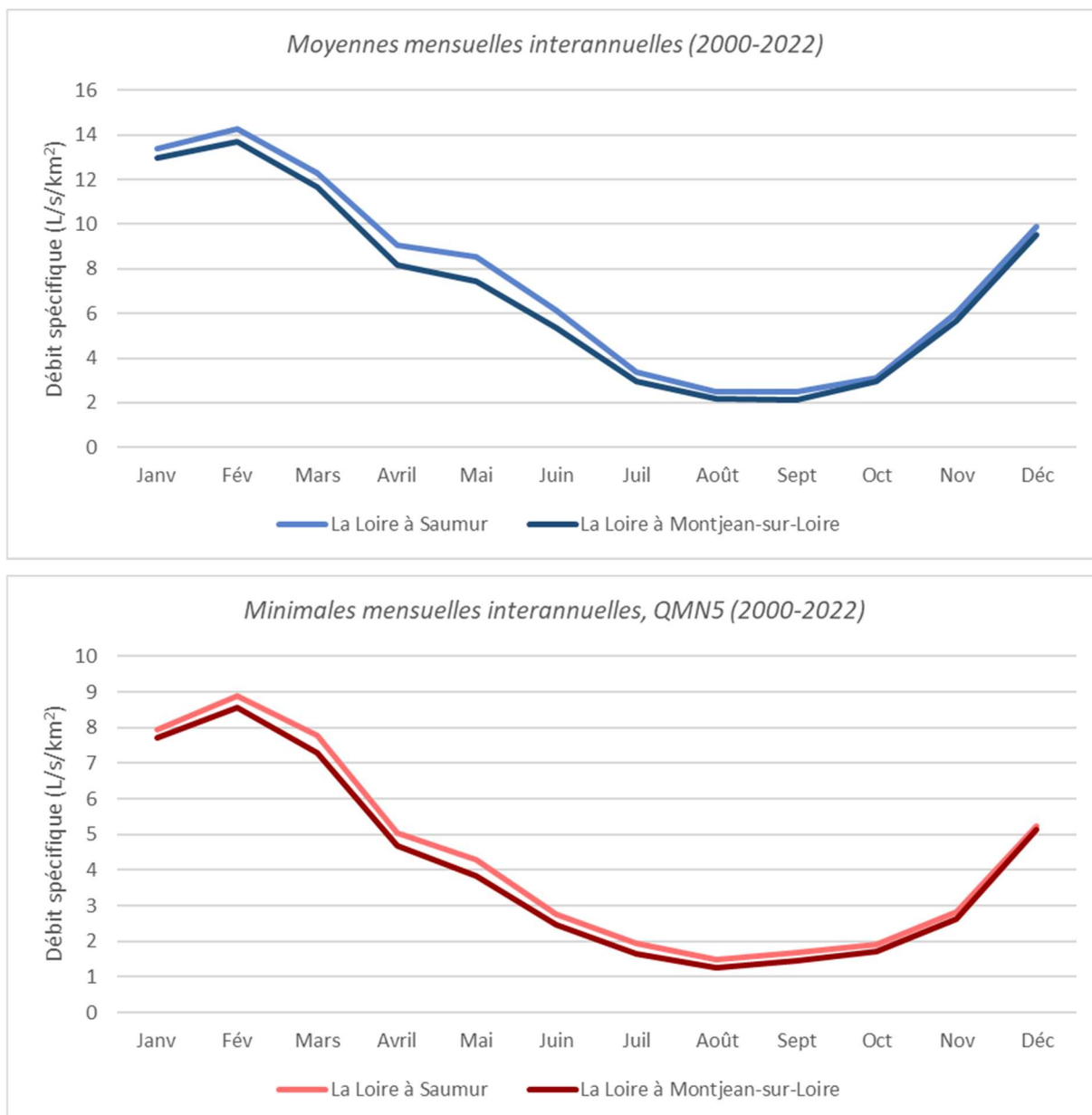


Figure 4 : Débits moyens mensuels interannuels (en haut) Débits mensuels secs d'occurrence 5 ans (QM5, en bas) de la Loire à Saumur et Montjean-sur-Loire (Source : Hydroportail, Suez Consulting)

L'ensemble de ces analyses est disponible sous forme de fiches de synthèse pour chaque station hydrométrique sélectionnée dans le cadre de l'étude. La cartographie interactive mise en place présente les principaux résultats de ces analyses pour la Loire et ses affluents. Par exemple, la figure suivante montre deux couches de données accessibles sur l'outil interactif. La carte de gauche présente les débits moyens spécifiques, tandis que celle de droite illustre les débits d'étiage spécifiques (QMNA5). Ces débits sont normalisés par la superficie des bassins versants correspondants, permettant ainsi une comparaison directe entre les différents cours d'eau étudiés.

Ces cartes offrent une vision globale de la contribution des affluents en situation moyenne et en période de faibles débits. Bien que certains secteurs présentent des débits spécifiques moyens relativement élevés, il est important de noter que certains d'entre eux affichent une faible productivité en période d'étiage. Ces zones, malgré des débits spécifiques importants en conditions normales, montrent des débits extrêmement faibles lors des périodes de sécheresse, mettant en lumière leur vulnérabilité face aux événements hydrologiques extrêmes.

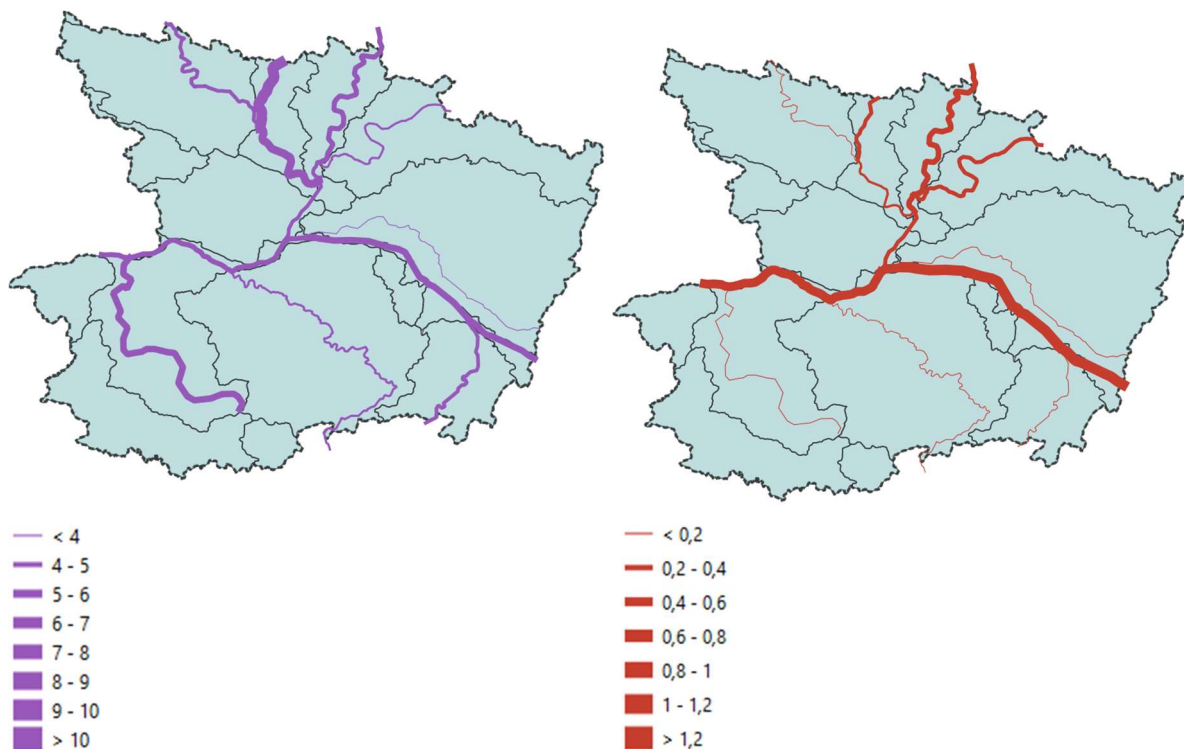


Figure 5 : Débits moyens (gauche) et secs (droite) spécifiques sur la Loire et ses affluents (Source : Hydroportail, Suez Consulting)

2.1.1.2 Soutien d'étiage, barrages de Naussac et Villerest

Présentation du dispositif à l'aide d'une vidéo de l'EP Loire : <https://veille-eau.com/videos/e-loire-tv-soutien-d-etiage>

Par lâchers d'eau en période sensible, le soutien d'étiage permet le maintien d'un débit minimum dans la Loire et dans l'Allier afin de satisfaire les différents usages de l'eau (industriels, agricoles, production d'eau potable) et les besoins des milieux naturels. L'Établissement Public Loire (EP Loire), rencontré dans le cadre de l'étude, opère ce dispositif de soutien en période de faibles débits.

Le dispositif comprend deux barrages. Le premier, le barrage de Villerest, est situé directement sur la Loire et bénéficie de débits relativement importants, alimentés par plusieurs milliers de kilomètres carrés de bassin versant, ce qui facilite son remplissage. La capacité maximale de la retenue est de 132 Mm³. Le second barrage, Naussac, se trouve en amont de l'Allier, sur un petit affluent, et draine une superficie de quelques dizaines de kilomètres carrés. Cet ouvrage est également alimenté par dérivation du Chapeauroux et par pompage dans le cours de l'Allier, avec une capacité de 185 Mm³.

Les barrages ont pour rôle principal de soutenir l'étiage et d'écarter les crues. Le soutien d'étiage consiste à maintenir des niveaux d'eau adéquats à différents points de l'Allier et de la Loire. La station de mesure la plus en aval prise en compte par le dispositif étant située à Gien. Les objectifs peuvent être modulés en fonction des circonstances : les règles varient d'une année à l'autre et parfois au sein d'une même année. La gestion des barrages repose sur des principes préétablis et sur un processus de concertation. Les règlements fixés par l'État définissent des objectifs précis, comme un débit de 60 m³/s à maintenir à Gien. Un comité des barrages se réunit ensuite pour ajuster ces objectifs en fonction du volume des retenues et de la période de l'année. Si les retenues sont pleines et que le soutien d'étiage commence tard, les objectifs sont élevés ; sinon, ils sont plus faibles. Bien que ces règles soient établies, le comité de gestion a la flexibilité de les adapter chaque année. En effet, la fixation de règles permanentes ne serait pas adaptée pour gérer des situations critiques, comme celles observées en 2022 et 2023, où les objectifs ont été réduits au-delà des niveaux prévus.

Bien qu'il n'existe pas d'objectif spécifique pris en compte pour l'opération des barrages au-delà de Gien, il est possible d'estimer l'impact des barrages sur les débits de la Loire jusqu'à Montjean-sur-Loire, notamment lors d'années critiques comme 2022. On estime qu'il faut environ quatre jours pour que les débits se propagent de Gien à Montjean-sur-Loire. Pour quantifier les débits résultant du soutien d'étiage, il est proposé de comparer les débits mesurés à Montjean-sur-Loire avec ceux sortant des ouvrages respectivement 8 et 10 jours auparavant. Cette méthode permet d'évaluer l'efficacité du soutien d'étiage en distinguant les débits naturels des débits régulés par les barrages.

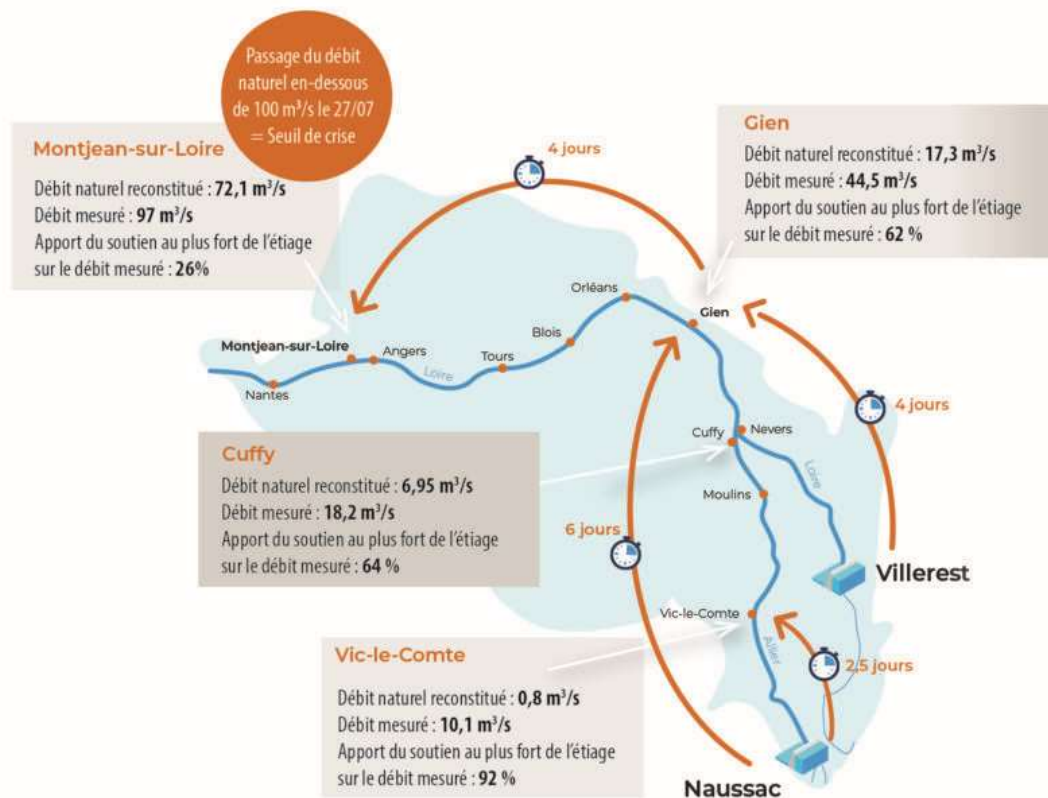
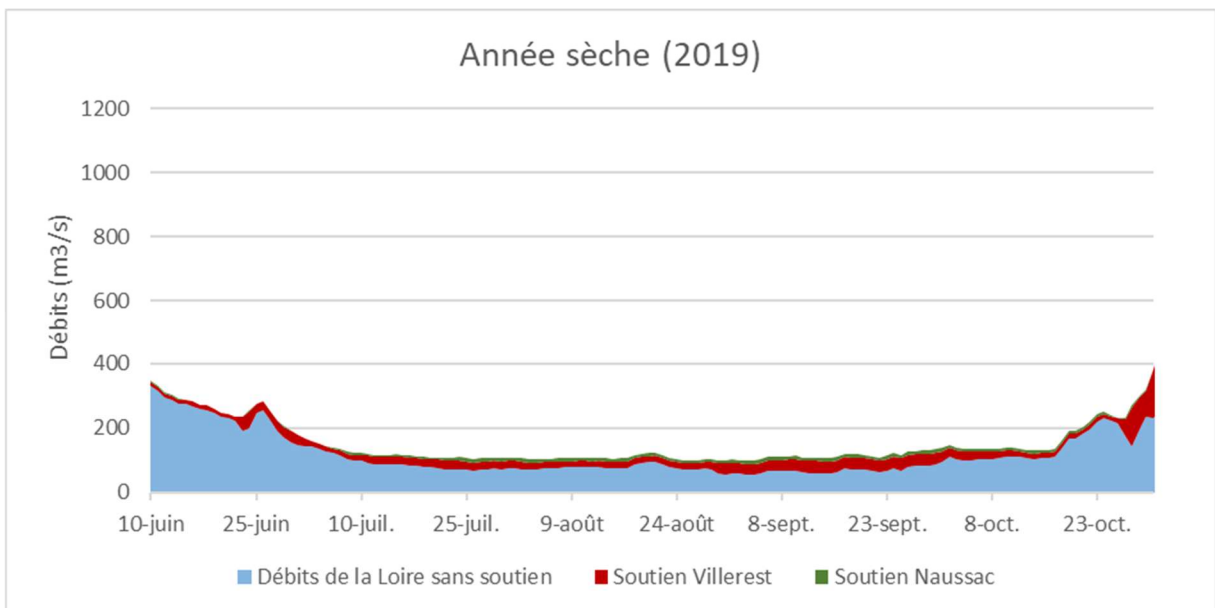
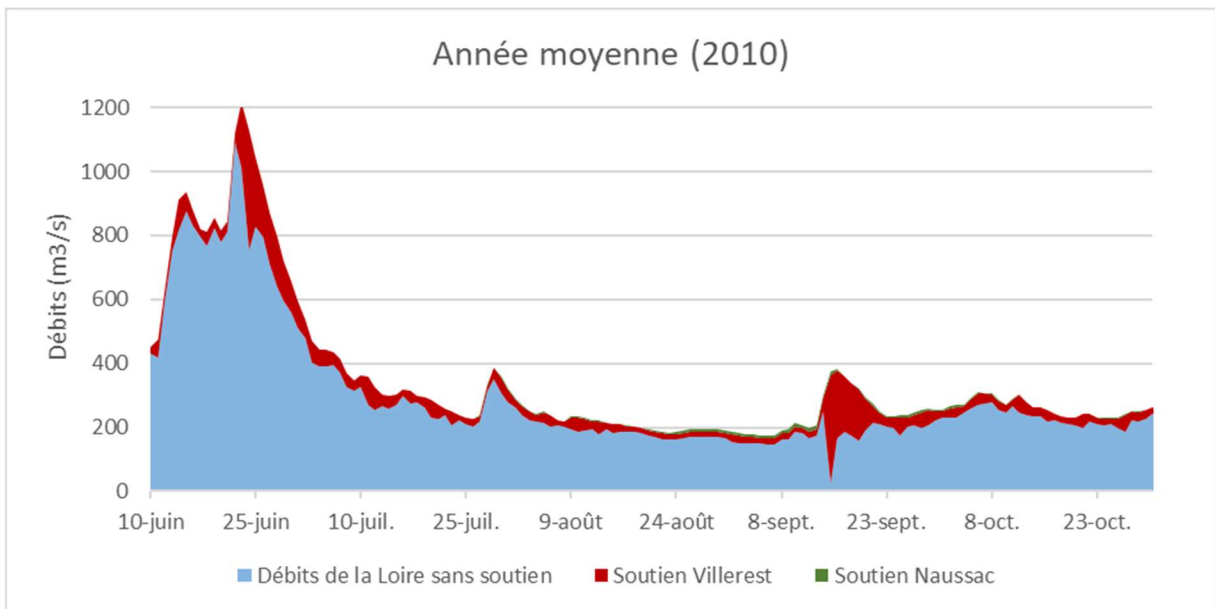
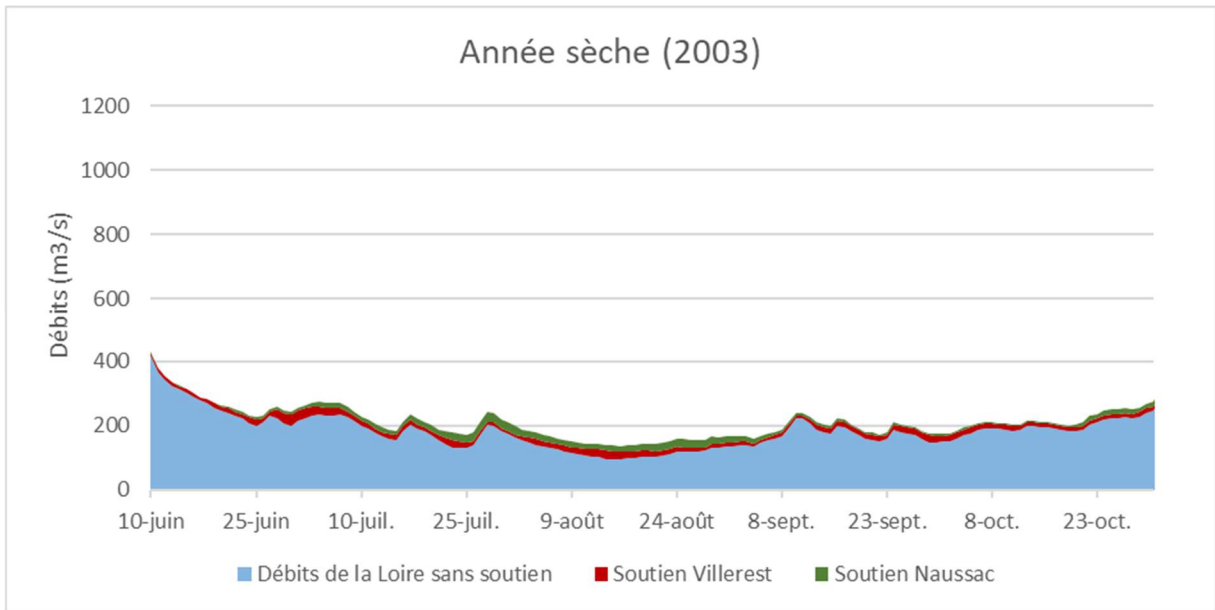


Figure 6 : Schématisation du temps de propagation des fluctuations de débit le long de la Loire et de l'Allier (Source : EPTB Loire)

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats des calculs effectués à partir des données de débits de la station de Montjean-sur-Loire (Source Hydroportail) et des données de lâchers des barrages (Source : EP Loire). Quatre années ont été sélectionnées : trois années sèches (2003, 2019 et 2022) et une année à hydrologie moyenne (2010). Les mois estivaux caractérisés par les plus faibles débits sont représentés pour chacune de ces années. En comparaison aux années 2003 et 2019, on note un plus faible soutien des ouvrages sur l'été 2022. Les conditions exceptionnelles de déficit de précipitations hivernales et printanières n'ont pas permis le remplissage des ouvrages. De plus, les lâchers de soutien d'étiage auraient débuté relativement tôt dans l'année.



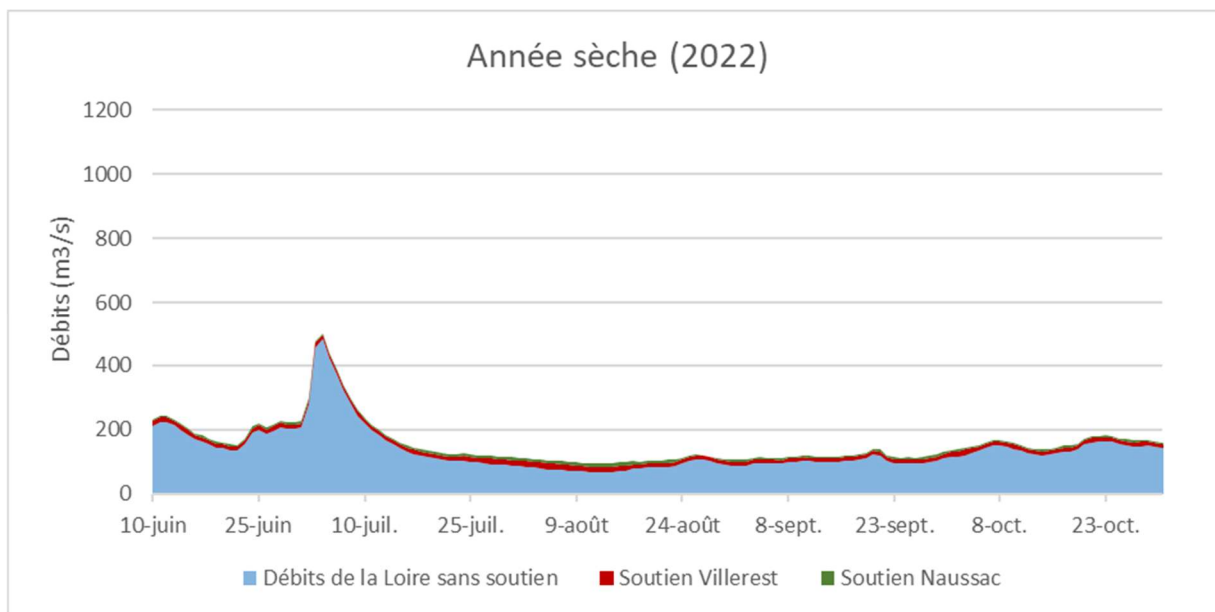


Figure 7 : Proportion de débits provenant des ouvrages de soutien d'étiage de Naussac et Villerest (source : HydroPortail, EP Loire)

2.1.1.3 Hydrogéologie : ressources souterraines

2.1.1.3.1 Description globale

Le département du Maine-et-Loire repose sur une diversité de formations hydrogéologiques, se répartissant en trois grands types d'aquifères : les aquifères alluviaux, les aquifères des formations sédimentaires et les aquifères du socle. Chacun de ces systèmes joue un rôle spécifique dans l'approvisionnement en eau et présente des particularités hydrogéologiques importantes.

Les aquifères alluviaux – Les alluvions de la Loire constituent un aquifère majeur, composé de sables et graviers à forte perméabilité. Cet aquifère est extrêmement productif mais reste fortement dépendant du régime hydrologique de la Loire. Bien que la qualité de l'eau y soit améliorée par la filtration naturelle à travers les sédiments, la faible profondeur de la nappe et sa connexion directe avec le réseau hydrographique la rendent vulnérable aux pollutions accidentelles du fleuve. Cet aquifère représente néanmoins une ressource essentielle pour les usages locaux, notamment pour l'eau potable et l'irrigation.

Les aquifères des formations sédimentaires – Ces aquifères se situent principalement à l'est du département, dans la bordure du Bassin parisien, et sont répartis dans plusieurs formations géologiques distinctes :

- **Le Cénomaniens** : constitué principalement de formations sableuses, cet aquifère est l'un des plus importants après les alluvions de la Loire. Il est bien protégé et fournit des débits significatifs, en faisant une ressource essentielle pour le département. Cependant, dans les zones où le Cénomaniens affleure, comme dans les communes déléguées de Beaufort-en-Vallée et Mazé, la nappe devient vulnérable aux pollutions de surface, notamment celles liées aux phytosanitaires. Par ailleurs, cet aquifère est soumis à une régulation stricte : il est classé en Zone de Répartition des Eaux (ZRE) par arrêté ministériel, ce qui limite les prélèvements et impose une autorisation dès que ceux-ci dépassent 10 000 m³/an ;
- **Le Séno-Turonien** : cet aquifère associe les sables sénoniens (sables fins quartzeux) et la craie turonienne (appelée « tuffeau »), qui forment un système hydrauliquement connecté. Les nappes de cet aquifère sont principalement localisées dans les formations du Turonien, où

elles offrent une ressource d'intérêt régional malgré une productivité généralement moindre par rapport au Cénomaniens ;

- **Le Dogger (Jurassique)** : cet aquifère est constitué de calcaires dont la perméabilité repose sur la fissuration. Bien que ces formations puissent constituer un bon réservoir, leur productivité reste très variable selon les secteurs.

Les aquifères du socle – À l'ouest du département, les terrains du Massif Armoricain dominant et offrent des ressources hydrogéologiques particulières.

- **Les aquifères de socle** : ces aquifères discontinus, à la géométrie complexe, sont principalement liés à la fracturation du socle rocheux. Leur capacité de stockage et leur productivité sont généralement faibles, ce qui en limite l'exploitation ;
- **Les formations du Pliocène et du Miocène** : ces formations superficielles, composées de placages sableux et de bassins sédimentaires tertiaires isolés, constituent des aquifères localisés. Bien que leur extension soit limitée et leur vulnérabilité aux pollutions de surface élevée, ces ressources jouent un rôle important à l'échelle locale. Elles permettent de diversifier les sources d'eau et de sécuriser l'approvisionnement en eau potable, en complément des aquifères majeurs.

La carte suivante présente les formations hydrogéologiques du département et les piézomètres de référence en les distinguant par aquifère suivi.

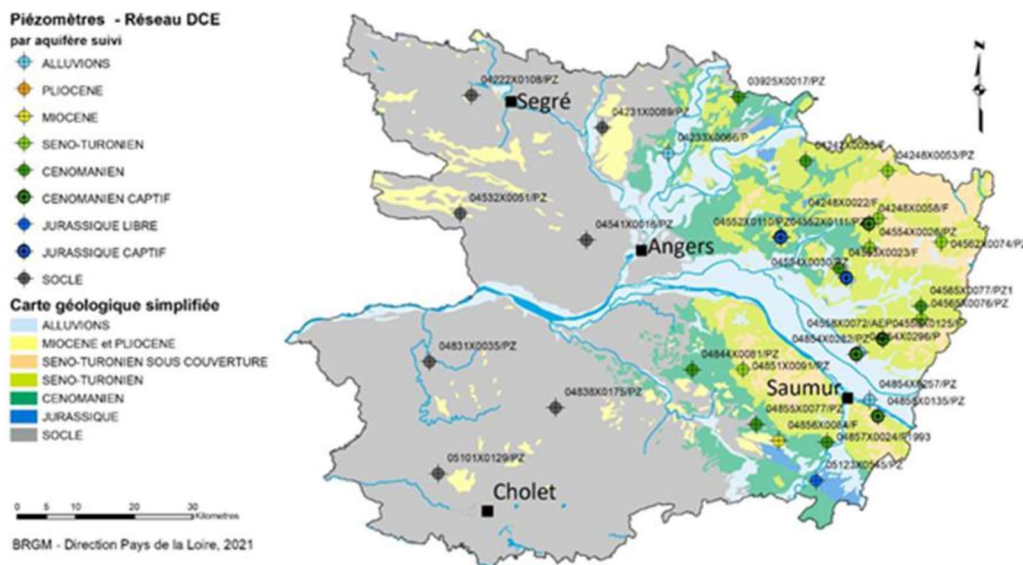


Figure 8 : Emprise des nappes du département 49 et piézomètres mesurant leur niveau (source : BRGM)

Dans le cadre du SDGRE, le BRGM a effectué un traitement des données piézométriques afin d'analyser les dynamiques des nappes souterraines sur le département du Maine-et-Loire.

Parmi les séries de mesures analysées, seule la chronique **04558X0072/AEP (Neuillé)** révèle une tendance significative à la baisse. Cette tendance, observée à la fois sur les moyennes annuelles et sur les minima annuels. Ce piézomètre capte la nappe du SENO-Turonien et se situe dans une zone où cette nappe est considérée comme libre, une observation corroborée par le log géologique de l'ouvrage.

Pour toutes les autres chroniques piézométriques, aucune tendance significative, ni à la hausse ni à la baisse, n'a été détectée. Ces résultats suggèrent une stabilité globale de la disponibilité des eaux souterraines au cours des 20 dernières années.

Il convient cependant de considérer ces résultats avec précaution, en raison des limites suivantes :

- **Données lacunaires** : l'historique de suivi piézométrique est souvent incomplet, limitant la robustesse des analyses ;
- **Pressions anthropiques préexistantes** : la période étudiée (2003-2020) inclut déjà des niveaux de prélèvements importants, ce qui pourrait masquer certaines évolutions par rapport à un fonctionnement moins influencé.

Bien que l'analyse de tendance à l'échelle pluriannuelle n'ait pas révélé de variation significative pour la majorité des chroniques, il est important de souligner que plusieurs séries piézométriques montrent des fluctuations influencées par les prélèvements saisonniers environnants. Ces effets sont particulièrement marqués pour les nappes du Cénomaniens, du Séno-Turonien et la nappe captive du Jurassique. Les nappes du Cénomaniens et du Séno-Turonien jouent un rôle clé dans la production d'eau potable du département et sont soumises à des pressions croissantes. Ces ressources stratégiques sont déjà au cœur de conflits d'usage, notamment dans la zone de Noyant-Villages (<https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-71308-FR.pdf>).

2.1.1.3.2 Relations nappe-rivière

Sur la Loire, aucune étude directe n'a été menée. Cependant, il est reconnu que de nombreux usages dépendent des nappes alluviales. Or, le niveau des nappes alluviales est étroitement corrélé à celui du fleuve : lorsque le niveau de la Loire est élevé, le niveau dans les alluvions l'est également, et lorsque le niveau de la Loire est bas, le niveau dans les alluvions l'est également. Cela signifie que toute altération des débits du fleuve se traduit par une diminution du niveau de sa nappe, et donc de la disponibilité d'eau associée à ce réservoir.

En ce qui concerne les affluents, une attention plus particulière leur a été portée. De manière générale, et à l'échelle annuelle, les échanges s'effectuent dans le sens nappe vers cours d'eau. Toutefois, sur de courtes périodes, ces échanges peuvent s'inverser, notamment en cas de crue du cours d'eau, lorsque les eaux débordent. Malgré ces inversions ponctuelles, les contributions des nappes vers les cours d'eau restent majoritaires, même en hiver, où ces contributions sont les plus faibles. À l'échelle annuelle et mensuelle, le flux dominant reste donc celui des nappes vers les cours d'eau.

Le département est composé d'une partie sur socle à l'ouest et d'une partie sédimentaire à l'est. Sur cette dernière, de multiples modélisations ont montré le rôle significatif des aquifères dans l'hydrométrie des bassins versants avec des contributions annuelles souvent supérieures à 50% (<https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-72143-FR.pdf>, <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-73039-FR.pdf>).

Une interprétation à éviter serait de considérer que le département du Maine-et-Loire ne présente aucun enjeu sur la zone de socle en raison de ressources moindres et plus difficilement exploitables. Une telle affirmation est inexacte : le socle joue un rôle essentiel de soutien des étiages pour les cours d'eau. Une modélisation réalisée sur le cours d'eau de l'Hyrôme (<https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-73461-FR.pdf>), affluent du Layon sur la partie de socle, a en effet montré une contribution des nappes à hauteur de 42% à l'année. Cette contribution s'accroît sur les mois estivaux, atteignant 87% en septembre.

Il est également observé que les prélèvements effectués dans les nappes peuvent représenter un manque à gagner pour les cours d'eau. Cependant, en dehors des bassins identifiés comme en déficit

quantitatif, cet impact reste souvent limité. L'ampleur de cet effet dépend de la densité des prélèvements, de leurs intensité et de la distance entre les forages et les cours d'eau (<https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-71308-FR.pdf>, <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-72385-FR.pdf>). Quantifier précisément cet impact demeure complexe.

2.1.2 Les usages de l'eau

Le Schéma Départemental de Gestion et de Ressource en Eau (SDGRE) a permis d'établir un état des lieux détaillé des besoins en eau actuels dans le département du Maine-et-Loire. Cette démarche s'est appuyée sur une collecte et une analyse approfondies des données relatives aux différents usages de l'eau, qu'il s'agisse de prélèvements ou de rejets dans les milieux naturels.

Dans le cadre de cette étude, les contours de la compétence liée à l'alimentation en eau potable ont été précisément délimités. Les collectivités responsables de la protection des ressources ainsi que celles en charge de la production, du stockage et de la distribution de l'eau potable à l'échelle départementale ont été identifiées. Ces informations permettent de mieux comprendre les flux d'eau dédiés aux besoins domestiques et d'évaluer les enjeux liés à la préservation de cette ressource essentielle.

Une attention particulière a été portée aux dynamiques agricoles, en particulier aux prélèvements d'eau destinés à l'irrigation des cultures et à l'abreuvement du bétail. Ces usages, qui représentent une part significative des prélèvements en période estivale, reflètent les besoins spécifiques du secteur agricole. Ce dernier est particulièrement dépendant des ressources disponibles et sensible aux variations climatiques, rendant la gestion de l'eau cruciale pour maintenir la production agricole.

Les usages industriels ont également fait l'objet d'une analyse détaillée, avec une étude des prélèvements et rejets associés. En complément, d'autres usages non-consommateurs, tels que la baignade, la navigation, la pêche, les loisirs aquatiques, ainsi que les phénomènes de sur-évaporation des plans d'eau, ont été explorés. Ces éléments mettent en lumière les interactions complexes entre les activités humaines et les milieux naturels, notamment en période d'étiage.

La présente étude s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés dans le cadre du SDGRE et vise à prolonger les analyses précédentes en intégrant de nouvelles données. Les résultats sont accessibles sous une forme synthétique via l'outil cartographique développé dans le cadre de l'étude. Les zones d'analyse retenues sont identiques à celles définies dans le SDGRE et décrites dans le paragraphe **1.2**.

L'étude se concentre sur les prélèvements liés à l'irrigation agricole, à l'abreuvement du bétail, à la production d'eau potable et aux usages industriels. En cohérence avec le travail mené dans le cadre du SDGRE, les hypothèses calculatoires utilisées sont reprises et présentées dans les sections suivantes. L'objectif est de fournir une vision à jour, en complément du travail réalisé dans le cadre du SDGRE, des prélèvements d'eau sur le territoire tout en identifiant les enjeux prioritaires pour une gestion durable des ressources hydriques dans le Maine-et-Loire.

Afin de valider les hypothèses à retenir et de recueillir des informations précises sur les usages actuels de l'eau ainsi que leurs évolutions potentielles, une série d'entretiens a été menée. Au total, 18 rencontres ont été organisées avec les représentants des différents usages du territoire, permettant d'affiner la compréhension des dynamiques locales et d'identifier les enjeux spécifiques liés à la ressource en eau

2.1.2.1 Caractérisation générale des prélèvements d'eau

2.1.2.1.1 Source de données

Tableau 4 : Caractérisation des données valorisées pour décrire les prélèvements d'eau (Source : Suez Consulting)

Source	Période	Contenu
Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB)	2000 à 2021	Fichier de volumes annuels prélevés par point de captage et par usage de 2000 à 2021 : origine détaillée de la ressource (masse d'eau prélevée & type de ressource), usage bénéficiant du prélèvement, localisation des points de prélèvements.
BNPE	2008 à 2022	Fichier de volumes prélevés, par année, par point de captage et par usage de 2008 à 2022 : type de ressource prélevée (distinction sommaire entre superficiel et souterrain), localisation des points de prélèvements
SDGRE : CD49	2008 à 2018	Base de données construites dans le cadre du SDGRE : description des volumes de prélèvements et répartition mensuelle pour les usages analysés

Les données utilisées proviennent d'un croisement de la base de données construites dans le cadre du SDGRE (se basant principalement sur les données de la [BNPE](#)), de la BNPE et de la base de données de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ([AELB](#)). Le croisement de ces données permet de définir, pour chaque point de prélèvement localisé sur le territoire, l'usage, la ressource prélevée, le volume annuel prélevé chaque année entre 2000 et 2022.

La base de données AELB :

Cette base de données indique, notamment, de manière détaillée l'origine de la ressource prélevée et permet de distinguer si le prélèvement est :

- réalisé pour un usage immédiat : sur cours d'eau, en nappe alluviale, en nappe profonde ou sur source ;
- réalisé pour le remplissage d'une retenue : à partir du ruissellement (retenue collinaire), à l'aide de prélèvement en cours d'eau, en nappe alluviale, en nappe profonde ou sur source.

Cas particulier du SAGE Authion :

Dans le cas du territoire du SAGE Authion compris dans le département, les analyses sur les usages de l'eau croisent également les bases de données citées précédemment avec l'inventaire des usages de l'eau réalisé dans le cadre de l'étude Hydrologie-Milieus-Usages-Climat (HMUC) sur le bassin.

Cela permet notamment de décrire les points de prélèvement étant dépendants du dispositif de réalimentation de l'axe Authion par la Loire. En effet, le déficit en ressources superficielles, constaté au regard des besoins exprimés, a été compensé par la mise en place de systèmes de réalimentation artificielle de l'Authion à partir de trois prises d'eau en Loire. Un réseau de canaux est ainsi alimenté en eau grâce à trois stations de pompage située à Saint-Patrice, Varennes-sur-Loire et Saint-Martin-de-la-Place. Cette réalimentation vise principalement à répondre aux besoins des usagers agricoles du bassin de l'Authion pendant les périodes de faibles débits. La part ainsi en provenance de la Loire est

comptabilisé dans le bilan de l'Authion. Il existe, au niveau des Ponts-de-Cé, une station de pompage évacuant ponctuellement l'eau de l'Authion vers la Loire en période hivernale.

2.1.2.1.2 Hypothèses de travail

Alimentation en eau potable :

D'après le SDGRE, la répartition mensuelle des prélèvements en eau pour la production d'eau potable s'effectue comme suit :

Tableau 5 : part, pour chaque mois de l'année, du prélèvement annuel en eau potable (Source : SDGRE 49)

Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
7.96%	7.14%	7.10%	7.60%	8.77%	9.14%	9.34%	8.99%	9.08%	8.58%	8.05%	8.27%

Ces valeurs sont ainsi appliquées aux volumes de prélèvements de chaque année, entre 2000 et 2022, pour obtenir une chronique de prélèvements mensuels sur la même période.

Activités industrielles :

Les volumes de prélèvements pour l'industrie sont répartis uniformément sur l'année.

Abreuvement du bétail :

Dans le cadre du SDGRE, des volumes ont été calculés pour chaque zone hydrographique. Ces volumes sont ici directement repris dans le bilan des prélèvements.

Les volumes calculés dépendent du type de bétail rencontré et des effectifs de bétail (les données d'effectifs proviennent du recensement agricole 2010 et de l'établissement de l'élevage des Pays de la Loire. Le tableau ci-dessous présente les consommations journalières selon le type d'animaux :

Tableau 6 : consommation journalière par type de bétail

Estimation des besoins en eau pour l'élevage (m3/j)		Estimation des besoins en eau pour l'élevage	
Elevage	Consommation m3/j	Elevage	Consommation m3/j
<i>Bovins</i>	voir détail	Vache laitières	0,1
<i>Caprins</i>	0,007	Vache allaitante	0,05
<i>Ovins</i>	0,007	broutard-veaux de boucherie	0,025
<i>Truies</i>	0,022	génisse lait et viande <1 an	0,025
<i>Porcs engraissement</i>	0,007	génisse lait et viande entre 1 et 2 ans	0,035
<i>Volailles</i>	0,0002	génisse lait et viande > 2 ans	0,05
<i>Equidés</i>	0,04	male <1an	0,025
<i>Lapin</i>	0,0005	male entre 1 et 2ans	0,035
		male >2ans	0,05

Une répartition de la provenance de l'eau (réseau AEP ou milieux naturels) est donnée selon le type d'animaux et de la zone d'étude. Ces allocations prennent en compte les spécificités des ressources disponibles, qu'elles soient superficielles ou souterraines.

Tableau 7 : origine de l'eau selon les animaux (Source : SDGRE 49)

Bassins versants	Répartition AEP/milieu naturel
Authion / Loir / Sarthe aval / Sèvre Nantaise	Volailles, lapin et Veaux de boucherie : 100 % AEP Porcs : 75% AEP / 25 % milieu Bovins lait ou allaitant, ovins, caprins : 50% AEP / 50% milieu
Estuaire de la Loire / Evre Thau St Denis / Layon Aubance Louets / Thouet / Hors SAGE : Axe Loire / Hors Sage : St Aubin-L'Avort / Hors Sage : Romme-Brionneau-Maine	30 % AEP et 70% Milieu
Mayenne	38% AEP et 62% Milieu
Oudon	66,6 % AEP et 33,3% Milieu

L'origine de la ressource en eau mobilisée varie selon la nature géologique des territoires. Sur les sols granitiques, l'eau est généralement prélevée à partir de réserves issues du ruissellement ou par des forages profonds captant des poches d'eau confinées. En revanche, dans les zones sédimentaires, l'eau est plus facilement accessible, notamment grâce aux nappes alluviales et aux cours d'eau.

Il a été proposé, à partir des retours des groupes de travail sur l'agriculture et la forêt ainsi que des retours d'expériences, que dans les zones sédimentaires, la majeure partie de l'eau destinée à l'abreuvement provienne des eaux souterraines, tandis que dans les zones de socle, la répartition serait équilibrée (50 % eaux souterraines et 50 % eaux superficielles), bien que les prélèvements en nappe soient plus difficiles à caractériser. L'axe de la Loire constitue une exception, où les prélèvements sont considérés comme provenant à 100 % des eaux superficielles, soit directement de la Loire ou de ses bras, soit indirectement des nappes alluviales situées sur les rives gauche et droite.

Tableau 8 : origine de la ressource pour l'abreuvement (Source : SDGRE 49)

Type de Bassins versants	Répartition eau souterraine / eau superficielle
Bassins versants Sédimentaires Authion / Loir / Sarthe / Hors Sage (St Aubin/L'Avort)	90% ESO / 10% ESU
Bassin versant axe Loire (Hors Sage (Axe Loire))	100% ESU
Bassins versants Socle Estuaire de la Loire / Evre Thau St Denis / Layon Aubance Louets / Mayenne / Oudon / Sèvre Nantaise / Thouet / Vilaine / Hors Sage : Romme-Brionneau-Maine	50% ESO / 50% ESU

Irrigation des cultures :

Les volumes prélevés ont été initialement documentés grâce aux travaux menés par le Département dans le cadre du SDGRE, couvrant la période 2008-2018. La présente étude vient enrichir ces données en intégrant les informations disponibles pour la période 2000-2007, issues des données de l'AELB, ainsi que celles de l'année 2022, obtenues via la BNPE.

Les hypothèses de répartition temporelle suivantes ont été retenues dans la poursuite du travail mené dans l'étude :

- **zones sédimentaires** : les prélèvements se font majoritairement sur les cours d'eau, la présence de retenues étant négligeable. Les cours d'eau bénéficient d'apports extérieurs provenant de grands bassins versants hors département et/ou de nappes d'accompagnement qui soutiennent les débits en période d'étiage ;
- **zones de socle** : la ressource en eau superficielle est principalement mobilisée via des retenues, dont environ 15 % sont connectées au milieu superficiel, selon les données extrapolées du bassin versant de l'Hyrôme.
 - **retenues connectées** : elles prélèvent principalement en hiver, mais mobilisent, en été, une partie de la ressource selon leur degré de connexion, répartie au tiers sur cette période.
 - **retenues déconnectées** : elles prélèvent de l'eau en hiver, principalement de novembre à janvier. Une fois remplies, elles n'interfèrent plus avec le réseau hydrographique.

La répartition suivante a été proposée :

Tableau 9 : Répartition temporelle des prélèvements pour l'irrigation des cultures (Source : SDGRE 49)

Mois	Sédimentaire		Socle			
	ESU (Dominante rivières)	ESO	ESU (Dominante Retenue)			ESO
			ESU (Retenue connectées (15%))	ESU Retenues déconnectées (85%)	Bilan	
Janvier	1%	1%	20%	30%	28,5%	1%
Février	1%	1%	10%	15%	14,3%	1%
Mars	1%	1%	3%	5%	4,7%	1%
Avril	3%	3%	0%	0%	0,0%	3%
Mai	5%	5%	0%	0%	0,0%	5%
Juin	10%	10%	3%	0%	0,5%	10%
Juillet	35%	35%	7%	0%	1,1%	35%
Août	30%	30%	7%	0%	1,1%	30%
Septembre	8%	8%	5%	0%	0,8%	8%
Octobre	4%	4%	10%	0%	1,5%	4%
Novembre	1%	1%	15%	20%	19,3%	1%
Décembre	1%	1%	20%	30%	28,5%	1%

2.1.2.1.3 Type de ressource prélevée

La carte ci-après illustre l'ensemble des points de prélèvements recensés dans le département du Maine-et-Loire, tels qu'identifiés à partir des bases de données mobilisées pour cette étude. Comme mentionné précédemment, la base de données de l'AELB permet d'apporter des précisions essentielles, notamment sur l'origine des prélèvements (eaux superficielles ou souterraines), la masse d'eau concernée, ainsi que l'affectation des prélèvements, par exemple pour le remplissage de retenues.

Cette carte met ainsi en évidence ces différentes caractéristiques. Elle distingue, par exemple, les prélèvements effectués directement dans le cours de la Loire de ceux réalisés dans ses nappes alluviales. À l'échelle du territoire, on observe un nombre significatif de prélèvements destinés au remplissage de retenues.

Par ailleurs, sur le bassin de l'Authion, une forte concentration de points de prélèvements dépendant de la nappe alluviale de la Loire est visible, reflétant bien l'étendue de cette dernière (**Figure 89**).

En revanche, dans les zones situées sur le socle, un nombre plus important de prélèvements dans les eaux superficielles est constaté, en cohérence avec la faible productivité des masses d'eau souterraines dans cette partie du territoire.

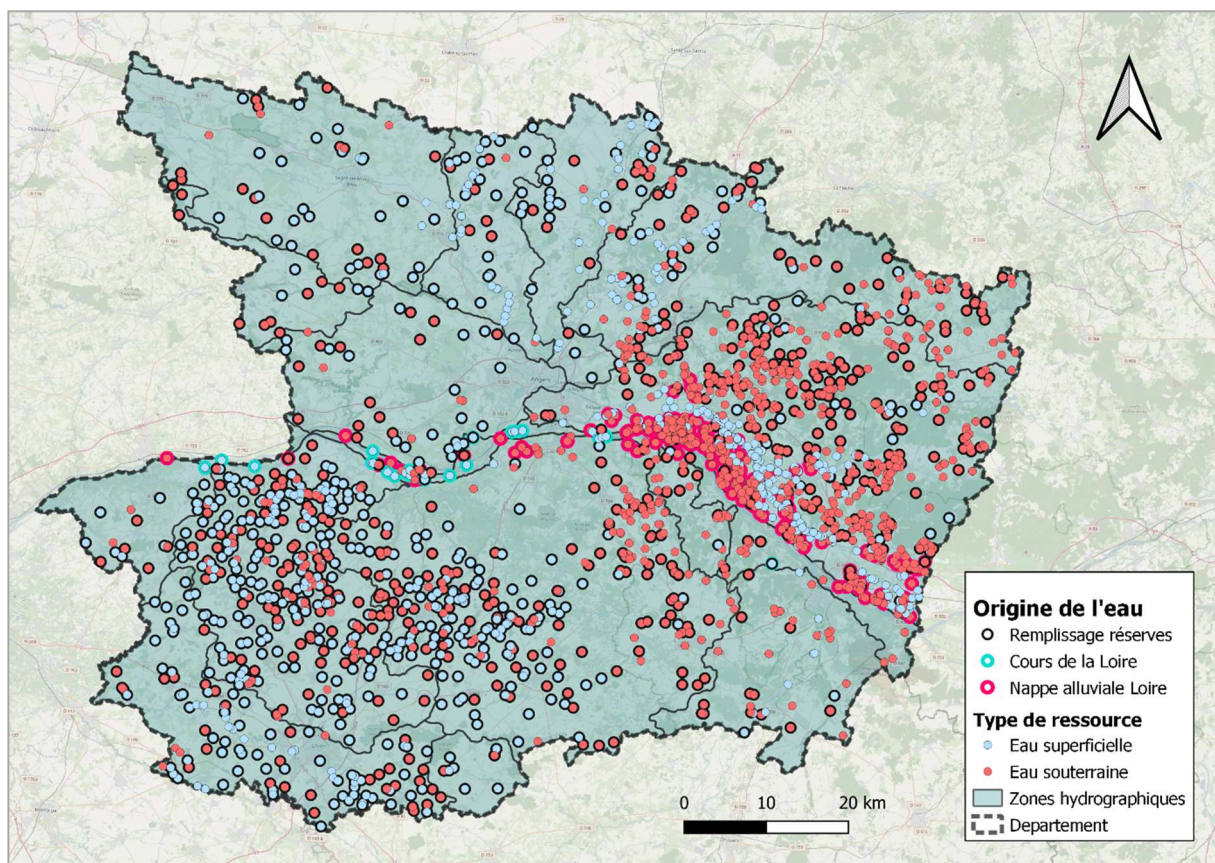


Figure 9 : Localisation des points de prélèvements sur le département 49 et origine de la ressource prélevée
(Source : Suez Consulting)

2.1.2.1.4 Volumes prélevés et répartition temporelle

Ce chapitre présente les résultats à l'échelle départementale. Les fiches hydrologie et usages de l'annexe 1 offrent des détails spécifiques pour chaque secteur hydrographique étudié sur le territoire.

D'après la **Figure 10**, à l'échelle du département, le volume annuel moyen des prélèvements s'élève à 113,5 Mm³. Ces prélèvements se révèlent relativement stables au fil du temps, avec des variations principalement dues aux fluctuations des besoins en irrigation. Ces fluctuations sont elles-mêmes influencées par les conditions climatiques annuelles et les éventuelles restrictions d'usage imposées. On observe aussi une légère hausse des prélèvements AEP.

La **Figure 11** présente les volumes prélevés moyens pour l'ensemble des bassins considérés dans l'étude.

En moyenne annuelle, les volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable et ceux destinés à l'irrigation agricole sont similaires. De même, à cette échelle, les prélèvements réalisés dans les ressources superficielles sont globalement équivalents à ceux effectués dans les eaux souterraines.

L'analyse des données permet par ailleurs de distinguer les prélèvements liés au cours de la Loire et à sa nappe alluviale. Ainsi, plus de 40 % des volumes prélevés dans le département proviennent du système de la Loire, y compris ses alluvions.

En termes de répartition au sein d'une année moyenne (**Figure 12**), on constate des prélèvements accrus à destination de l'irrigation des cultures, durant la période estivale.

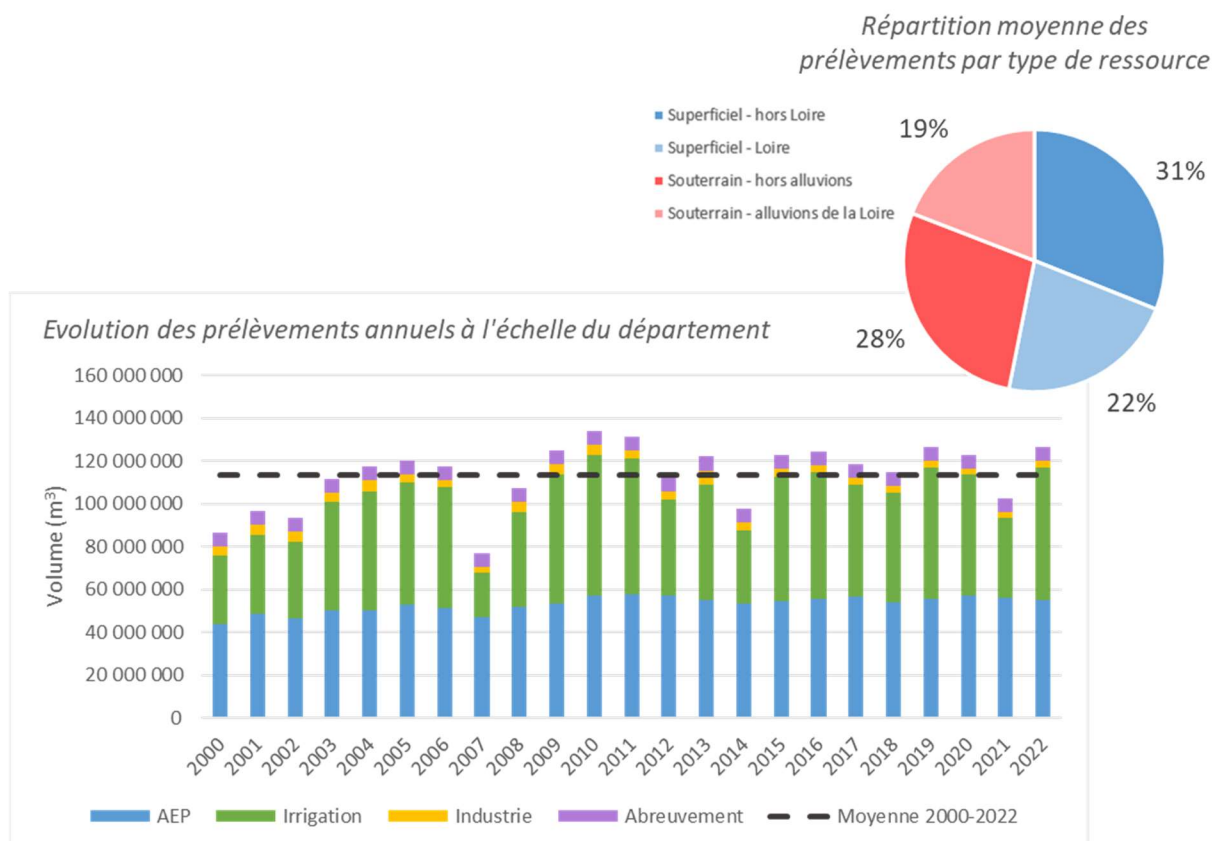


Figure 10 : Prélèvements en eau à l'échelle du département de Maine-et-Loire (Source : Suez Consulting)

Tableau 10 : Volumes de prélèvements à l'échelle du département de Maine-et-Loire sur la période 2000-2022 (Source : Suez Consulting)

	Origine	Moyenne 2000-2022	Min 2000-2022	Max 2000-2022
Irrigation	Superficiel	27 122 114	11 307 600	35 212 676
	Souterrain	22 868 707	9 192 900	31 101 093
	Total	49 990 821	20 500 500	66 313 769
Abreuvement du bétail	Superficiel		2 685 356	
	Souterrain		3 766 359	
	Total		6 451 715	
Industrie	Superficiel	1 131 094	406 800	4 478 117
	Souterrain	2 778 668	1 827 317	4 019 000
	Total	3 909 762	2 234 117	8 497 117
Alimentation eau potable	Superficiel	28 665 668	24 363 600	32 934 160
	Souterrain	24 491 415	19 598 700	27 309 611
	Total	53 157 084	43 962 300	60 243 771
Total		113 509 382	73 148 632	141 506 372

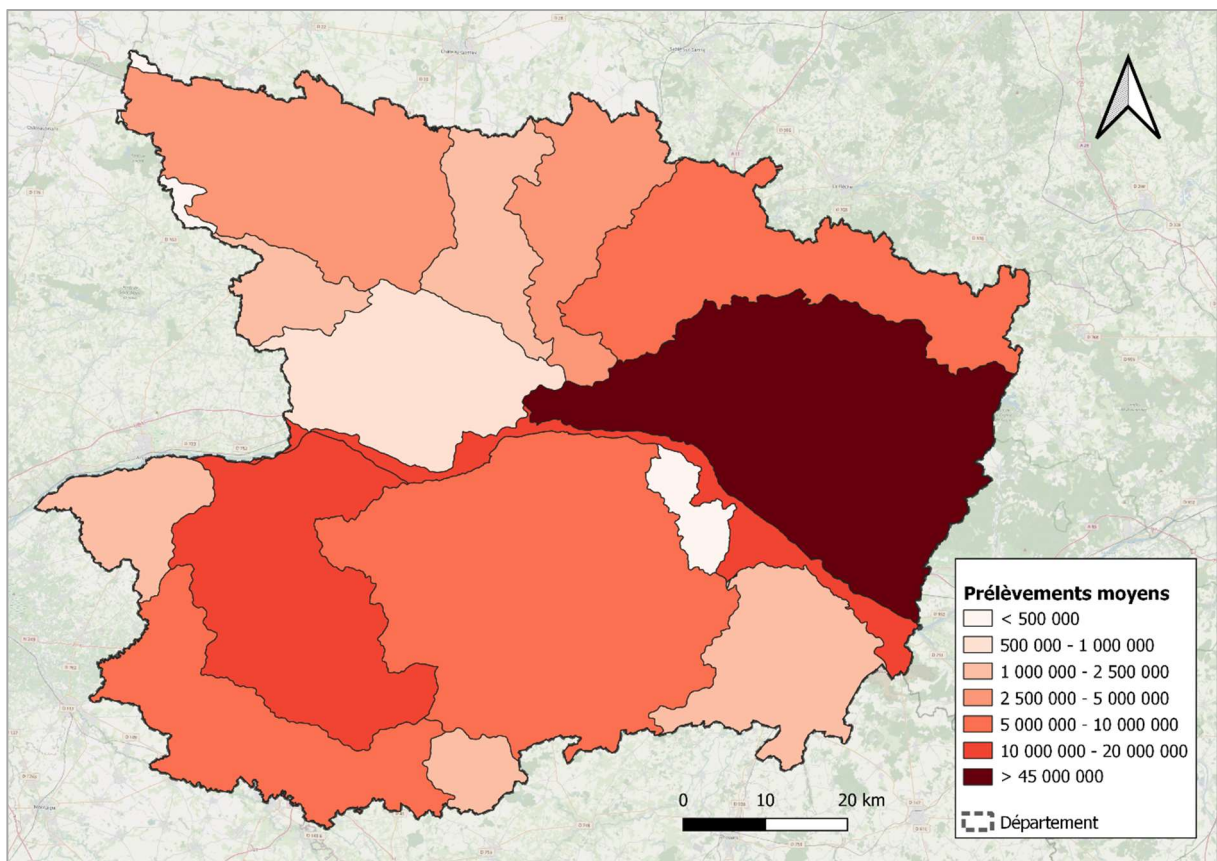


Figure 11 : Volumes moyens annuels prélevés en m³ par zone hydrographique (Source : Suez Consulting)

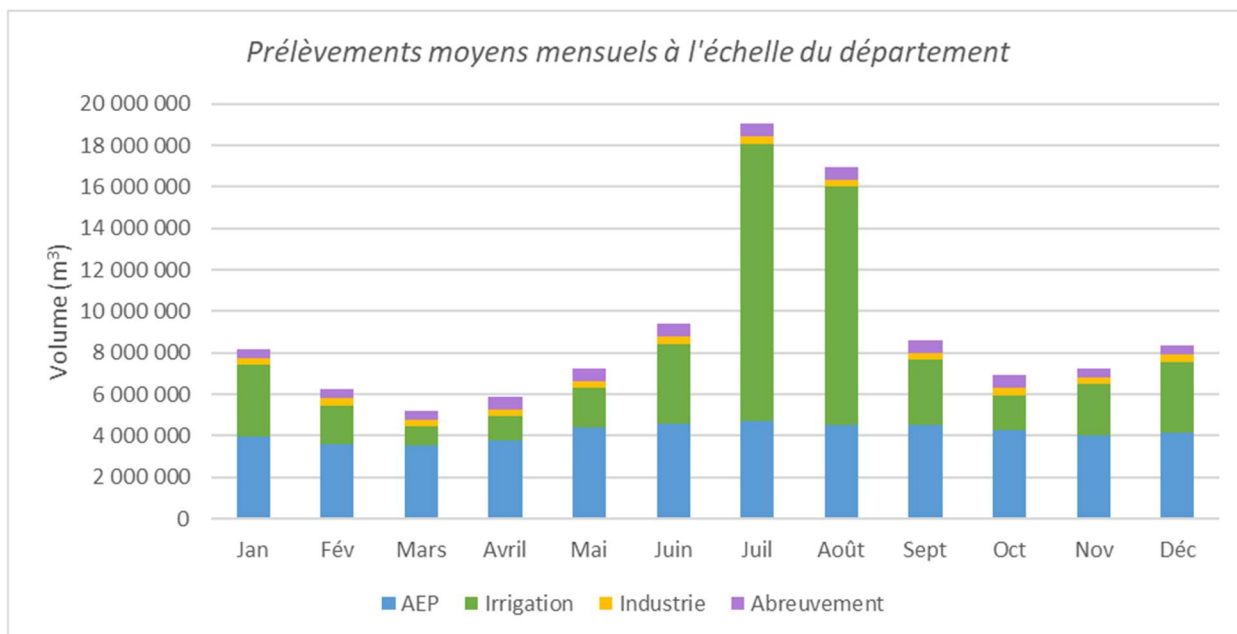


Figure 12 : Répartition mensuelles des prélèvements à l'échelle du département de Maine-et-Loire (Source : Suez Consulting)

2.2 Carte B : Evolutions futures

Cette carte est conçue pour projeter les évolutions possibles des usages et des ressources en eau dans le département, en tenant compte d'un scénario élaboré en concertation avec les acteurs locaux et en valorisant les résultats du projet Explore 2.

Cette carte explore les évolutions des usages envisagées aux horizons 2030, 2050, et 2070, offrant ainsi une vue prospective des changements attendus dans les usages de l'eau en fonction de plusieurs facteurs, notamment les tendances démographiques, les évolutions climatiques, et les choix d'adaptation anticipés par les acteurs du territoire.

2.2.1 Evolutions climatiques et hydrologiques : projet Explore 2

2.2.1.1 Définitions préalables

2.2.1.1.1 Tenants et aboutissements des projections et de leur analyse

Avant tout, il paraît important et nécessaire de préciser l'esprit dans lequel les projections climatiques et hydrologiques doivent être analysées en raison des nombreuses incertitudes affectant ces dernières :

- elles seront : des éléments pour comprendre et anticiper la manière dont la ressource en eau sera le plus probablement amenée à évoluer ;
- elles ne seront pas : une préfiguration précise de l'avenir qui nous attend (qu'il s'agisse du climat, de l'hydrologie ou des usages) ;

L'impact des choix qui devront être réalisés dans le cadre des analyses approfondies est donc à relativiser.

2.2.1.1.2 Scénarios climatiques

Pour estimer l'évolution future des paramètres climatiques, tels que les températures, les précipitations ou l'évapotranspiration potentielle, les climatologues s'appuient sur des trajectoires décrivant l'évolution du forçage radiatif. Ce forçage, qui dépend des activités humaines, pourrait

évoluer de diverses manières dans les prochaines décennies. Étant donné les incertitudes liées à ces évolutions, des scénarios variés ont été élaborés afin d'illustrer les différents futurs climatiques possibles en fonction des choix et des tendances de l'activité humaine.

Aujourd'hui, ces sont les scénarios RCP qui sont valorisés dans le cadre des travaux climatologiques réalisés à l'échelle de la France.

Ces scénarios sont détaillés ci-dessous et représentés dans la figure suivante :

- RCP2.6 : correspond à un scénario avec une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO₂ afin de limiter le réchauffement planétaire à 2°C en 2100. Il exige que l'on investisse dans l'atténuation sans tarder et que l'on adopte des techniques à émissions négatives plus tard au cours du présent siècle (pic puis déclin). C'est le seul parmi les quatre scénarios qui respecterait l'accord international de Paris sur le changement climatique approuvé en décembre 2015 ;
- RCP4.5 : correspond à un scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO₂ avant 2100 (stabilisation sans dépassement) ;
- RCP6.0 : correspond à un scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO₂ après 2100 (stabilisation sans dépassement) ;
- RCP8.5 : Scénario sans politique climatique (concentration en CO₂ croissante), menant à environ 5°C de réchauffement global d'ici la fin du siècle.

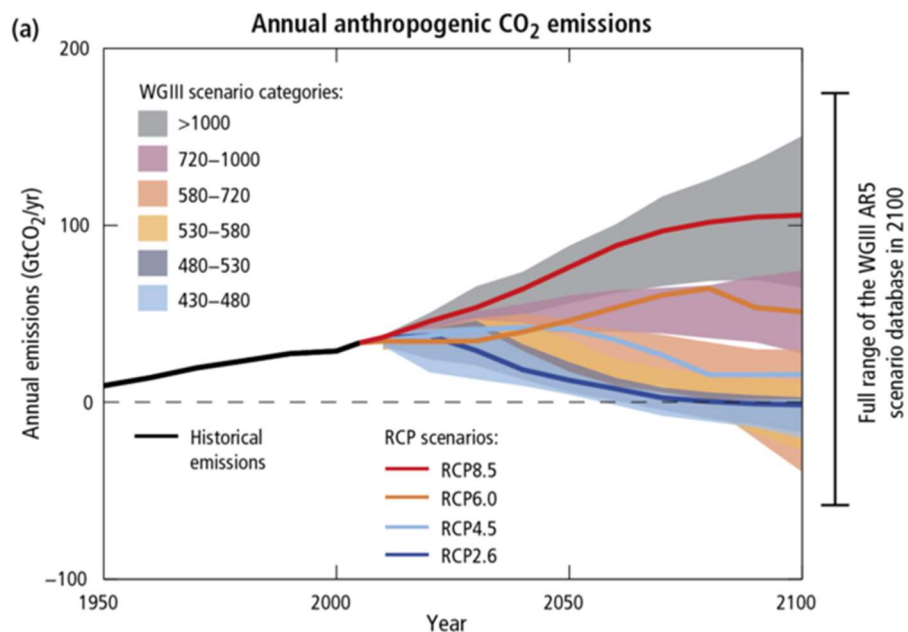


Figure 13 : Evolution des émissions de CO₂ d'après les scénarios RCP (Source : <https://doi.org/10.3390/su14042410>)

Il peut être noté que les projections démarrent en 2006, bien que cette date soit aujourd'hui dépassée. Les tendances d'émissions vécues depuis 2006 se rapprochent des scénarios les plus pessimistes (RCP 6.0 et RCP 8.5).

2.2.1.1.3 Modèles climatiques

Les climatologues sont en mesure de reconstituer les différentes configurations de changement climatique que l'on pourrait observer dans les prochaines décennies, à partir de la connaissance :

- de l'évolution du forçage radiatif associé aux différents scénarios,
- de différentes données d'entrée décrivant le système Terre.

Pour ce faire, ils ont recours à la modélisation. Il existe différents types de modèles climatiques :

- Modèles climatiques globaux (GCM) : grande échelle, résolution de 100 à 300 km.
 - ➔ Ce sont les modèles « de base », qui représentent l'ensemble du système Terre.
- Modèles climatiques régionaux (RCM) : résolution élevée, 10 à 50 km, obtenus par désagrégation dynamique ou statistique (ou combinée).
 - ➔ Ces modèles découlent des modèles climatiques globaux et permettent d'affiner les projections sur une région du globe donnée. Différentes méthodes sont mises en place pour les obtenir.
- Modèles d'impact : variés, visent à représenter les effets du changement climatique sur divers systèmes.
 - ➔ Par exemple, on peut citer les modèles hydrologiques permettant de déduire l'évolution des débits à partir de celle du climat.

Ces différents modèles sont liés, les derniers étant dépendants des premiers, avec un niveau de précision croissant des résultats restitués.

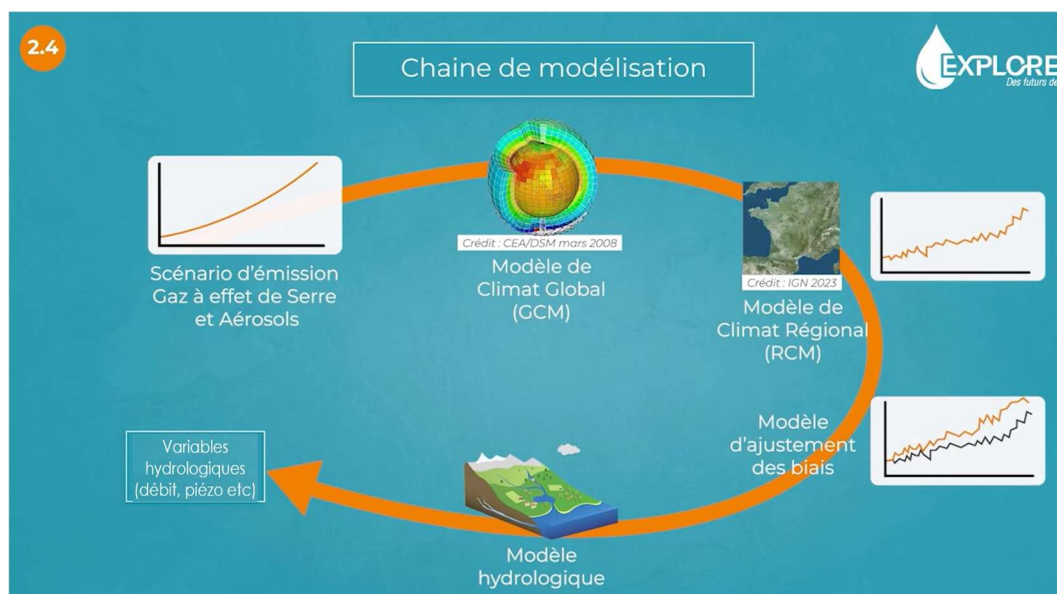


Figure 14 : Chaîne de modélisation du Scénario d'émission à la projection des débits (Source : Explore 2)

2.2.1.1.4 Incertitudes

L'analyse du changement climatique est affectée par de nombreuses incertitudes de provenances variées (scénario, modèle, variabilité interne du climat). Ces dernières interviennent à chaque étape de la modélisation. En effet, aucun modèle constituant une simplification de la réalité n'est parfait. Chaque échelon de calcul est donc de nature à introduire de nouvelles incertitudes aux analyses réalisées.

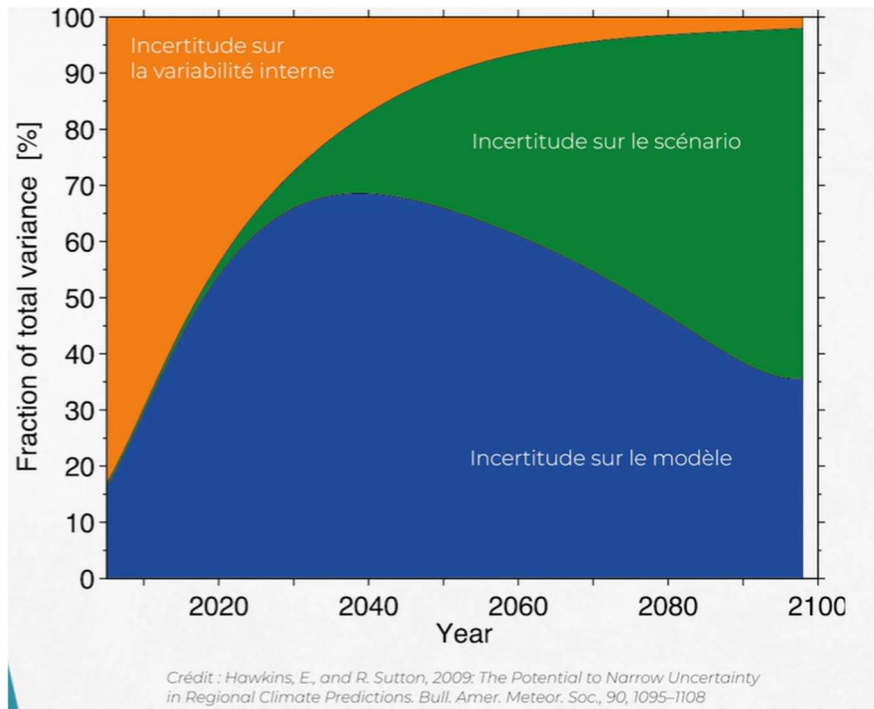


Figure 15 : Evolution de l'importance relative des différentes sources d'incertitude selon les horizons futurs considérés (source : Explore 2)

Ces incertitudes ne doivent cependant pas être vues comme une fatalité. Aujourd'hui, les (hydro-)climatologues sont à même de décrire ces dernières à l'aide d'approches multi-scénarios et multi-modèles. Le principe consiste à réaliser des calculs basés sur une multitude de modèles et de scénarios, puis de réaliser des analyses statistiques sur les multiples résultats obtenus.

Ainsi, plutôt que d'aboutir à une unique description de l'évolution future des variables analysées, on peut disposer de différents types de représentations, comme :

- La représentation « spaghetti » : consistant à mettre en évidence sur un même graphique tous les résultats obtenus afin d'en appréhender directement la dispersion et les grandes tendances. Cette démarche est très simple, mais limitée. En effet, de par sa nature purement visuelle, il n'est pas possible d'en inférer des métriques-clé, ce qui est pourtant un enjeu d'ampleur dans le cadre de telles analyses ;
- L'approche "probabiliste" : décrivant les changements futurs à l'aide de statistiques (moyenne ou médiane des simulations, quantiles, etc.). Cette dernière présente l'avantage de faire parler tout l'ensemble des simulations, mais c'est aussi le mode de représentation qui est le plus fréquemment mal interprété. En effet, il est habituel de n'observer seulement la médiane, « prise pour argent comptant » ;
- L'approche « narrative » utilisée comme alternative pour faciliter l'utilisation des projections dans le cadre d'études d'impact : consistant à isoler un petit ensemble de résultats, représentatif de différentes configurations contrastées pouvant être rencontrées dans l'ensemble de base. Ce mode de restitution est plus directement évocateur de la diversité des futurs possibles que l'approche probabiliste.

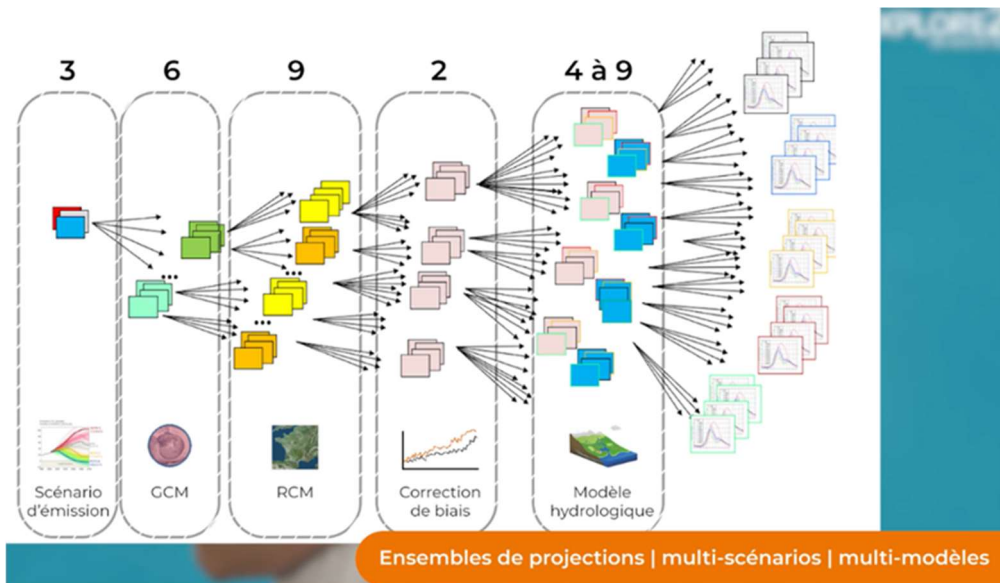


Figure 16 : Représentation de la cascade d'incertitudes dans le cadre de la modélisation du changement climatique et de ses effets sur la ressource en eau (Source : Explore 2)

2.2.1.1.5 Autres recommandations importantes

Note : les recommandations suivantes sont directement issues de DRIAS - Climat

- Ne pas comparer les données des simulations climatiques à une date particulière :
 - Il est important de comprendre que les situations météorologiques simulées sont virtuelles et n'ont pas pour objectif, pour une date de validité donnée, de reproduire la situation correspondante réellement observée (ou qui sera observée). Les données de référence, datées, ne doivent pas être comparées aux valeurs observées à la même date. Mais l'ensemble des simulations de référence ont les caractéristiques du climat de la période de référence (1950-2000 par exemple). On proposera donc de préférence des valeurs moyennes sur plusieurs années (classiquement 30 ans) ou des fréquences de phénomènes ;
 - Par ailleurs, les projections climatiques débutent généralement en 2006. Les premières années de simulation relèvent aujourd'hui du passé récent.
- Faire attention à l'interprétation des résultats pour les horizons proches (période 2021-2030) :
 - En effet, pour cette période, on ne peut distinguer la variabilité climatique naturelle d'un signal qui serait dû au changement climatique. Pour cette période, il est recommandé notamment de s'orienter vers des prévisions décennales, aujourd'hui produites dans le cadre de l'Organisation Mondiale de la Météorologie.
- Utiliser systématiquement plusieurs scénarios et des produits de distribution ou plusieurs modèles :
 - Il existe principalement deux sources d'incertitude : l'incertitude « modèle » liée à la représentation des processus physiques et l'incertitude associée aux scénarios d'émission des gaz à effet de serre. La première incertitude peut être analysée en utilisant des produits de distribution issus d'un ensemble de modèles (par exemple les

modèles DRIAS-2020). La deuxième peut être approchée en proposant des simulations obtenues pour plusieurs scénarios d'émission (RCP).

- On proposera donc systématiquement plusieurs scénarios et des produits de distribution ou plusieurs modèles, de manière à intégrer au moins une source principale d'incertitude.
- La concentration en gaz carbonique varie en fonction des scénarios de manière sensible à partir de 2040. Pour les études au-delà de cette période, il est donc conseillé d'utiliser plusieurs scénarios pour prendre en compte les incertitudes sur l'évolution de la concentration en gaz carbonique. Les trois scénarios RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5 constituent un ensemble qui permet de donner une idée de la dispersion des résultats et de représenter la variabilité de manière suffisante. Des calculs statistiques comme des fourchettes de durée de retour peuvent être mis en place.
- Ne pas pondérer les simulations climatiques :
 - Les simulations climatiques ne sont pas des prévisions et aucune échelle de probabilité ne leur est attachée (aucun scénario n'est plus probable qu'un autre). Elles représentent à priori des évolutions plausibles du climat de la France sur le 21^e siècle basées sur les connaissances actuelles.
- Les données de la période de référence ne sont pas des observations :
 - Il est important de garder à l'esprit que les simulations de référence sont des simulations numériques et non des observations. Si ces simulations n'ont pas été débiaisées par une méthode de correction (comme la méthode de correction quantile-quantile), alors il subsiste un biais par rapport aux observations. Il ne faut donc pas utiliser ces simulations en les considérant comme une climatologie du passé proche.
 - *Complément SUEZ Consulting : malgré les méthodes de correction de biais mises en place, de légers biais peuvent subsister. Ainsi, il paraît préférable de valoriser les données de projection par approche comparative plutôt que par l'analyse direct des valeurs absolues qui en découlent.*
- Pour les débits en particulier :
 - Privilégier les analyses en valeur relative (écart par rapport à la période historique) plutôt qu'en valeur absolue.
 - Les modèles hydrologiques ne sont pas tous systématiquement recalés sur les observations (voir modèle SIM2 par exemple) et des écarts peuvent persister entre les moyennes des observations et des données simulées de débit sur la période historique.
 - Pour ces modèles, il convient de privilégier les analyses des évolutions relatives de débit (écart relatif de la moyenne future par rapport à la moyenne de la période historique) plutôt que les analyses en valeur absolue.
 - De manière générale, les écarts relatifs sont plus robustes dans les simulations hydrologiques que les valeurs absolues futures.

2.2.1.2 Le projet Explore 2

Les contributeurs du projet national Explore 2 le présentent comme ceci :

« Le projet Explore 2, porté par INRAE et l'Office International de l'eau (OiEau), s'inscrit dans la suite de l'étude Explore 2070 (2010-2012) grâce à laquelle les acteurs de la recherche, autour du ministère de

l'Écologie, avaient établi des premiers scénarios prospectifs de disponibilités des ressources en eau à l'échelle de la France à horizon 2070.

(...)

Explore2 a pour objectif d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir de publications du GIEC (CMIP5), mais aussi d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau. »

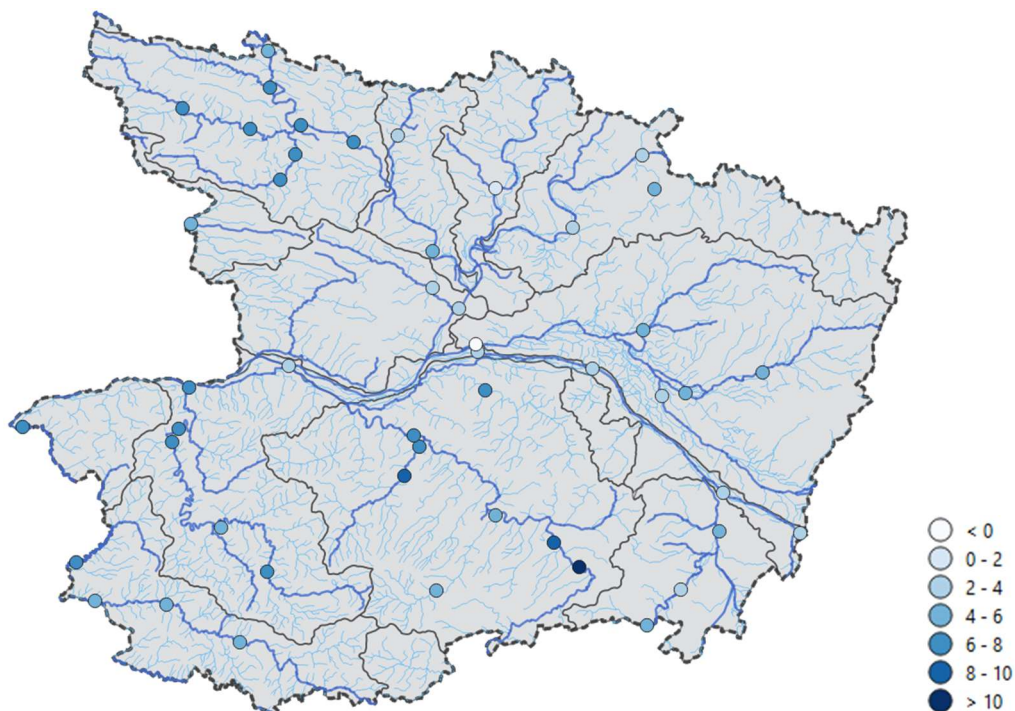
Le projet Explore2 a permis de mettre à disposition du public les résultats de très nombreuses projections climatiques et hydrologiques adaptées au territoire métropolitain Français.

Il se base sur un large ensemble de projections hydroclimatiques multi-scénarios (RCP) et multi-modèles. Les résultats, à l'échelle de la France hexagonale, sont présentés à l'annexe 2.

La figure suivante présente les résultats du projet Explore 2 à l'échelle départementale, basés sur les données accessibles via la plateforme [MEANDRE](#).

Ces données correspondent aux projections établies selon le scénario d'émission RCP8.5 et reposent sur la moyenne des résultats obtenus à partir de plusieurs combinaisons de modèles climatiques et hydrologiques.

L'horizon temporel considéré est la période 2041-2070. Deux cartes distinctes sont proposées : la première illustre l'évolution des débits moyens annuels, tandis que la seconde se concentre sur les débits d'étiage, représentés par l'indicateur VCN10. Le VCN10 correspond au débit minimum annuel calculé comme la moyenne des débits journaliers les plus faibles sur une période de 10 jours consécutifs.



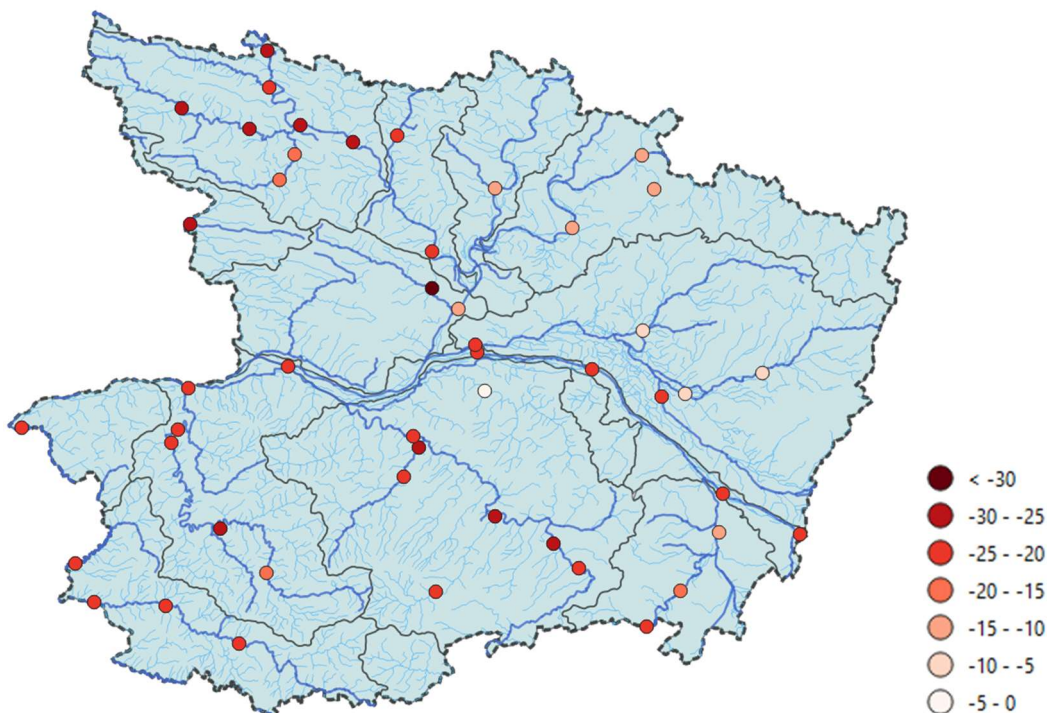


Figure 17 : Evolution (en %) des débits moyens (en haut) et des débits faibles (en bas) [Moyenne multi-modèles] (Source : <https://meandre.explore2.inrae.fr/>)

2.2.2 Evolution des usages de l'eau

L'évolution des usages de l'eau est présentée dans le SDGRE à l'horizon 2050. Afin d'établir l'évolution des usages à l'horizon 2070, des ateliers de concertation ont été réalisés le 23 septembre 2024 avec les acteurs locaux du territoire. La vingtaine de participants a été répartie entre deux ateliers thématiques en fonction de leur champ de compétence et de leur thématique de travail :

- Un atelier usages agricoles regroupant les structures suivantes : Fédération Viticole Anjou Saumur, FRANSYLVA Maine-et-Loire, SLAL, SMBVAR, Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, FDPPMA49, EPTB Sarthe, SMIB / SAGE ETSD, SMBAA / SAGE Authion
- Un atelier commun aux usages industriels et eau potable a été proposé au regard des profils des participants. Il a regroupé les structures suivantes : ALM, Cholet agglomération, SEA, CD44, SMBAA, CA MC, AELB

Les résultats présentés dans les paragraphes suivants résultent de la concertation et des échanges de ces ateliers. La prospective est toujours un exercice délicat à réaliser d'autant plus que l'horizon est lointain, ce qui induit un certain niveau d'incertitude dans les résultats.

2.2.2.1 Evolution de la population et des besoins en eau potable (atelier AEP + Industrie)

Pour déterminer avec les acteurs l'évolution de la population du département, nous nous sommes basés sur les scénarios Omphale de l'INSEE qui proposent des évolutions de la population jusqu'à l'horizon 2070.

Ces scénarios font varier trois paramètres (fécondité, espérance de vie et migrations), à la baisse, à la hausse ou de manière constante, afin d'obtenir trois scénarios d'évolution de la population, bas, central et haut. Ils sont représentés dans la **Figure 22** suivante.

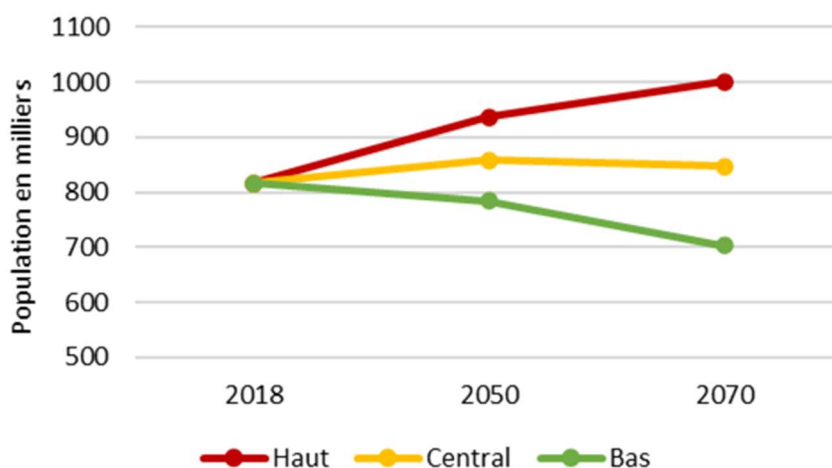


Figure 18 : Scénarios Omphale d'évolution de la population du département (source : INSEE)

Dans le cadre du Schéma Départemental de gestion de la ressource en eau (SDGRE), une augmentation de la population de 6 % à l'horizon 2030 et de 18 % à l'horizon 2050 est attendue sur le département. Ainsi, en considérant une tendance stable, la population augmenterait de 29% en 2070.

Sur la base du tableau suivant, décrivant les différents taux d'évolution de la population possibles selon les différents scénarios Omphale, les échanges entre les acteurs ont abouti sur le choix du scénario haut comme étant le plus pertinent à retenir.

Tableau 11 : Taux d'évolutions de la population du département (sources : SDGRE, INSEE)

Source	2020/2030	2020/2050	2020/2070
SDGRE	+ 6%	+ 18%	+ 29%
Omphale-haut	+ 4,5%	+ 14,5%	+ 22%
Omphale-central	+ 2,5%	+ 5%	+ 3,5%
Omphale-bas	+ 0,5%	- 4,5%	- 14%

Ce scénario permet :

- de s'approcher du scénario considéré dans le cadre du SDGRE ;
- de considérer la situation la plus critique et donc la plus intéressante à analyser dans une étude prospective.

Une des limites des scénarios d'évolution Omphale est l'application d'un seul et unique taux d'évolution départemental. L'application de ce taux à l'ensemble des communes ne traduirait pas la réalité économique du territoire ni l'historique démographique communal.

Afin d'intégrer cette limite, nous avons fait le choix de procéder de la manière suivante :

- 1) Nous avons commencé par analyser le taux d'évolution de la population de chaque commune entre 2006 et 2020.
- 2) Pour ensuite, classer les communes en 4 catégories (quartiles) en fonction de leur taux d'évolution historique.
- 3) Après quoi, nous avons appliqué un coefficient de pondération différent selon l'évolution de la commune afin de ne pas affecter un taux d'évolution positif sur une commune dont la population décroît depuis plusieurs années (quartile 1) et à l'inverse une augmentation du taux d'évolution pour les communes, dont la population, augmente fortement (quartile 4) depuis plusieurs années
- 4) Enfin, nous avons comparé le total des populations communales avec pondération aux différents horizons avec la population départementale multipliée par le taux d'évolution Omphale et nous avons procédé à des ajustements pour obtenir une différence de moins de 1%. Ce qui nous permet d'avoir une évolution de la population par bassin versant adaptée à la situation passée et actuelle.

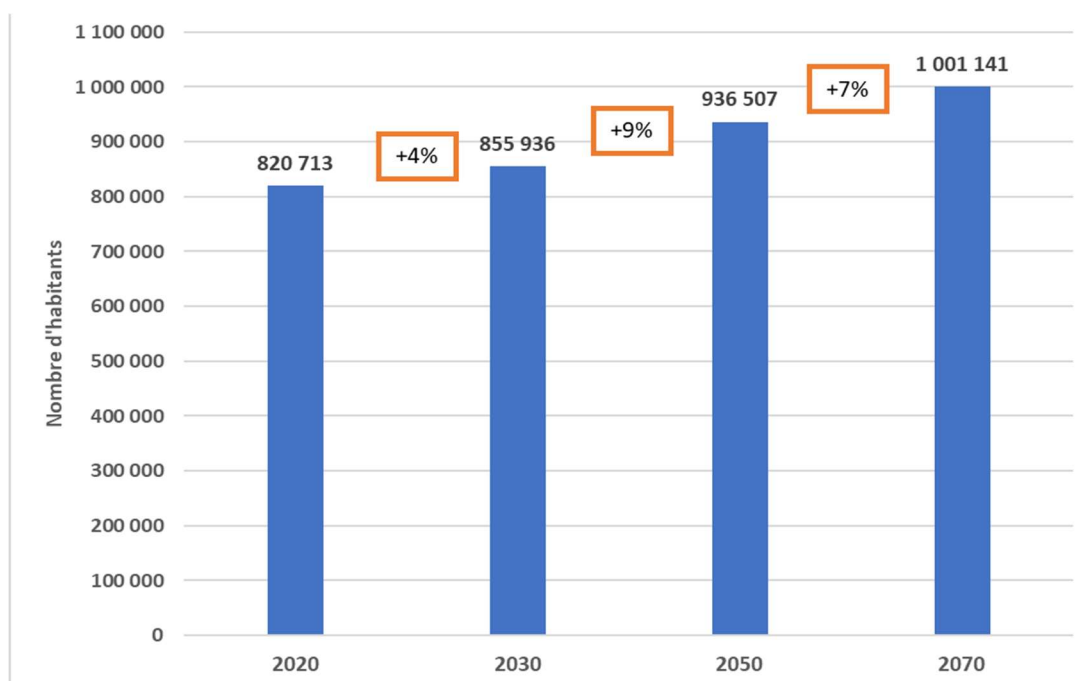


Figure 19 : Evolution de la population du département via le scénario Omphale-haut (source : ECODECISION)

Pour ce qui est de la consommation des ménages, nous avons repris les données du SDGRE qui mentionnaient que la consommation moyenne annuelle d'un habitant de Maine-et-Loire est estimée à 45 m³. En appliquant cette consommation à l'évolution de la population nous obtenons l'évolution des consommations suivantes :

Tableau 12 : Evolution de la consommation domestique du département (source Ecodecision)

	2020	2030	2050	2070
Consommation domestique (m ³ /an)	36 932 085	38 517 107	42 141 794	45 051 359

2.2.2.2 Evolution des usages agricoles (atelier agriculture)

Pour cet atelier, les acteurs ont travaillé **sans prendre en compte le Plan eau** et se sont attachés exclusivement aux besoins en eau en fonction du changement climatique. Cette décision a été prise à la suite d'un échange durant lequel les acteurs locaux ont convenu qu'au regard du changement climatique et des taux d'évolution proposés dans le SDGRE aux horizons 2030 et 2050, **les besoins en eau agricoles ne pourraient pas diminuer** sur le territoire de l'étude.

2.2.2.2.1 L'abreuvement du cheptel

Analyse du passé :

Depuis 2000, le nombre total de gros animaux a diminué régulièrement sur le département du Maine-et-Loire. L'élevage du département est essentiellement tourné vers les bovins et les porcins. Sur la période 2000-2017, ces élevages ont perdu respectivement 13% et 24% de leur cheptel. Seul le cheptel caprin progresse sur la période mais son nombre reste anecdotique vis-à-vis des bovins et des porcins.

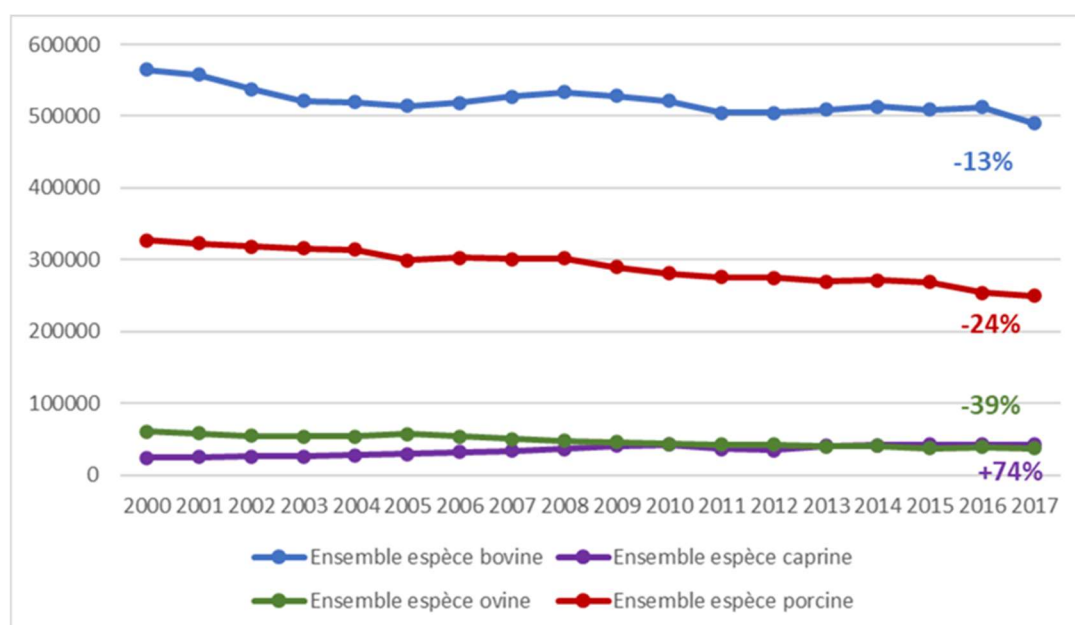


Figure 20 : évolution du nombre de gros animaux sur le département du Maine-et-Loire (source : Agreste)

L'analyse sur les trois grandes catégories de bovins (vaches laitières, vaches nourrices, bovins viande) met en évidence une diminution plus marquée pour les bovins viande mais qui reste proche du taux d'évolution des vaches laitières et nourrices. A noter cependant que les veaux de boucherie, qui sont inclus dans les bovins viande ont vu leur nombre diminuer de 35% sur la période 2000-2017, passant ainsi de 13% à 8% de l'ensemble des effectifs bovins.

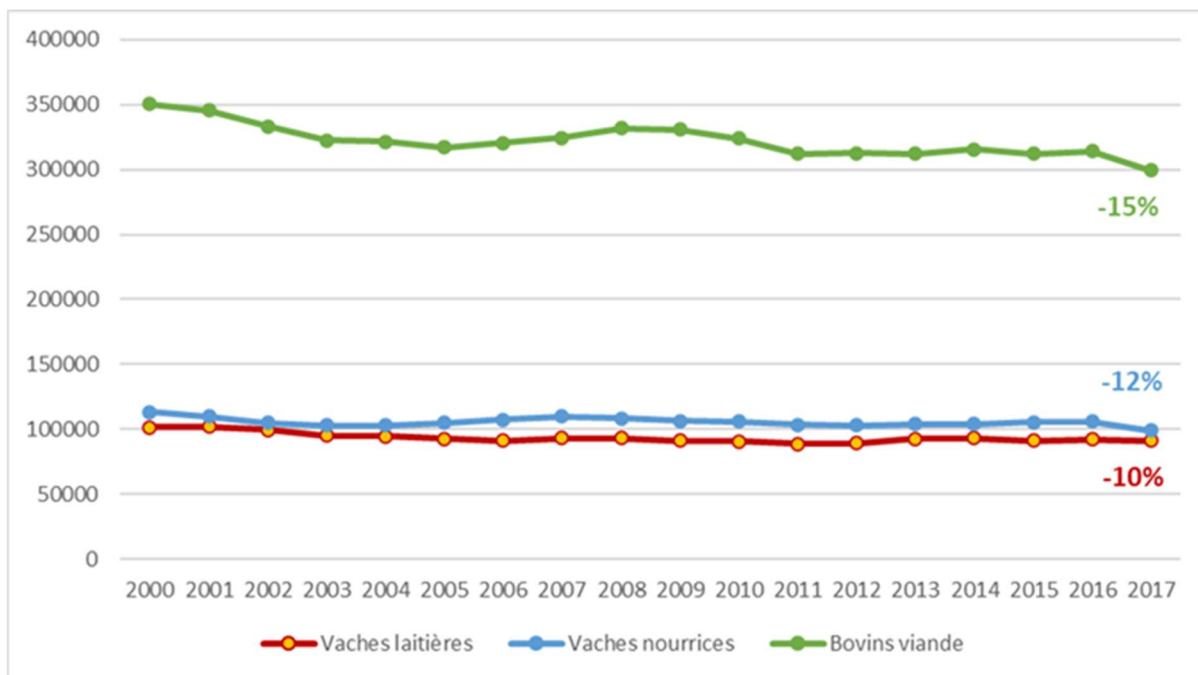


Figure 21 : évolution du nombre de bovins par grande catégorie sur le département du Maine-et-Loire (source : Agreste)

Les perspectives du SDGRE aux horizons 2030 et 2050 :

Les taux proposés dans le SDGRE (horizons 2030 et 2050) pour l'évolution du cheptel bovin ont été confirmés par les acteurs locaux lors de l'atelier de concertation agricole et sont présentés dans le **Tableau 13**.

Evolution à l'horizon 2070 :

Le SDGRE n'avait pas pour objectif d'identifier l'évolution des usages à l'horizon 2070. Après concertation lors de l'atelier du 23 septembre, les évolutions suivantes ont été validées pour l'horizon 2070:

- une stabilité de la filière lait par rapport au nombre d'animaux présents en 2050 ;
- une légère diminution de la filière viande par rapport à 2050.

Concernant l'abreuvement des autres animaux, qui n'avaient pas été traités dans le SDGRE, les évolutions suivantes ont été validées :

- une diminution de 17% du cheptel porcins par rapport à 2018 ;
- une baisse de 20% des ovins par rapport à 2018 ;
- une stabilité des caprins et de la volaille.

Le tableau suivant présente les résultats de cette concertation.

Tableau 13 : évolution du cheptel aux horizons 2050 et 2070 (source : SDGRE et atelier de concertation)

		Evolution 2030/2018	Evolution 2050/2018	Evolution 2070/2018
Filière animale	Source du taux proposé	SDGRE	SGDRE	Atelier du 23/09
	Vaches laitières et vaches nourrices	- 7%	- 19%	-19%
	Bovins viande	-21%	-54%	-57%
	Veaux de boucherie	- 17%	- 17%	-20%
	Porcins			-17%
	Ovins			-20%
	Caprins			stabilité
	Volailles			stabilité

2.2.2.2.2 L'irrigation

Analyse du passé :

Depuis plusieurs années, une diminution du nombre d'exploitations agricoles est observée sur le territoire, mais pas de la surface agricole utilisée. En effet, les terres des exploitations dont les propriétaires partent à la retraite sont souvent reprises par des exploitations voisines.

Cette tendance devrait être amenée à progresser ces prochaines années car selon l'étude de la Chambre Régionale d'Agriculture (CRA), 31% des exploitants ont plus de 55 ans et envisagent un passage à la retraite d'ici 5 à 10 ans. L'étude précise cependant que 23% des exploitants ont moins de 40 ans, mettant en évidence une dynamique d'installations toujours présente.

Les perspectives du SDGRE aux horizons 2030 et 2050 :

Le SDGRE propose une réflexion détaillée sur l'évolution des filières végétales aux horizons 2030 et 2050 qui est présentée dans le **Tableau 14** suivant :

Tableau 14 : évolutions des filières végétales (Source SDGRE, CD49)

Filière	Horizon 2030	Horizon 2050
Viticole	Stabilité de la filière. Pas d'impact sur la ressource en eau. Les volumes dédiés à la lutte antigel ont été estimés comme négligeables.	
Arboricole	Les parcelles gélifs sont délaissés au profit de parcelles plus saines. Le goutte à goutte est de plus en plus employé. Les surfaces cultivées restent identiques ainsi que les apports d'eau.	
Horticole	Pas de développement potentiel des activités identifiées. Développement de techniques pour récupérer l'eau des plates-formes de pépinières hors-sol.	
Maraîchage	Les surfaces se stabiliseront avec une légère augmentation possible. Les apports en eau seront identiques	
Semence	Les surfaces resteront identiques.	Les surfaces resteront identiques mais les apports en eau seront augmentés à horizon 2050.
Fourrage	Augmentation de 10% des surfaces irriguées maïs fourrage en 2030. Augmentation de 5% des prairies irriguées avec un tour d'eau supplémentaire.	Augmentation de 15% des surfaces irriguées maïs fourrage en 2050. Augmentation de 10% des prairies irriguées avec un tour d'eau supplémentaire.
Grandes cultures	Les surfaces en céréales à paille irriguées augmenteront de 5% d'ici 2030 avec un tour d'eau supplémentaire. Maintien des surfaces en maïs grain.	Les surfaces en céréales à paille irriguées augmenteront de 10% d'ici 2050 avec un tour d'eau supplémentaire. Maintien des surfaces en maïs grain avec un tour d'eau supplémentaire d'ici 2050.

Evolution à l'horizon 2070 :

Après concertation lors de l'atelier du 23 septembre, un besoin en eau supérieur de 37% pour l'irrigation des cultures sur le département à horizon 2070, par rapport au besoin de 2018, a été validé. Ce taux a fait l'objet de discussion avec l'ensemble des participants et tient compte de l'évolution du changement climatique à l'horizon 2070 (augmentation de la température et diminution de la pluviométrie) mais de l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation grâce aux outils d'aide à la décision qui va se poursuivre d'ici 2070.

Tableau 15 : évolution des besoins en irrigation (source : SDGRE et ateliers de concertation)

		Evolution 2030/2018	Evolution 2050/2018	Evolution 2070/2018
Filière végétale	Source du taux proposé	SDGRE	SDGRE	Atelier du 23/09
	Besoin en irrigation	4%	28%	37%

2.2.2.2.3 La lutte antigel

Les volumes dédiés à la lutte antigel sont difficiles à comptabiliser pour plusieurs raisons :

- L'eau peut provenir de plusieurs sources (forages, retenues collinaires, rivières, réseaux d'irrigation), ce qui complique le suivi global des quantités consommées ;
- Dans certaines exploitations, les compteurs d'eau ne sont pas systématiquement installés ou bien ils ne sont pas conçus pour mesurer des volumes avec précision dans des conditions de gel ;
- L'aspersion est la technique la plus courante, mais le débit d'eau appliqué varie selon le type de système d'irrigation (aspersoirs fixes, mobiles, micro-aspersion). La pression et le débit réels peuvent différer des valeurs théoriques.

Les perspectives du SDGRE aux horizons 2030 et 2050 :

Dans le SDGRE, le nombre de jours de lutte antigel considéré pour les horizons 2030 et 2050 est de 2. Cependant un travail réalisé sur le bassin versant de l'Authion, par la Direction Départementale des Territoires (DDT), a mis en évidence un nombre de jours plus important avec une moyenne de 7 jours. La DDT a également mis en évidence une augmentation de la demande. Par conséquent, l'évolution à horizon 2050 a évolué entre la prospective établie par le SDGRE et cette étude, passant de 2 jours à 5 jours (**Tableau 16**).

Evolution à l'horizon 2070 :

Tenant compte des évolutions à l'horizon 2050 et des conclusions de la DDT, la lutte antigel est évaluée à 10 jours pour l'horizon 2070 (**Tableau 16**)

Tableau 16 : évolution du nombre de jours antigel (source : SGDRE , BE, DDT, CD49)

		Evolution 2030/2018	Evolution 2050/2018	Evolution 2070/2018
Lutte antigel	Source du taux proposé	SDGRE	BE / DDT /CD49	BE / DDT /CD49
	Lutte antigel	2 jours	5 jours	10 jours

2.2.2.3 Evolution des usages industriels (atelier AEP + Industrie)

Lors de l'atelier du 23 septembre, les représentants du monde industriel étant peu représenté cela a rendu complexe la prospective des évolutions attendues en Maine-et-Loire pour les trois horizons.

Pour les usages industriels, une stagnation des volumes prélevés actuellement est proposée pour les trois horizons (2030, 2050 et 2070). En effet, une amélioration des pratiques et des optimisations des process va potentiellement générer des économies d'eau, mais ces dernières seront compensées par une augmentation du nombre d'implantation de nouvelles industries et donc de la demande.

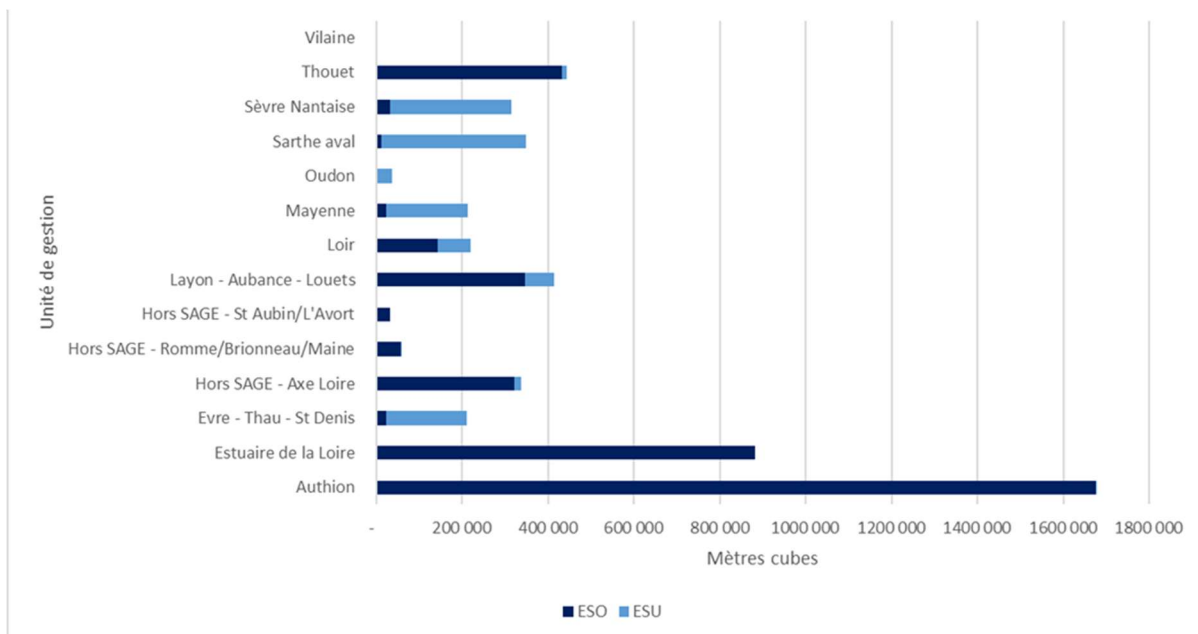


Figure 22 : Prélèvements industriels sur le département (source : données SDGRE mises à jour par Suez Consulting)

2.3 Carte C : La Loire dans son entièreté

Cette dernière carte offre une perspective élargie, couvrant l'ensemble du cours de la Loire. Elle met en lumière les usages de l'eau dépendants du fleuve ainsi que les débits observés tout au long de son parcours. En s'appuyant sur une approche globale, cette carte complète les analyses locales en fournissant un cadre comparatif des situations rencontrées sur les différentes portions du bassin.

2.3.1 Les débits de la Loire

Les cartes suivantes mettent en avant les débits de la Loire le long du bassin depuis sa source jusqu'à l'embouchure. La figure 27 présente l'évolution des débits moyens en valeur absolue d'amont en aval. Les valeurs absolues montrent que les débits gonflent à mesure que le fleuve parcourt le bassin qu'il draine. Toutefois, la visualisation des valeurs de débits normalisées (spécifiques : rapportés à la surface du bassin à l'amont de la station de mesure considérée), permet de comparer les apports de la Loire, linéairement, en s'affranchissant de la taille de son bassin. Un contraste entre l'amont (plus productif) et l'aval (moins productif) du bassin se révèle pour les débits moyens et débits secs (**Figure 23**, **Figure 24**).

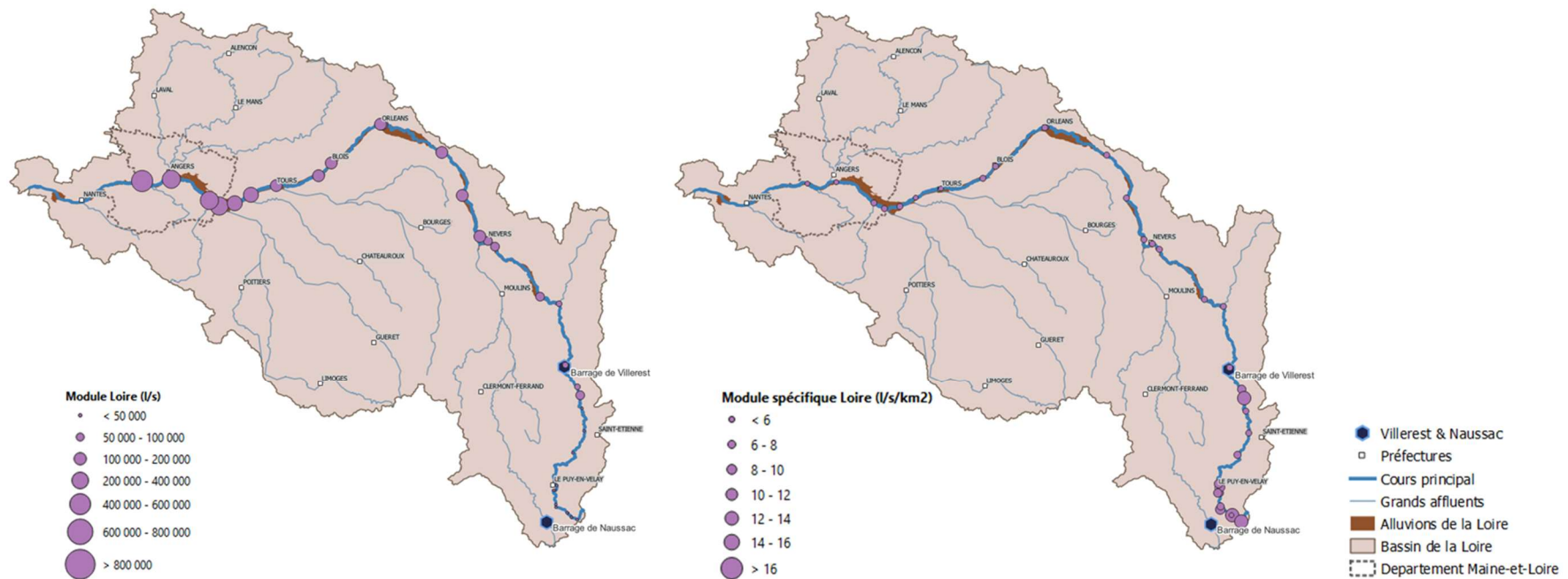


Figure 23 : Débits moyens le long de la Loire. Valeurs absolues à gauche, valeurs spécifiques à droite (source : HydroPortail)

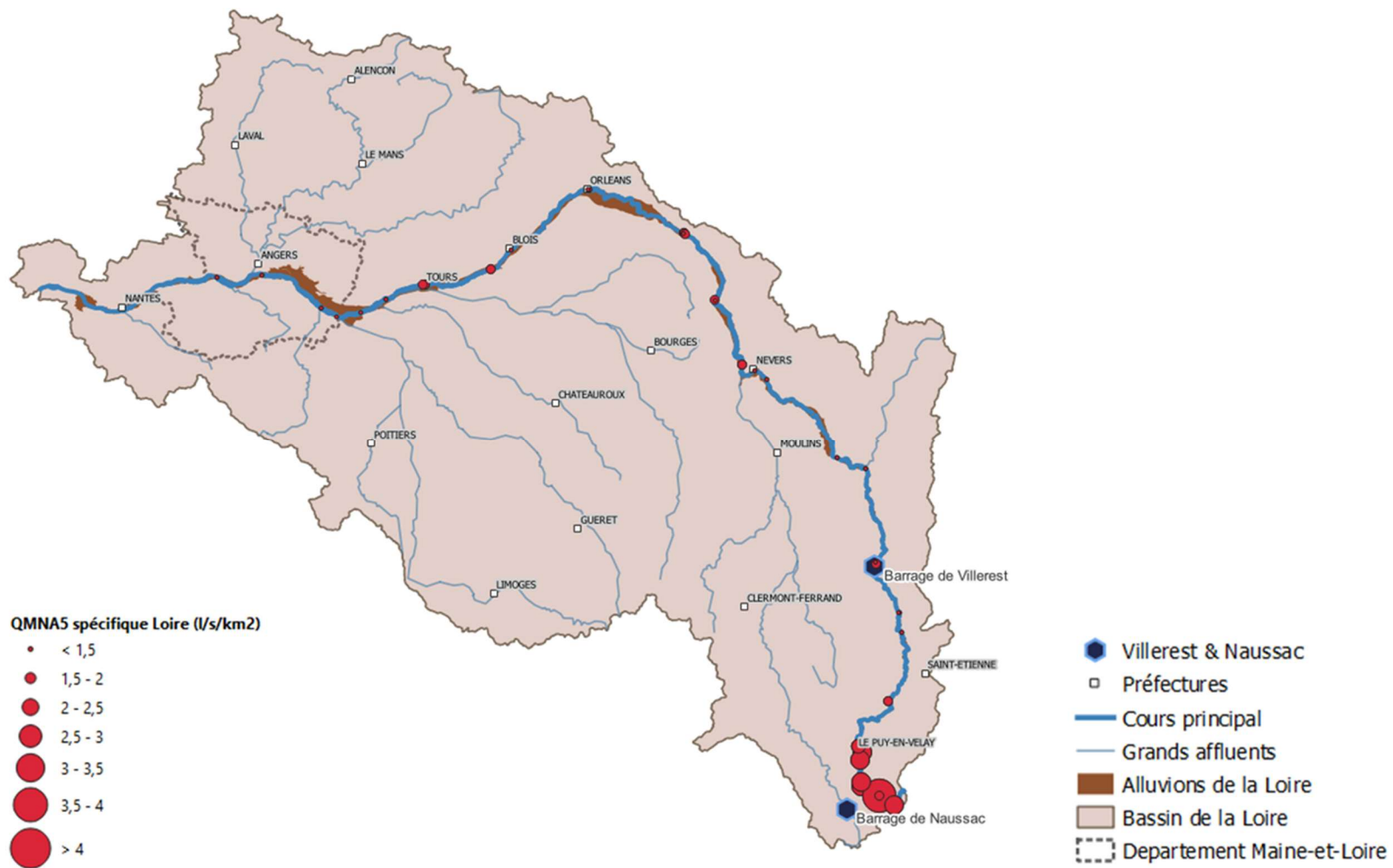


Figure 24 : Débits spécifiques moyens sec (QMNA5) le long de la Loire (source : HydroPortail)

2.3.2 Les prélèvements à l'échelle du bassin de la Loire

À l'échelle du bassin de la Loire, les prélèvements dans les alluvions du fleuve représentent une part significative en termes de nombre de points de captage. En effet, environ 80 % des captages sont réalisés dans cette ressource.

Cependant, en termes de volumes, plus de 90 % des prélèvements concernent les eaux superficielles de la Loire, mobilisées pour divers usages.

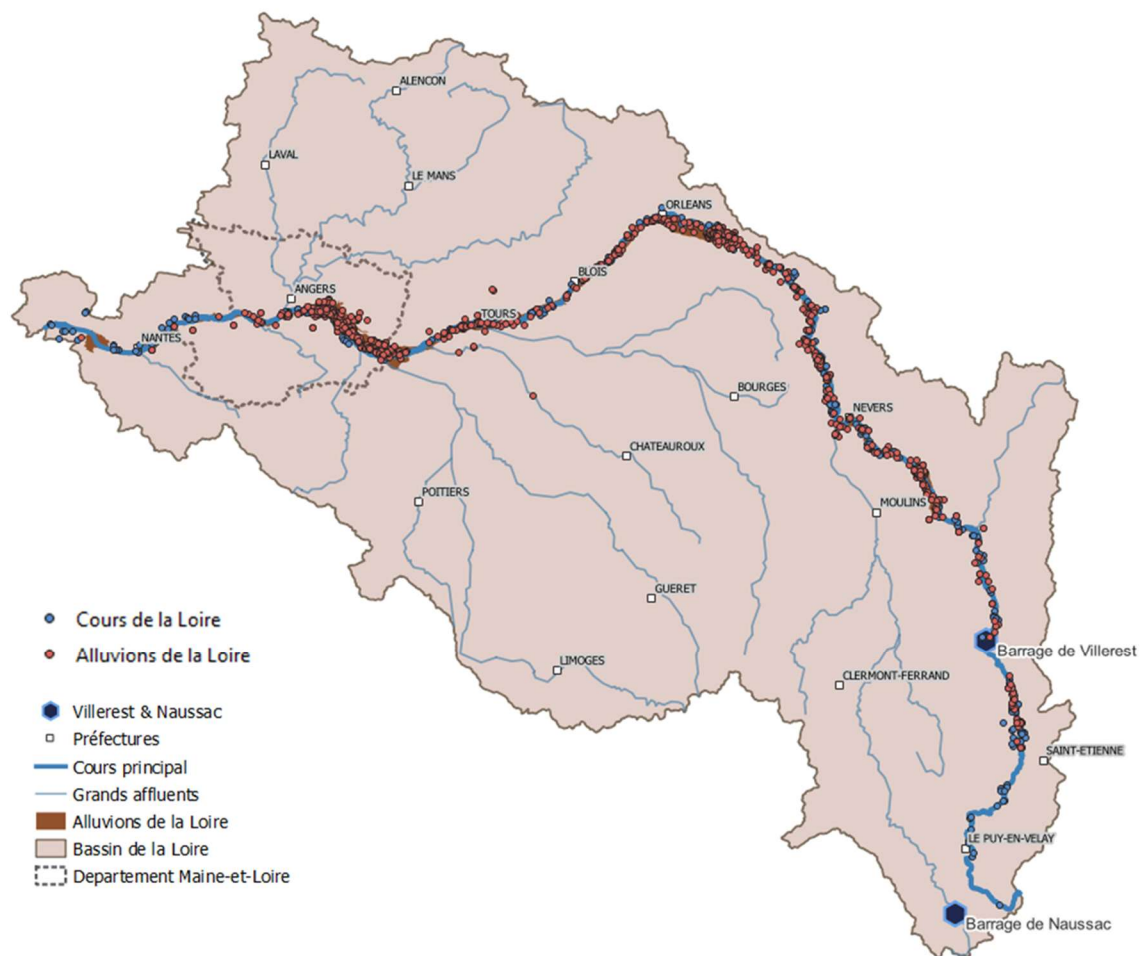


Figure 25 : Localisation des prélèvements en Loire et ressource concernée par les prélèvements (source : AELB)

D'après les **Figures 25** et **26** :

La répartition des usages diffère selon la source de prélèvement. La grande majorité des volumes prélevés en eaux superficielles de la Loire est dédiée à la production d'énergie, notamment pour le refroidissement des centrales électriques. En revanche, les ressources alluviales sont principalement utilisées pour répondre aux besoins en eau potable des populations et, dans une moindre mesure, pour des usages industriels et agricoles. Ces dynamiques soulignent l'importance de la distinction de ces deux types de ressources en tenant compte de leurs spécificités et des usages qui leur sont associés.

Cette analyse des prélèvements, réalisés dans la Loire sur l'ensemble de son cours, met en évidence le fait que le département du Maine-et-Loire n'est pas le seul territoire à s'appuyer de manière conséquente sur cette ressource pour assurer ses besoins en eau.

En outre, au sein du Maine-et-Loire le territoire de la vallée de l'Authion se révèle être un cas particulier présentant une densité de prélèvements particulièrement élevée.

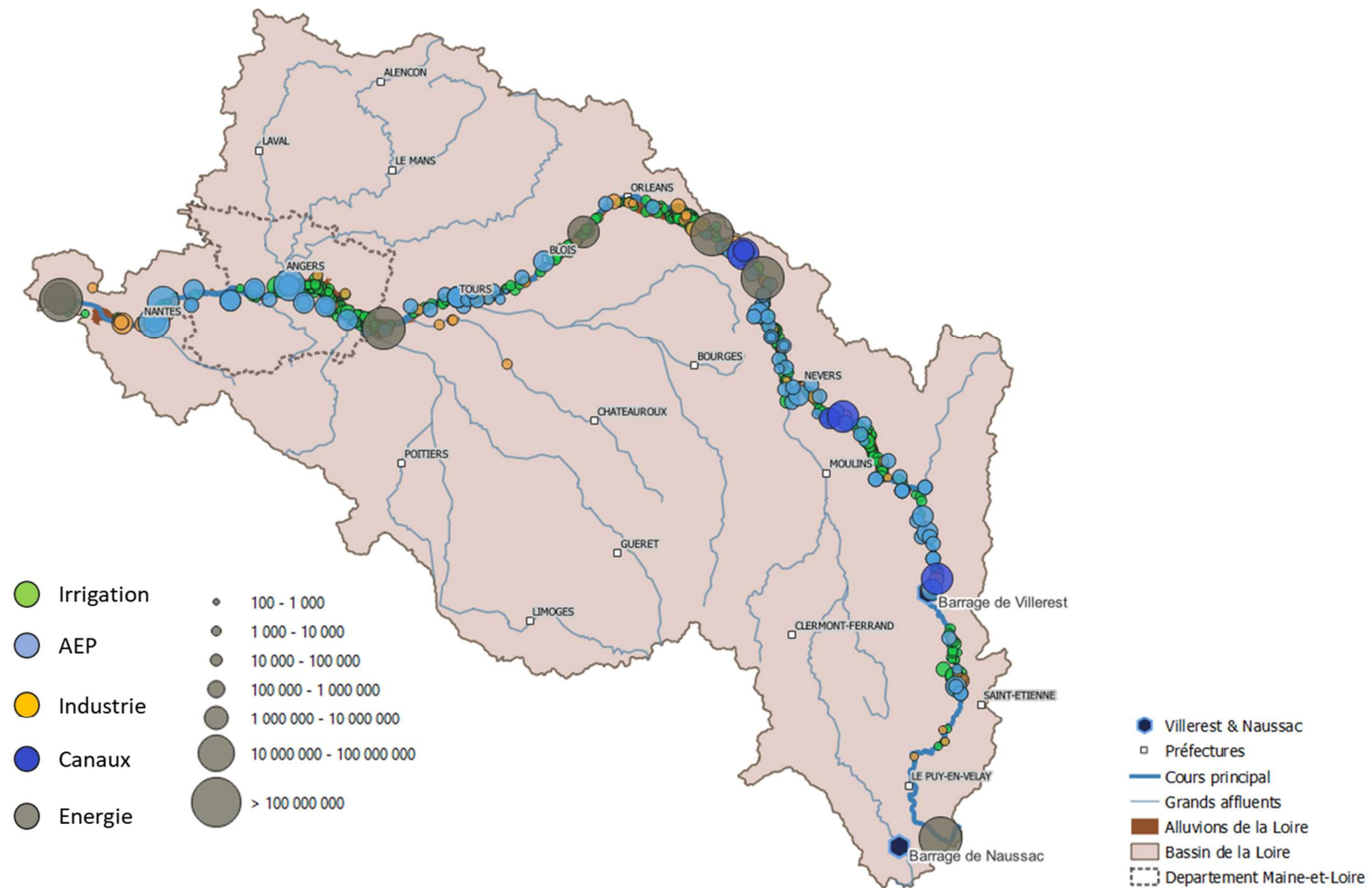


Figure 26 : Localisation et volume de prélèvement en Loire et ses alluvions, type d'usage (Source : AELB)

2.3.3 Les prélèvements en Loire sur le département de Loire-Atlantique

Sur la période 2000-2021, les prélèvements en eau dans le département de la Loire-Atlantique s'élèvent en moyenne à 1 083 Mm³ par an. Parmi ceux-ci, les prélèvements réalisés directement dans la Loire, y compris dans ses alluvions, représentent environ 15 % du total départemental.

La répartition des usages varie selon l'origine de la ressource. Les alluvions de la Loire sont principalement exploitées pour l'alimentation en eau potable, jouant un rôle clé dans l'approvisionnement des populations locales. En revanche, les prélèvements d'eau en surface directement dans la Loire sont majoritairement utilisés pour la production d'énergie, notamment pour le refroidissement des installations énergétiques, et dans une moindre mesure (mais un volume tout de même non négligeable) pour l'alimentation en eau potable.

Les figures suivantes illustrent les volumes prélevés et leur répartition entre le cours de la Loire et ses alluvions dans les départements du Maine-et-Loire (49) et de la Loire-Atlantique (44). On constate une utilisation plus intensive de l'eau pour l'irrigation des cultures dans le 49, tandis que les prélèvements destinés à l'alimentation en eau potable, effectués directement dans la Loire, sont nettement plus importants en 44.

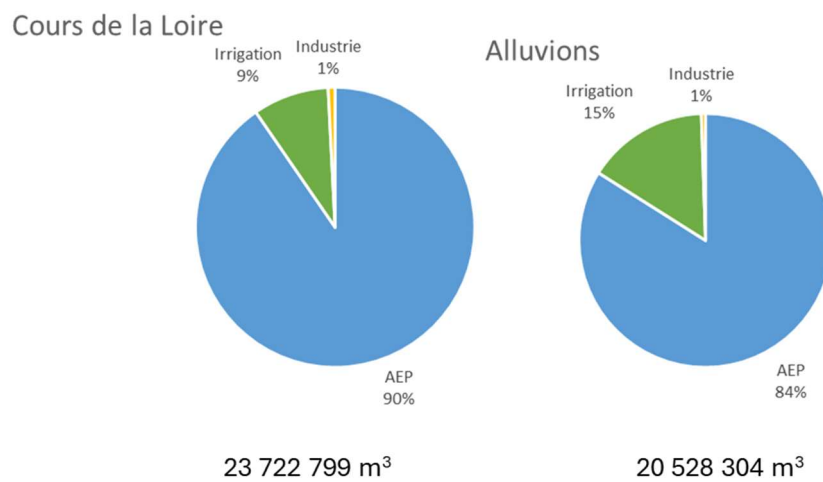


Figure 27 : Volumes prélevés en Loire et ses alluvions sur le département de Maine-et-Loire (Source : Suez Consulting)

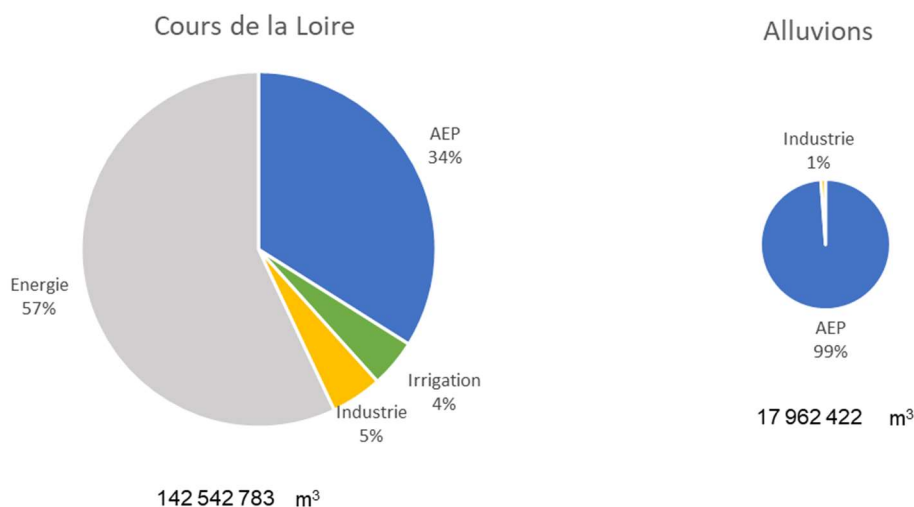


Figure 28 : Volumes prélevés en Loire et ses alluvions sur le département de Loire-Atlantique (Source : Suez Consulting)

2.3.4 Evolution des débits

À l'instar de la carte B, la cartographie à l'échelle de l'ensemble du bassin de la Loire valorise les résultats de l'étude Explore 2 (2.2.1.2). À cette échelle, les résultats montrent certaines disparités. En moyenne, concernant l'évolution du module, on observe une légère diminution des débits dans le sud du bassin, incluant la Loire et ses affluents, notamment en tête des grands bassins versants.

En revanche, lorsqu'on s'intéresse aux débits les plus faibles, cette diminution apparaît généralisée à l'ensemble du bassin. Les zones faisant l'objet des plus fortes diminutions sont celles dans lesquelles sont situées les retenues vouées à assurer le soutien d'étiage du fleuve.

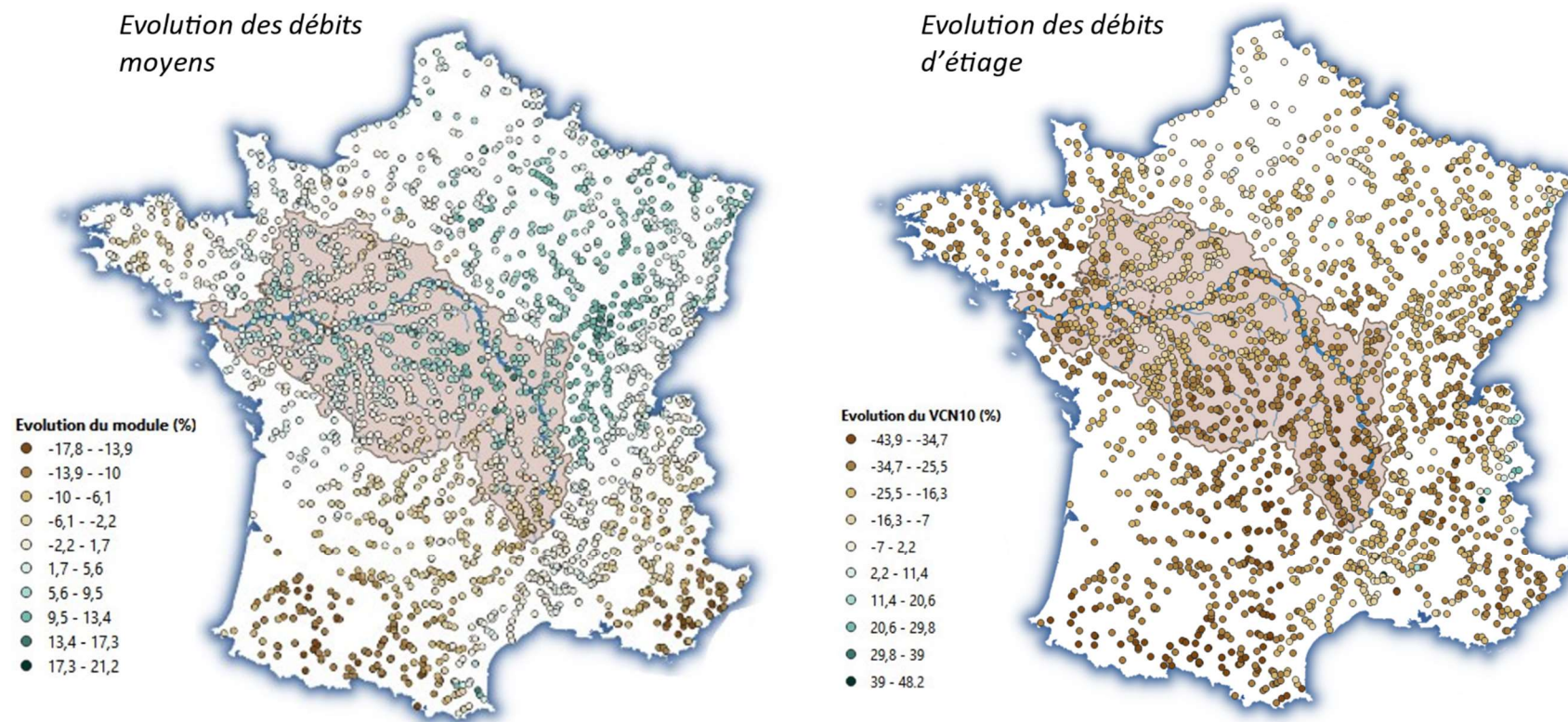


Figure 29 : Evolutions des débits moyens (gauche) et des faibles débits (droite) à l'horizon 2041-2070 (Source : Suez Consulting)

3 Annexes

3.1 Annexe 1 : Fiches hydrologie et usages à l'échelle des bassins versant

Les fichiers suivants, annexés au présent rapport permettent d'accéder aux fiches présentant les résultats des analyses sur l'hydrologie et les usages pour chaque bassins :

Tableau 17 : fiches de synthèses des analyses sur l'hydrologie et les usages de l'eau (Source : Suez Consulting)

Bassin	Fiche hydrologie	Fiche usages
Authion	H_Authion.pdf	U_Authion.pdf
Estuaire de la Loire	-	U_Estuaire.pdf
Evre Thou Saint-Denis	H_Evre.pdf	U_ETSD.pdf
Hors SAGE - Axe Loire	H_Montjean.pdf H_Saumur.pdf H_Ponts.pdf	U_AxeLoire.pdf
Hors SAGE - Romme/Brionneau/Maine	H_Maine.pdf	U_Romme.pdf
Hors SAGE - St Aubin/L'Avort	-	U_Aubin.pdf
Layon	H_Layon.pdf	U_Layon.pdf
Loir	H_Loir.pdf	U_Loir.pdf
Mayenne	H_Mayenne.pdf	U_Mayenne.pdf
Oudon	H_Oudon.pdf	U_Oudon.pdf
Sarthe aval	H_Sarthe.pdf	U_Sarthe.pdf
Sèvre Nantaise	-	U_Sevre.pdf
Thouet	H_Thouet.pdf	U_Thouet.pdf
Vilaine	H_Vilaine.pdf	U_Vilaine.pdf

3.2 Annexe 2 : Explore 2 et projections à l'échelle de la France hexagonale

Les chaînes de modélisations sont forcées par les 3 scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et d'aérosol RCP 2.6, 4.5 et 8.5. 17 chaînes de modélisations climatiques GCM-RCM sont utilisées sur la base des projections climatiques régionales (RCM) du programme international EURO-CORDEX. 2 modèles de correction de biais et 4 à 9 modèles hydrologiques sont également utilisés, ce qui aboutit à un ensemble de 648 projections disponibles.

Le projet Explore 2 porte également une attention accrue à la représentation des incertitudes. Les résultats des projections sont tributaires de différents types d'incertitudes qui se propagent et s'amplifient dans la chaîne de modélisation, et donc du choix des scénarios d'émission et des successions de modèle. Le futur des émissions de gaz à effet de serre ne sera vraisemblablement identique à aucun des scénarios RCP et les modèles sont tous des représentations simplifiées et imparfaites des systèmes physiques réels.

C'est pour représenter au mieux les incertitudes et les multiples futurs possible que le projet a choisi de valoriser une très grande gamme de modèles et de scénarios et qu'il recommande d'en présenter plusieurs selon l'approche narrative.

Les résultats d'Explore 2 sont fréquemment présentés pour 4 « narratifs », c'est-à-dire pour 4 déroulements futurs physiquement cohérents d'évènement, choisis contrastés pour représenter la diversité des situations possibles. L'approche ne cherche pas à sélectionner un futur plus probable face

aux nombreuses incertitudes, mais à préparer les acteurs de l'eau à la diversité des évolutions qui peuvent être considérées possibles aujourd'hui.

4 narratifs sont présentés avec Explore 2 :

- **Le narratif orange** : fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- **Le narratif jaune** : changements futurs relativement peu marqués
- **Le narratif violet** : fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations
- **Le narratif vert** : réchauffement marqué et augmentation des précipitations

3.2.1 Paramètres climatiques

Le rapport sur les changements moyens et les incertitudes associées d'Explore 2 affirme que s'il est une certitude, c'est que **la température de l'air en France va augmenter dans les prochaines décennies**, et l'intensité de la hausse va dépendre de la trajectoire en émission de gaz à effet de serre.

Le réchauffement sera plus important en été (changements moyens projetés de $[+3.5^{\circ}\text{C}, +6^{\circ}\text{C}]$ sur la France avec le RCP8.5) qu'en hiver ($[+2.5^{\circ}\text{C}, +4.5^{\circ}\text{C}]$ avec le même scénario). En été, le réchauffement sera plus important dans le sud de la France et en hiver, sur les massifs montagneux.

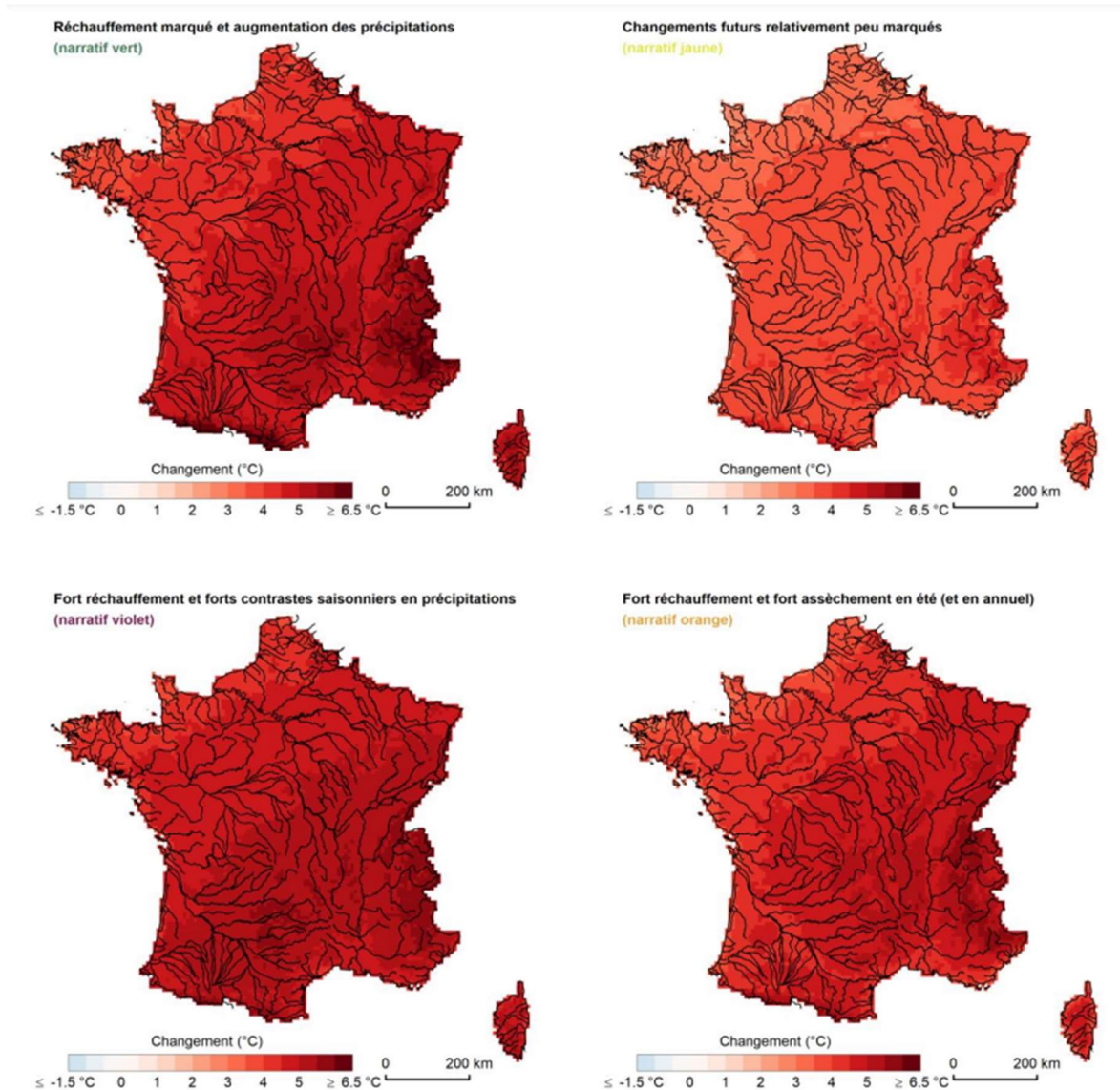


Figure 30 : Changements projetés pour la température moyenne annuelle pour 4 futurs contrastés (narratifs Explore 2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005)

La conséquence directe du réchauffement projeté est une hausse projetée de l'évapotranspiration en été et en hiver, relativement uniformes en intensité : augmentation moyenne de [+10%, +30%] sur la France avec le RCP8.5 et une diminution projetée des cumuls de neige de novembre à avril. Concernant les cumuls de précipitations annuelles, **les incertitudes portées par les scénarios sont importantes et le signe des changements projetés n'est pas certain.**

En revanche :

- la majorité des projections s'accorde sur une hausse de la pluviométrie en hiver pour les deux scénarios d'émissions (modéré : RCP 4.5 et fortes émissions : RCP 8.5),
- l'été se caractérise par une tendance à la diminution des précipitations à l'échelle de la France. Cette diminution est particulièrement prononcée dans le sud-ouest en fin de siècle pour les deux scénarios d'émissions.

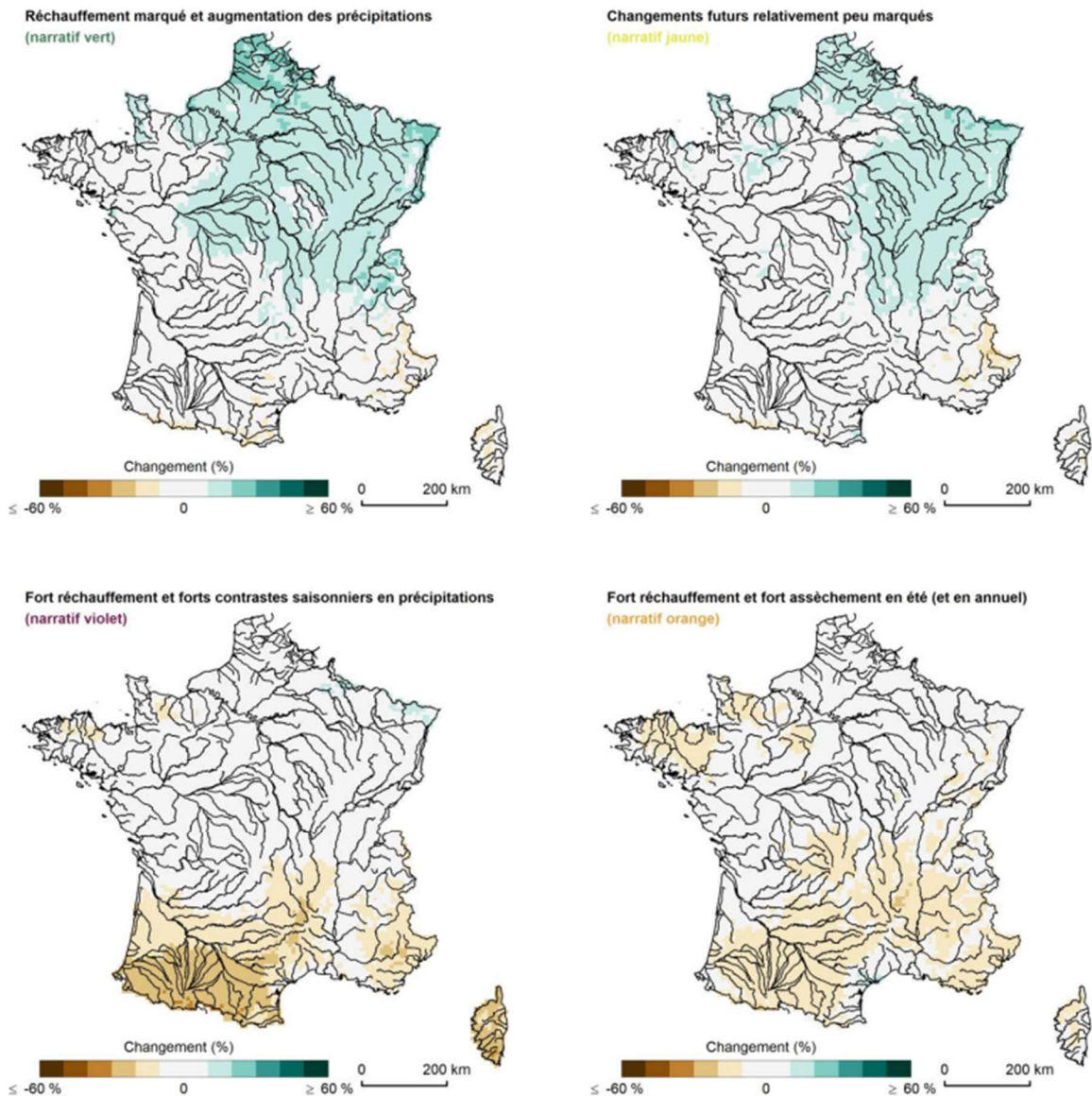


Figure 31 : Changements projetés pour les cumuls annuels de précipitation pour quatre futurs contrastés (narratifs d'Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005)

3.2.2 Paramètres hydrologiques

Les changements projetés sur le climat entraînent 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. La majorité des projections s'accorde sur une hausse des débits en hiver et sur une baisse des débits en été pour les deux scénarios d'émissions. Ces baisses découlent de la hausse de l'évapotranspiration de référence, de la diminution des précipitations estivales et de la diminution du manteau neigeux, selon les régions.

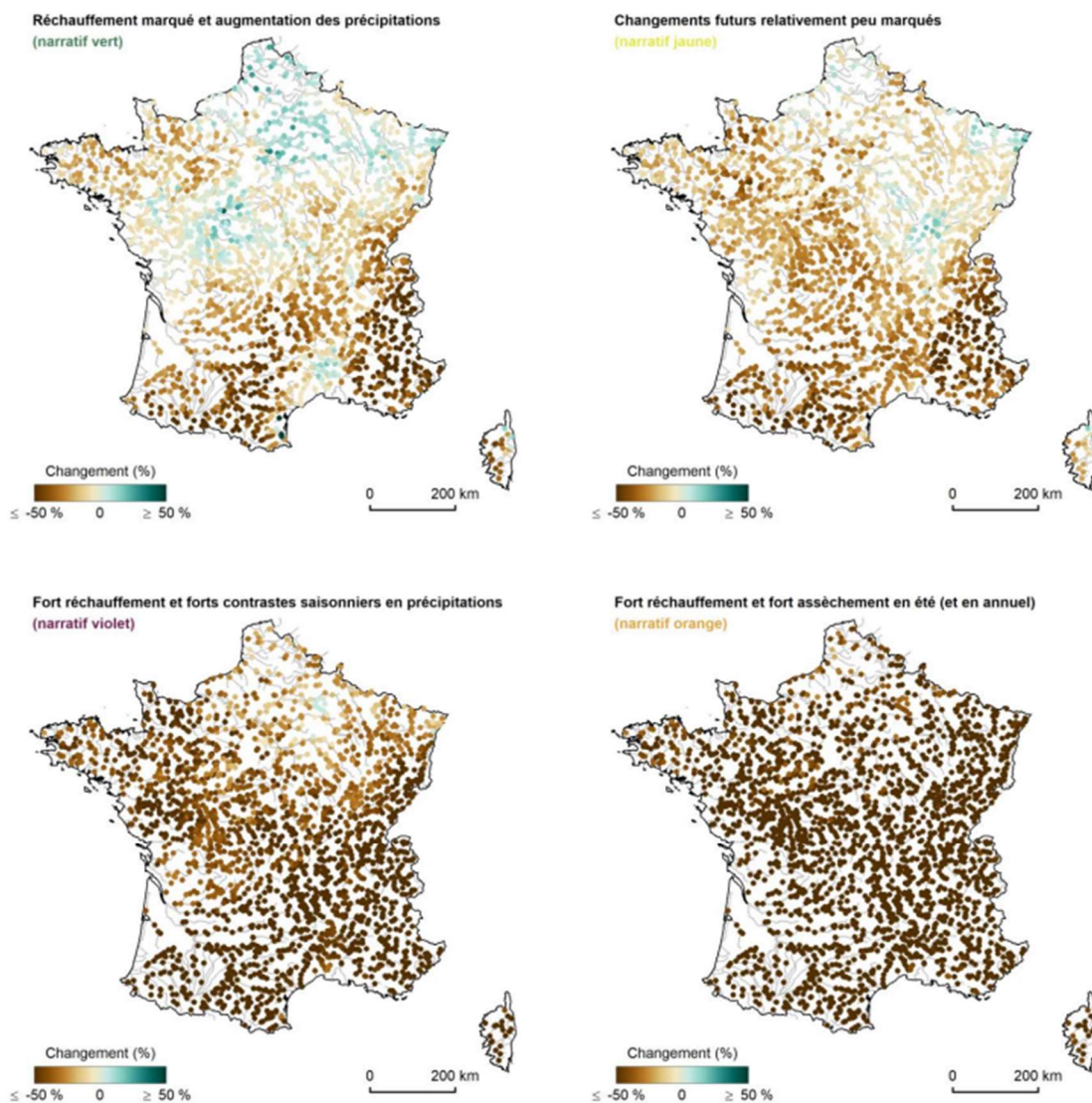


Figure 282 : Changements projetés pour le débit moyen estival pour quatre futurs contrastés (narratifs d'Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005) (médiane des modèles).

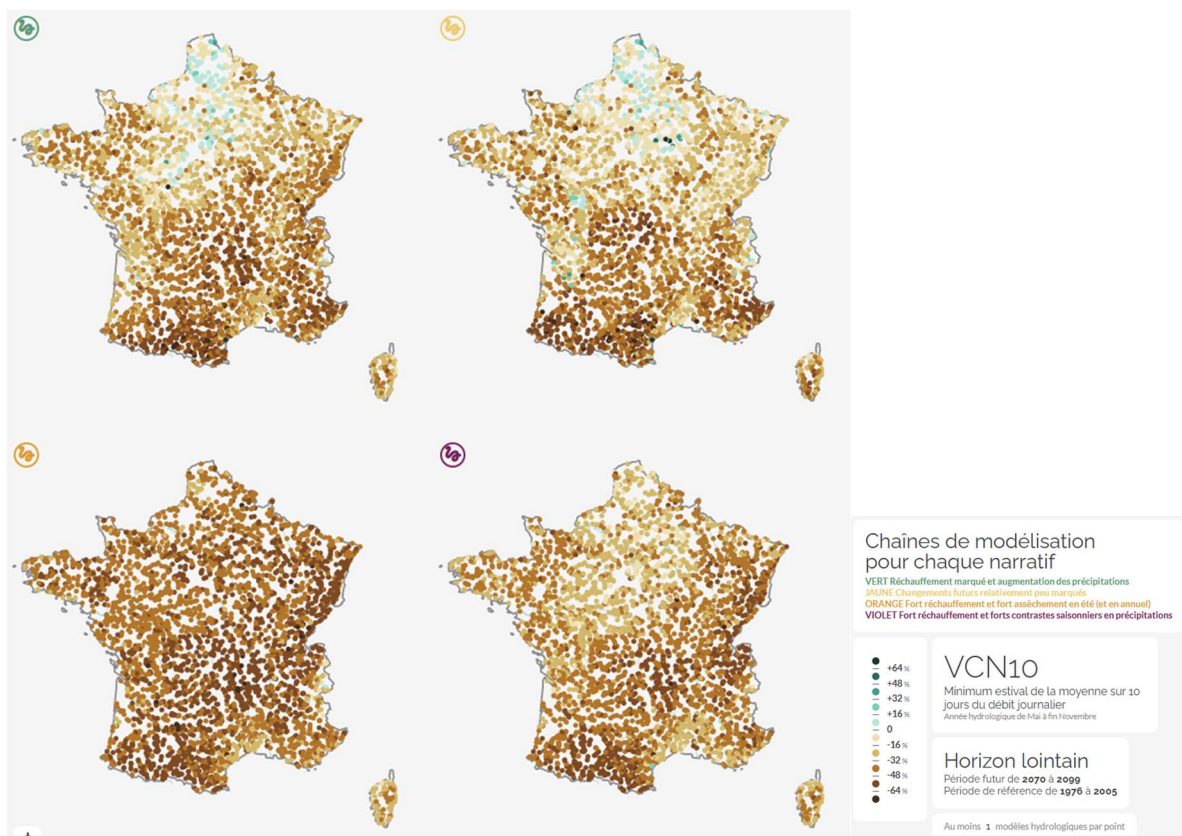


Figure 293 : Changements projetés pour le VCN10 pour quatre futurs contrastés (narratifs d'Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005) (estimation médiane tous modèles hydrologiques confondus). Résultats Explore 2 mise en forme sur le site Méandre (INRAE)

L'ensemble de projections du projet Explore 2 s'accorde sur une sévérité accrue des étiage l'été : tendance nette à la baisse du QMNA (débit minimum annuel) dans le sud de la France avec le scénario RCP8.5 et diminution marquée du VCN 10 (Minimum estival de la moyenne sur 10 jours du débit journalier) presque partout en France quel que soit le narratif. **La durée des basses eaux estivales devrait augmenter de manière généralisée en France**, avec une forte variabilité naturelle d'une année sur l'autre.

Enfin, les changements de régime hydrologique sont notables sous les deux scénarios d'émissions. **Pour les régimes pluviaux, les contrastes seront plus affirmés entre hautes et basses eaux (hiver et été)**. En moyenne montagne, les régimes nivo-pluvial (*se caractérise par deux pics de débit bien marqués : le plus prononcé au printemps, lié à la fonte des neiges ; le second en automne, lié aux précipitations*) évoluent vers des régimes à dominante pluviale. Après une phase d'apports estivaux accrus, due au retrait des glaciers (et donc à leur fonte), les bassins au régime glaciaire voient leurs débits estivaux (en particulier en août) fortement baisser.

3.2.3 Les aléas hydroclimatiques

Pour les deux scénarios d'émission et les deux horizons temporels, la fréquence et l'extension spatiale des sécheresses météorologiques estivales ont tendance à augmenter. Un signal plus fort est observé pour la sécheresse du sol (agronomique), que ce soit en termes de surface touchée ou d'intensité.

Les assecs quant à eux devraient progresser en tête de bassin versant. Ils seront plus précoces et plus longs. Les résultats des scénarios sur les crues sont peu robustes et soumis à de fortes incertitudes.