



L'avenir de la ressource en eau

face aux changements
climatiques dans

les Pays de la Loire



Sous la direction de :

Virginie Raisson-Victor, Présidente du GIEC des Pays de la Loire

Antoine Charlot, Directeur du Comité 21 et Secrétaire Général du GIEC des Pays de la Loire

Co-rapporteures :

Katia Chancibault et Claire Magand

Membres :

Béatrice Béchet, Jean-Louis Bertrand, Katia Chancibault, Emmanuelle Chevassus-Lozza, Francesca Cominelli, Jean-Raynald De Dreuzy, Mickaël Derangeon, Laurent Devisme, Sophie Eberhardt, Cyril Fleurant, Ghozlane Fleury-Bahi, Eric Gaume, Rosane Gauriau, Morgane Innocent, Florence Kermarec, François Langot, Nicolas Le Moine, Blanche Lormeteau, Claire Magand, Géraldine Molina, Virginie Raisson-Victor, Marc Robin, Yann Robiou-Dupont, Claude Rospars, Samira Rousselière, Franck Schoefs.

Avec la collaboration des équipes du Comité 21 Grand Ouest : Antoine Charlot, Laurine Couffignal et Justine André.

Direction artistique : Audrey Guizol (Empathie Design)

Cartographie : Denis Vanier (Le Plan Studio) figures 30, 31, 33.

Couverture : © Istock

Les auteurs sont responsables du contenu de cette publication. Elle ne reflète pas nécessairement l'opinion des collectivités partenaires. Dernière mise à jour : 30.01.2026.



L'avenir de la ressource en eau

face aux changements climatiques dans les Pays de la Loire

CRÉATION
EN 2020
à l'initiative
du Comité 21

Le GIEC des Pays de la Loire

Fournir et diffuser des connaissances scientifiques
sur les changements climatiques et leurs répercussions pour le territoire

CHIFFRES CLÉS

26
chercheurs

44
partenaires

+190
conférences

+20 500
personnes
sensibilisées

Au 31 décembre 2025



Évaluer
la vulnérabilité
du territoire
et des populations



Vulgariser et
approfondir
les connaissances
scientifiques
sur la contribution
des Pays de la Loire



Informier
les acteurs
du territoire
sur les
évolutions
du climat

LIVRABLES



Des rapports

2022-24

2 rapports globaux
qui dressent un état des lieux des impacts
des changements climatiques en région et
proposent des leviers d'action



2025-26

3 rapports spéciaux
(eau, population, économie)



Des conférences

de vulgarisation
des enjeux associés
aux changements
climatiques

ORGANISATION



26 chercheurs aux profils variés

- Jean-Louis BERTRAND (Co-rapporteur Economie) - ESSCA
- Béatrice BECHET - Université Gustave Eiffel
- Emmanuelle CHEVASSUS-LOZZA (Co-rapporteure Economie) INRAE
- Katia CHANCIBAULT (Co-rapporteure Eau) - Université Gustave Eiffel
- Francesca COMINELLI - Université Paris Panthéon Sorbonne
- Laurent DEVISME (Co-rapporteur Populations) Ecole d'Architecture de Nantes
- Mickaël DERANGEON - Nantes Université
- Jean-Raynald DE DREUZY - CNRS - Université de Rennes
- Sophie EBERHARDT - Ecole de Design Nantes Atlantique
- Cyril FLEURANT - Université d'Angers
- Ghozlane FLEURY-BAHI (Co-rapporteure Populations) Nantes Université
- Eric GAUME - Université Gustave Eiffel
- Rosane GAURIAU - Université d'Angers

- Morgane INNOCENT - Université de Bretagne Occidentale (Brest)
- Florence KERMAREC - Santé Publique France
- François LANGOT - Le Mans Université
- Nicolas LE MOINE - Institut Agro Rennes - Angers
- Blanche LORMETEAU - CNRS - Université de Rennes
- Claire MAGAND (Co-rapporteure Eau) Office Français de la Biodiversité
- Géraldine MOLINA - CNRS - Nantes Université
- Virginie RAISSEON-VICTOR
- Marc ROBIN - Nantes Université
- Yann ROBIOU-DUPONT - Université d'Utrecht
- Claude ROSPARS - Université Gustave Eiffel
- Samira ROUSSELIERE - Nantes Université
- Franck SCHOEFS - Nantes Université

Présidence

Virginie RAISSEON-VICTOR

Vice-présidence

Jean-Louis BERTRAND
Samira ROUSSELIERE

Secrétariat Général

Antoine CHARLOT



Dialogue Science et Société

lors de groupes de travail multi-acteurs.



Partenaires

44 partenaires qui nous soutiennent.
(Cf. page 84)



Coordination technique

Laurine COUFFIGNAL et Justine ANDRÉ

THÉMATIQUES



Quelle disponibilité
de la ressource
en eau ?



Quels impacts
sur les
populations ?



Quelles
conséquences
pour l'économie
régionale ?

Édito

À l'importance et à l'abondance de l'eau sur le territoire ligérien, le dérèglement climatique et la hausse de la consommation viennent opposer des limites.



L'eau n'est pas une ressource comme les autres. Indispensable à la vie, elle l'est aussi aux activités humaines et au développement des territoires. En Pays de la Loire, elle façonne les vallées, nourrit les sols, accompagne les usages quotidiens et soutient les écosystèmes. Or voilà qu'à l'importance et à l'abondance de l'eau sur le territoire ligérien, le dérèglement climatique et la hausse de la consommation viennent opposer des limites.

Parmi les constats rassemblés dans ce rapport, on note ainsi que les eaux de surface ne bénéficient pas toujours d'un soutien souterrain suffisant en raison de la géologie régionale ; que les étiages sont déjà très sévères ; que les usages s'intensifient ; que les écosystèmes sont fragilisés. La dépendance de la région à une ressource issue de bassins situés en amont, et qui diminue, la faible capacité des nappes du socle armoricain et la vulnérabilité des nappes littorales aux intrusions salines y accentuent la fragilité hydrique et les tensions qu'elle entraîne. **Finalement, on retient que près de 90 % des masses d'eau superficielles subissent une pression significative et que seules 11 % atteignent le bon état écologique.**

Or, ce que les études montrent aussi, c'est que cette fragilité régionale est appelée à s'accentuer. **À l'horizon 2050, la modification du régime des précipitations, l'augmentation de l'évapotranspiration et la hausse généralisée des températures pourraient en effet venir fortement renforcer les tensions sur la ressource.**

Elles menacent d'y accentuer alors la baisse des débits en particulier l'été ; de renforcer la fréquence des assecs ; d'amplifier les inondations et, avec elles, la vulnérabilité des territoires ; ou encore, de réduire la disponibilité en eau pendant l'été, au moment où les besoins agricoles, résidentiels, touristiques et industriels atteindront leur maximum ●

**Virginie Raisson-Victor, présidente
Antoine Charlot, secrétaire général
Claire Magand & Katia Chancibault, co-rapporteures**



Partie 01



Partie 02

Sommaire

ÉDITO INTRODUCTION

PARTIE 1. LES PAYS DE LA LOIRE, UN TERRITOIRE FAÇONNÉ PAR L'EAU

- 1. Une région au fil de l'eau
 - *Encadré : Grand cycle et petit cycle, une influence réciproque*
- 2. Les déterminants de la ressource en eau en Pays de la Loire
- 3. Des usages de l'eau contrastés en région et à l'amont
- 3. Des milieux et des écosystèmes riches en région mais particulièrement menacés
 - *Encadré : La gouvernance de l'eau en Pays de la Loire*

PARTIE 2. UN DÉSÉQUILIBRE ENTRE PRESSIONS ET RESSOURCES QUI VA S'ACCROÎTRE FORTEMENT

- 1. Ressources en eau : évolutions passées et futures
 - Des ressources en eau en baisse ?
 - Des projections qui font état d'un risque grandissant des épisodes de sécheresse ?
- 2. Des usages qui tendent à accroître les pressions sur l'eau
 - Une augmentation observée des prélèvements sous l'effet combiné des pratiques, de la démographie et du climat
 - Des projections simulant une forte augmentation des consommations en eau sous l'effet des changements climatiques

| | | |
|----|---|-----------|
| 8 | 3. Confrontation ressources usages : | 47 |
| 12 | quels impacts sur la qualité de l'eau et les milieux | |
| 16 | - Des répercussions importantes sur la qualité de l'eau | 55 |
| 17 | - Des usages à concilier avec les besoins des milieux | 57 |
| 18 | - Face à une baisse de la disponibilité, et à des besoins accrus, des risques croissants de tension | 58 |
| 21 | 4. Quelles mesures d'adaptation ? | 50 |
| 26 | - <i>Encadré : Vendée, Loire-Atlantique... des zones déjà hautement fragiles</i> | 65 |
| 26 | CONCLUSION | 64 |
| 34 | GLOSSAIRE | 65 |
| 31 | ENCADRÉ MÉTHODOLOGIQUE | 66 |
| 32 | DEGRÉS D'INCERTITUDE ET NIVEAUX DE CONFIANCE | 71 |
| 40 | SOURCES DES FIGURES | 72 |
| 49 | NOTES BIBLIOGRAPHIQUES | 73 |
| 50 | | |



Introduction

L'eau est omniprésente en Pays de la Loire et constitue une ressource et un milieu particulièrement structurant, tant au regard des écosystèmes que des activités économiques, sociales et culturelles.

Portée par un climat océanique, la région reçoit une quantité moyenne de précipitations dont la saisonnalité est davantage marquée à l'est de la région.

Si les eaux de surface sont très présentes en Pays de la Loire, la structure hydrogéologique du territoire est quant à elle plus contrastée du fait de la présence de trois domaines géologiques distincts : le Massif Armoricain, le bassin Parisien et le bassin Aquitain¹. Cette diversité est à l'origine de fortes disparités de disponibilité au printemps et en été. Le massif Armoricain, qui couvre la majeure partie de la région (Vendée, Loire-Atlantique, Maine-et-Loire et Mayenne), est caractérisé par des nappes phréatiques peu connectées régionalement, induisant des niveaux d'étiage² particulièrement bas, avec des assecs fréquents pour un certain nombre de cours d'eau. A l'inverse, les formations du bassin Parisien, qui constituent la majeure partie du territoire de la Sarthe et une partie de celui du Maine-et-Loire, ainsi que les formations du bassin Aquitain, qui s'étendent sur une partie de la Vendée, sont principalement constituées de roches sédimentaires poreuses (calcaires sables) qui offrent une plus grande capacité de stockage des eaux souterraines.

La région des Pays de la Loire est l'une des plus concernées par les enjeux quantitatifs du bassin Loire-Bretagne³ du fait d'importants prélèvements en eau superficielle, combinés à une ressource peu abondante. Les usages agricoles et touristiques, dont les prélèvements ont principalement lieu pendant la



© Région des Pays de la Loire / PB. Fourny

Ce sont seulement 11,3% des masses d'eau du territoire qui sont classées en « bon état écologique », et 86% des masses d'eau superficielles et souterraines qui risquent de ne pas répondre aux critères définissant ce bon état écologique de la ressource en eau d'ici 2027.

saison estivale, viennent s'ajouter aux autres usages notamment à ceux de l'alimentation en eau potable, dans une région déjà densément peuplée et en proie à un déficit hydrique déjà important à cette période de l'année. Plus précisément, on constate un déséquilibre entre les disponibilités en eau et les besoins importants dans les départements de la Loire-Atlantique, de la Vendée et du Maine-et-Loire. Ces déficits se traduisent par la mise en œuvre régulière de mesures de gestion de crise en lien avec les sécheresses, visant à garantir les usages en eau prioritaires, dont l'alimentation en eau potable. Ces mesures peuvent ainsi se traduire par des restrictions voire des interdictions de prélèvements.

Ces insuffisances quantitatives impactent par ailleurs la qualité de l'eau en région, déjà médiocre⁴. En effet, ce sont près de 90% des masses d'eau superficielles des Pays de la Loire qui subissent une pression significative, caractérisée par des prélèvements importants, par des pollutions diffuses et ponctuelles (aux micropolluants par exemple), ou encore par des pressions hydromorphologiques (processus physiques régissant l'évolution du lit des cours d'eau)⁵ résultant de l'aménagement des cours d'eau (seuils, barrages) ou d'usages conduisant à l'érosion des sols. Ainsi, ce sont seulement 11,3% des masses d'eau du territoire qui sont classées en « bon état écologique »⁶, et 86% des masses d'eau superficielles et souterraines qui risquent de ne pas répondre aux critères définissant ce bon état écologique de la ressource en eau d'ici 2027⁷.

Si cette situation est déjà préoccupante, elle risque de s'aggraver sous l'effet des changements climatiques. Les évolutions hydro-climatiques projetées à l'échelle régionale prévoient, à l'horizon 2070, une modification du régime des précipitations, mais surtout une hausse des températures et de l'évapotranspiration conduisant à des sécheresses plus fréquentes et prononcées, à une baisse des débits des étiages et à une hausse de la température moyenne de l'eau⁸. A la fin du siècle, les débits annuels d'étiage pourraient avoir baissé de 30 % à 45 %⁹. Dans un scenario RCP8.5¹⁰, à Saint-Nazaire par exemple, les eaux de surface de la Loire pourraient connaître une baisse de débits de l'ordre de 8% d'ici la fin du siècle¹¹. Dans le même temps, les projections indiquent que les besoins en eau, en particulier pour l'irrigation des cultures, vont être amenés à croître significativement dans les années à venir sous l'effet du réchauffement des températures, même dans le cas d'une transition radicale vers des modèles de production agroécologiques¹².

A travers ce rapport, il s'agira de décrypter les enjeux régionaux associés à l'eau. Ressource en apparence abondante, les réalités territoriales de la région des Pays de la Loire traduisent une fragilité structurelle, et amplifiée sous l'effet de l'action humaine. Si les déficits hydriques sont d'ores et déjà constatés à certaines périodes de l'année, particulièrement en période estivale, la région devra faire face à une sévérité plus poussée de ses étiages, questionnant de fait les usages anthropiques. Face aux risques croissants de tension sur l'eau, ce présent rapport propose une mise en lumière des enjeux ●



Les Pays
de la Loire,
un territoire
façonné
par l'eau

Partie 01

© Région Pays de la Loire /

Les enjeux de l'eau ne peuvent être compris indépendamment des territoires qui la façonnent — et qu'elle façonne en retour.

Pour appréhender les déséquilibres hydriques actuels et anticiper ceux qui pourraient s'accentuer demain, trois dimensions doivent être articulées : le cycle de l'eau, qui structure les échanges entre atmosphère, surfaces et sous-sols ; les caractéristiques physiques et naturelles des territoires, qui modulent les capacités locales de recharge, de stockage et de régulation ; et enfin les cadres de gestion et de gouvernance, qui conditionnent les modalités d'usage, de planification et d'adaptation.

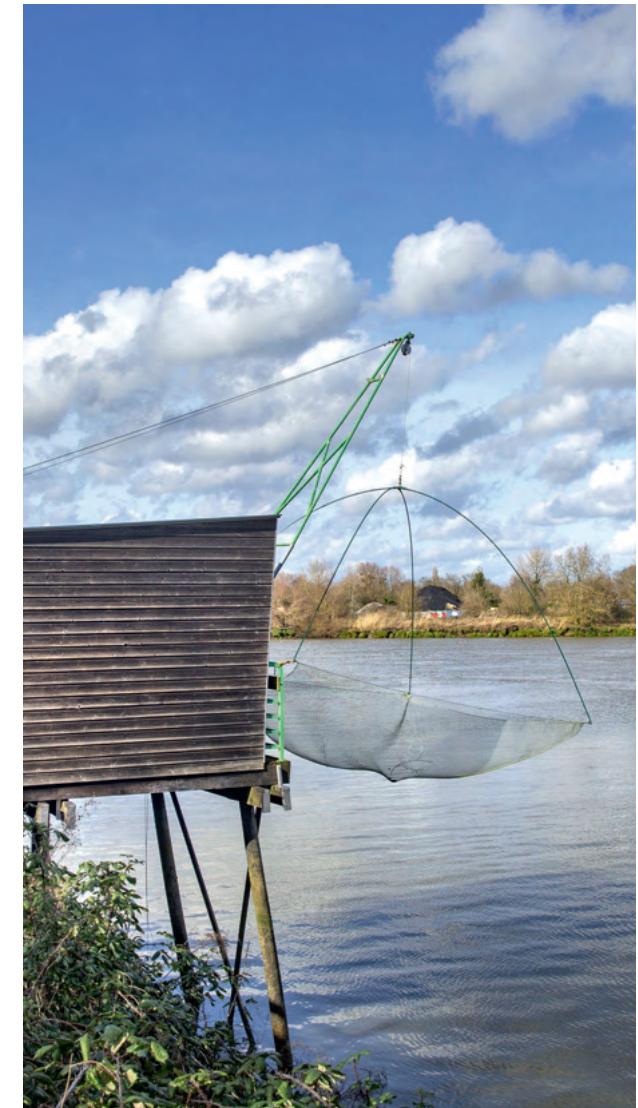
01. Une région au fil de l'eau



La région des Pays de la Loire se distingue par l'abondance et la diversité de ses milieux aquatiques.

Elle est traversée par un linéaire de plus de 30 000 kilomètres de cours d'eau, dont la Loire constitue l'axe structurant¹³. Le littoral ligérien, long de 400 kilomètres¹⁴ — soit plus de 10 % du linéaire côtier national — représente l'exutoire naturel de nombreux bassins versants. Cette façade maritime constitue une interface essentielle entre les compartiments continentaux et marins du cycle de l'eau. On y trouve des estuaires, des marais, des zones humides et des bassins côtiers.

A son entrée en région des Pays de la Loire à Montsoreau¹⁵, juste après la confluence avec la Vienne, la Loire draine un bassin versant d'environ 81 000 km² pour un débit moyen (module) d'environ 670 m/s. A Montjean-sur-Loire, dernière station de mesure du débit où l'influence de la marée ne soit pas trop importante¹⁶, ce débit moyen se situe autour de 840 m/s pour un bassin versant d'environ 110 000 km² : l'augmentation de débit entre ces deux sites n'est donc que de 25 %, pour une augmentation de 36 % de la surface drainée. Ces premiers chiffres rappellent un fait d'importance majeure : si le fleuve est bien "l'artère vitale" de la région des Pays de la Loire, ses eaux sont une ressource largement allochtone¹⁷, c'est-à-dire provenant d'autres territoires que la région, très dépendante du climat et des usages sur l'amont du bassin, et les "châteaux d'eau" de la région se situent davantage dans les reliefs du Massif Central que sur son propre territoire.



© Région des Pays de la Loire / PB. Fourny

Figure 1. Carte du bassin versant de la Loire à son embouchure à Saint-Nazaire (117 000 km²), incluant le sous-bassin du fleuve à son entrée dans la région des Pays de la Loire à Montsoreau (81 000 km²).



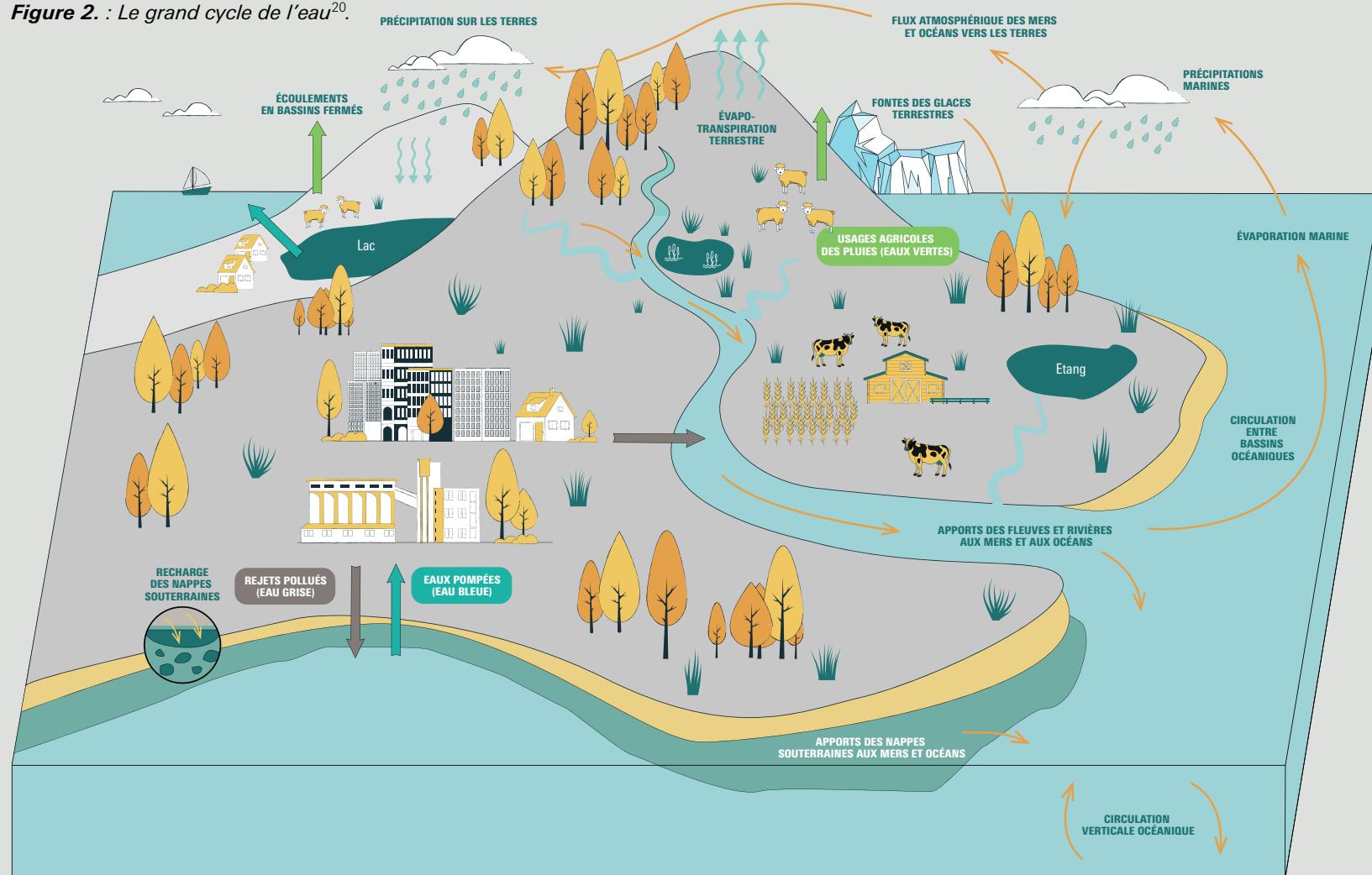
© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 2025 - Source : IGN (2018)

La région des Pays de la Loire est traversée par un linéaire de plus de 30 000 kilomètres de cours d'eau, dont la Loire constitue l'axe structurant.

Pour autant, les cours d'eau qui constituent les apports entre Montsoreau et l'embouchure de la Loire à Saint-Nazaire¹⁸, où la surface drainée est d'un peu plus de 117 000 km²¹⁹, sont une ressource essentielle pour les cinq départements de la région des Pays de la Loire. Ce bassin versant intermédiaire d'une superficie de 36 000 km², sans se superposer rigoureusement aux 32 000 km² de la région, lui est néanmoins étroitement lié et présente une grande variété de fonctionnements hydrologiques et d'usages. Cette partie vise à présenter, dans les grandes lignes, les déterminants de ces hétérogénéités, avant d'envisager les évolutions passées et futures.

Grand cycle et petit cycle : une influence réciproque

Figure 2. : Le grand cycle de l'eau²⁰.



Les scientifiques séparent le volume total d'eau que nous utilisons (env. 24 milliers de kilomètres cube par an) en :

eau bleue
(eau pompée puis consommée par l'agriculture à 70%, par l'industrie ou pour les usages domestiques) ;

eau verte
(humidité du sol utilisée par l'agriculture et les pâtures, elle sert à la constitution ou à l'évapotranspiration des plantes) ;

eau grise
(correspond au volume nécessaire pour diluer les pollutions d'origine humaine).

Crédits : B. W. Abbott et al., D. Conner / Courtesy of Springer Nature / <https://bit.ly/cycle-eau-2019>

Les représentations traditionnelles du cycle de l'eau, encore largement présentes dans les documents de planification, décrivent un système clos, régi par des mécanismes physiques tels que l'évaporation, la condensation, les précipitations ou l'infiltration.

Cette vision repose sur l'idée d'un fonctionnement naturel, stable et autonome, dans lequel l'eau circulerait selon des lois immuables, indépendamment des sociétés humaines. Or, cette représentation est désormais en profond décalage avec la réalité²¹.

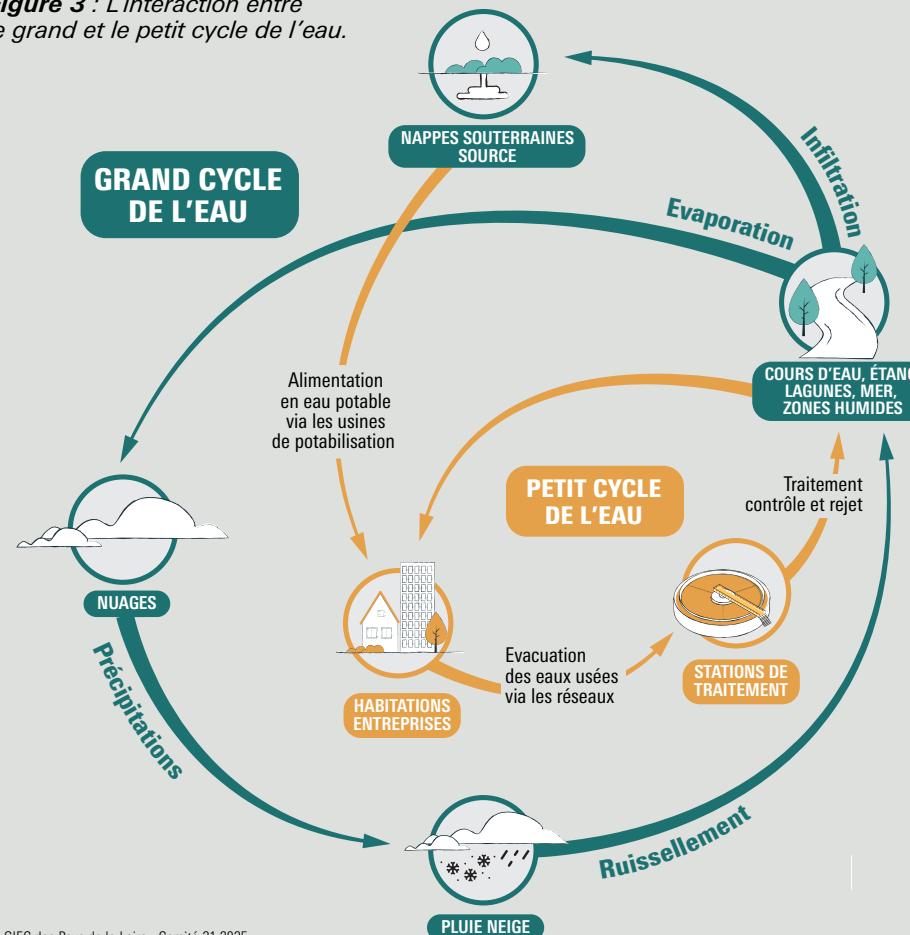
Le cycle de l'eau tel qu'il s'exerce aujourd'hui ne peut plus être pensé comme un processus purement naturel. Les activités humaines y interviennent de manière massive, permanente et structurante, au point d'en redéfinir les principales dynamiques. En ce sens, l'interaction entre le grand cycle et le petit cycle de l'eau est forte, se caractérisant par une influence réciproque.

Dans les Pays de la Loire, ces transformations sont particulièrement visibles. Les prélèvements estivaux intensifs, la multiplication des petits ouvrages, la régulation des débits sur la Loire, la pollution diffuse dans certains bassins, ou encore la pression sur les nappes profondes affectent le fonctionnement hydrologique régional^{22,23}. À cela s'ajoutent les effets des changements climatiques, qui exacerbent les déséquilibres : modification des régimes de précipitations, augmentation de l'évapotranspiration, fréquence et durée accrue des sécheresses. Ces pressions ne s'annulent pas : elles se cumulent, fragilisant les équilibres hydrologiques et rendant la disponibilité en eau plus instable, plus incertaine et plus vulnérable. La capacité à assurer le petit cycle de l'eau, sur certains territoires, se trouve ainsi fragilisée et invite à le questionner afin de faire face aux aléas et défis croissants. Ainsi, par exemple, en 2022, le très faible débit de la Loire a favorisé la remontée du « bouchon vaseux », faisant peser un risque majeur sur l'approvisionnement en eau potable d'une partie du territoire et invitant à réfléchir à des solutions alternatives dans une logique de solidarité territoriale.

Dans ce contexte, il devient indispensable de renouveler en profondeur nos représentations du cycle de l'eau. Celles-ci doivent intégrer pleinement l'empreinte humaine afin de permettre une gouvernance adaptée aux conditions contemporaines, fondée sur la sobriété des usages, la résilience des systèmes et la justice dans l'accès à l'eau.

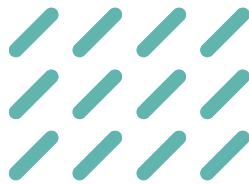
Le petit cycle de l'eau au service du grand cycle de l'eau

Figure 3 : L'interaction entre le grand et le petit cycle de l'eau.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 2025

02. Les déterminants de la ressource en eau en Pays de la Loire



L'hydrologie des cours d'eau de la région des Pays de la Loire présente une diversité de facteurs de contrôle au premier rang desquels se place la géologie. Territoire de contrastes, la région se situe au carrefour de plusieurs grands ensembles identifiables dans un large quart nord-ouest de la France :

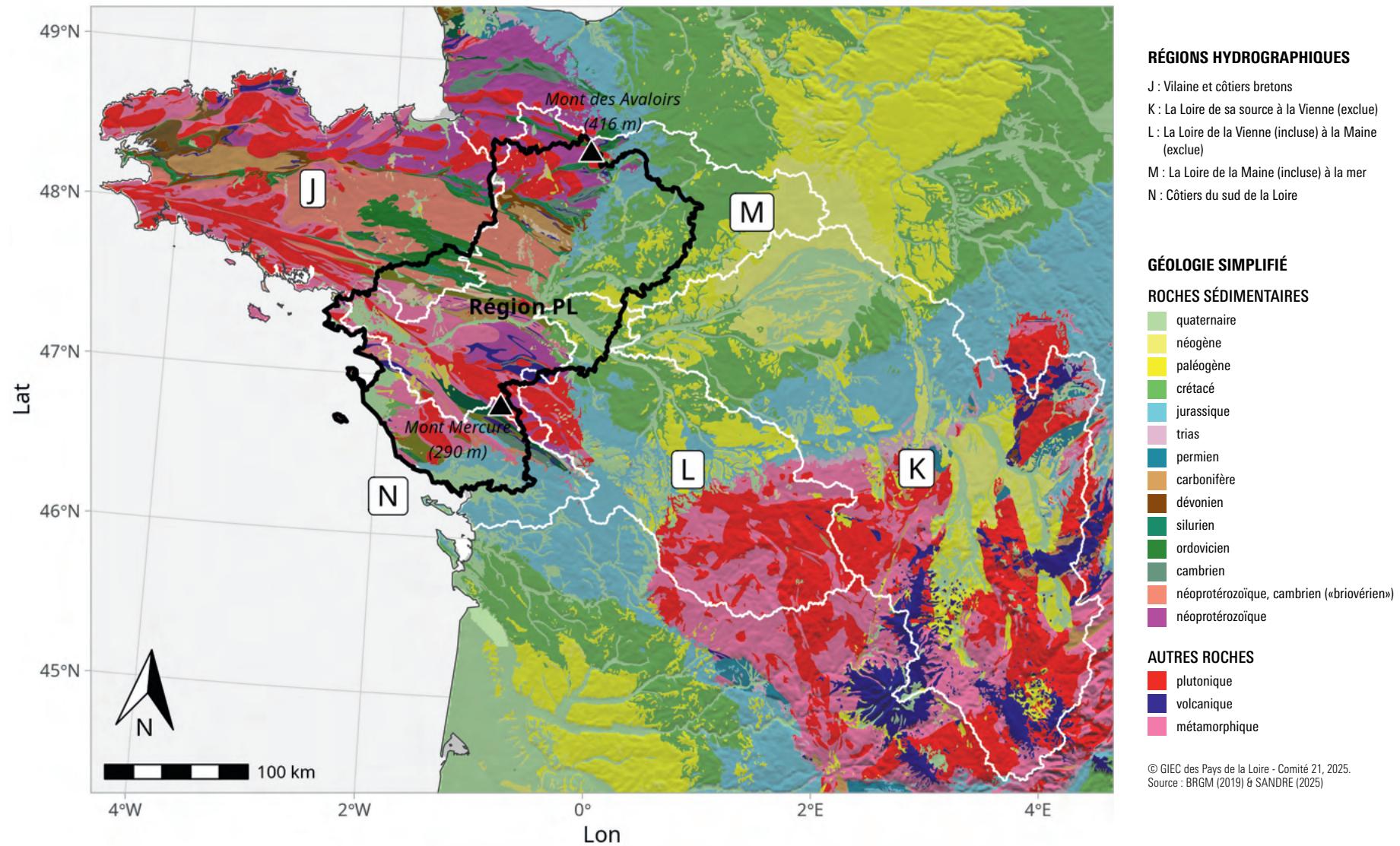
- Les formations de socle du **Massif Armorican** constituent une majeure partie du territoire régional, principalement en Mayenne, Loire-Atlantique et Vendée. Peu perméables, elles limitent la capacité de stockage souterrain : les nappes y sont souvent discontinues, peu profondes, et assez sensibles aux sécheresses ;
- La Sarthe et la partie orientale du Maine-et-Loire se situent sur des formations sédimentaires secondaires et tertiaires du **Bassin Parisien**, alimentant le débit de base de nombreux cours d'eau : des aquifères régionaux importants se développent ainsi dans les calcaires du Jurassique (notamment dans les régions du Perche et du Saosnois), dans les sables et grès du Crétacé (Cénomanien, Turonien), ou les calcaires tertiaires de Beauce situés dans la partie amont du bassin versant du Loir hors région ;
- Le sud de la Vendée (marais poitevin) se situe déjà sur des formations jurassiques d'un autre grand bassin sédimentaire, **le Bassin Aquitain** ;
- Enfin, même si la région des Pays de la Loire ne s'étend pas jusqu'aux formations cristallines du **Massif Central**, ces terrains peu perméables forment une partie importante des bassins versants de la Loire amont, de l'Allier et de la Vienne.

En partie corrélés à ces contrastes géologiques, les contrastes pluviométriques sont le second déterminant de la diversité de fonctionnements hydrologiques rencontrés dans la région des Pays de la Loire. La région se situant principalement dans une zone d'influence océanique, la variabilité spatiale des précipitations y est contrôlée au premier ordre par des effets orographiques, c'est-à-dire des modifications subies par les masses d'air en raison d'obstacles topographiques.

Même s'ils sont d'altitude modeste, les reliefs saillants du Massif Armorican constituent des zones relativement plus arrosées. C'est par exemple le cas des régions bocagères à la limite entre les départements de la Manche, de l'Orne et de la Mayenne au nord, autour du massif du Mont des Avaloirs (point culminant du Massif Armorican à 416 m, en Mayenne) et plus encore dans les collines du Mortainais dans le département de la Manche, **à l'extrême nord-ouest du bassin versant de la Mayenne : la pluviométrie peut y atteindre 1200 mm par an comme sur les reliefs du Finistère**. Au sud, quoique de façon moins marquée, les mêmes effets orographiques provoquent un léger excédent de précipitations sur les versants au vent des reliefs du Haut-Bocage vendéen (pluie annuelle d'environ 900 à 1000 mm/an)²⁴, tandis que le versant sous le vent (nord du département des Deux-Sèvres et sud du Maine-et-Loire) est au contraire soumis à un effet de foehn (assèchement relatif des masses d'air à l'aval des obstacles), la pluviométrie annuelle ne dépassant pas 700 mm, comme dans le bassin rennais.

Ainsi, la région des Pays de la Loire reste un territoire à la pluviométrie modeste : **les valeurs maximales**

Figure 4 : Carte géologique du bassin Loire-Bretagne.



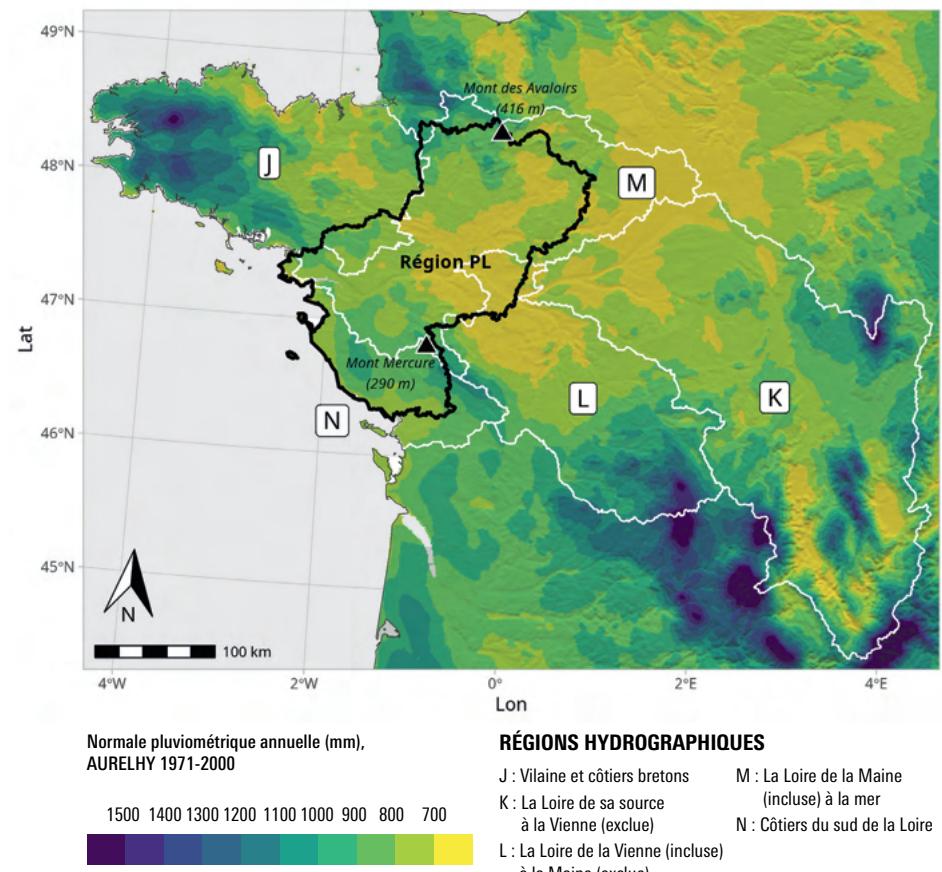
L'analyse de la géologie des Pays de la Loire permet d'identifier quatre grands ensembles : au nord-ouest, les formations de socle du Massif Armorican ; au nord-est et au sud-ouest (tons bleus, jaunes, et verts), les formations sédimentaires du Bassin Parisien et du Bassin Aquitain respectivement ; enfin, au sud-est, les formations de socle et volcaniques du Massif Central.

de cumuls annuels mentionnés sont bien faibles en comparaison de celles observées sur l'amont des bassins versants de la Loire, de l'Allier ou de la Vienne dans le Massif Central, où elles peuvent atteindre 1500 à 2000 mm/an²⁵.

Autre déterminant climatique des régimes hydrologiques, l'évapotranspiration potentielle (ETP)²⁶ varie à l'échelle de la région des Pays de la Loire entre 700 mm/an au nord du département de la Mayenne, et presque 900 mm/an tout au sud de la Vendée²⁷. Ce contraste, essentiellement structuré par les variations de rayonnement solaire selon la latitude, ne se superpose donc pas exactement aux contrastes pluviométriques. Le bocage mayennais par exemple, connaît une pluviométrie relativement élevée et une évapotranspiration potentielle assez faible. Il s'oppose ainsi au bocage vendéen également assez arrosé, mais soumis à des niveaux d'évapotranspiration sensiblement plus élevés, en particulier sur la période estivale. Le croisement des hétérogénéités géologiques et climatiques permet finalement une première compréhension – dans les grandes lignes et sans pour l'instant y inclure les usages – de la variabilité des régimes hydrologiques en région des Pays de la Loire. Cinq régimes-type émergent de ces facteurs de contrôle :

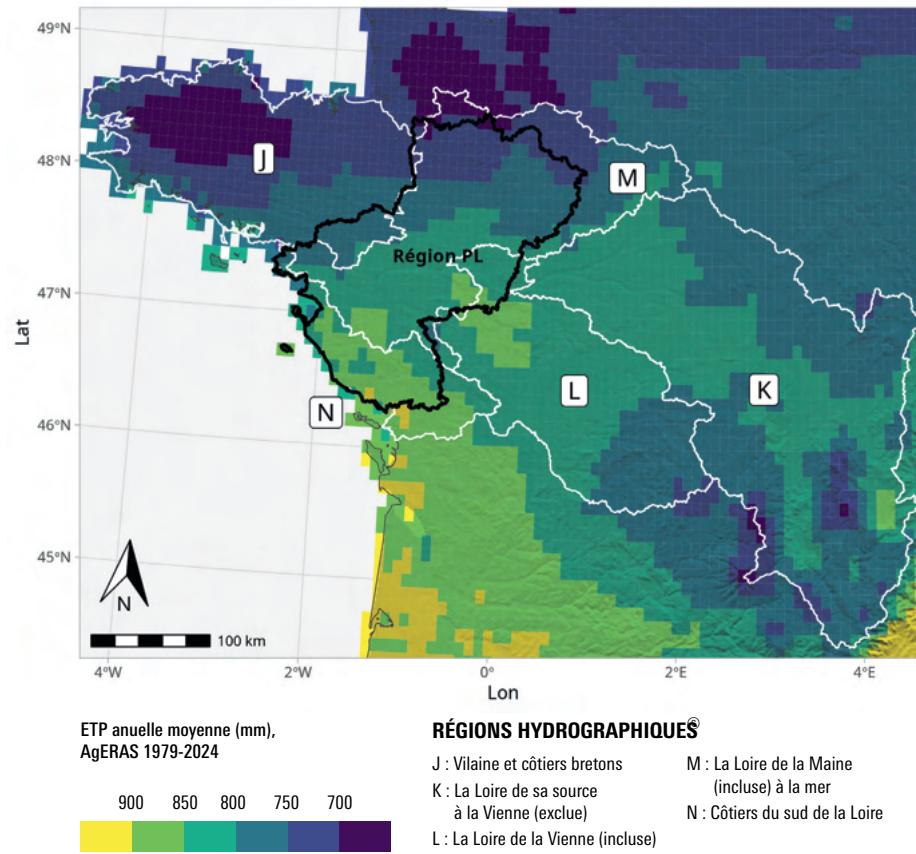
- **Un type "mayennais"**, à débit moyen (module) élevé²⁸ et étiages modérément soutenus, à l'image de la Mayenne amont à la station de Saint-Fraimbault-de-Prières ;
- **Un type "vendéen"**, à module également élevé (du fait de précipitations assez abondantes) mais qui connaît des étiages beaucoup plus sévères, à l'instar du Lay à Mareuil-sur-Lay-Dissais ;
- **Un type "nord Loire-Atlantique / Vilaine"**, à module faible, et étiages également sévères, bien représenté par la Chère à Derval ;
- **Un type "sarthois/Perche"**, au régime très tamponné²⁹ (c'est-à-dire faiblement variable selon les saisons). L'exemple le plus parlant de cette typologie de régime est celui de l'Huisne à Montfort-le-Gesnois, avec un module relativement limité mais des étiages très soutenus par les eaux souterraines des formations sédimentaires de la bordure du bassin parisien ;
- Enfin, **un type "beauceron"** voisin du précédent mais à étiages un peu moins soutenus, représenté par le Loir à Durtal.

Figure 5 : Pluviométrie annuelle moyenne à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.



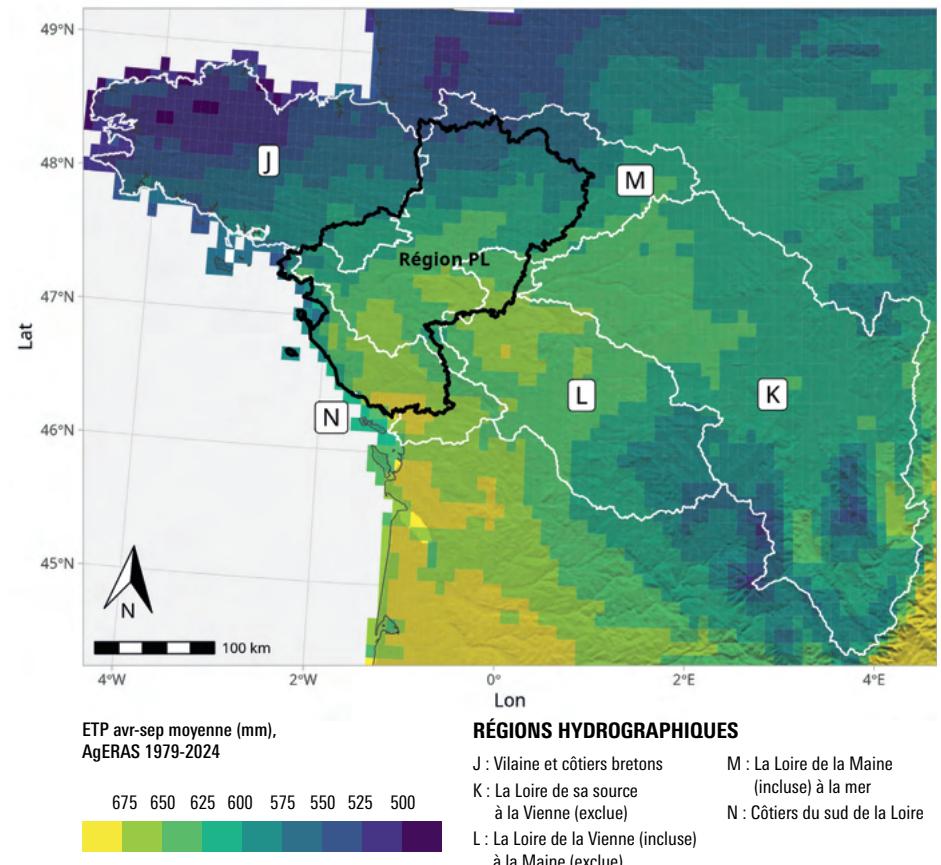
© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21, 2025. Source : Météo-France (2014)

Figure 6 : Evapotranspiration potentielle (ETP) annuelle moyenne à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : Copernicus (2025)

Figure 7 : Evapotranspiration potentielle (ETP) estivale moyenne, sur la période avril-septembre à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : Copernicus (2025)

Globalement, les débits d'étiages typiques (moyenne interannuelle du QMNA, c'est-à-dire le débit minimum mensuel annuel) à l'échelle régionale, par rapport à la gamme des valeurs observées à l'échelle nationale, se caractérisent par des valeurs ne dépassant quasiment pas les 10 mm/mois. Aussi, la région apparaît comme un territoire aux ressources assez faibles en basses eaux.

Il est toutefois possible de constater la forte variabilité spatiale de ces débits d'étiage, les valeurs interannuelles moyennes (QMNA moyen) variant sur deux ordres de grandeurs et les valeurs quinquennales sèches (QMNA5) sur pratiquement trois ordres de grandeur.

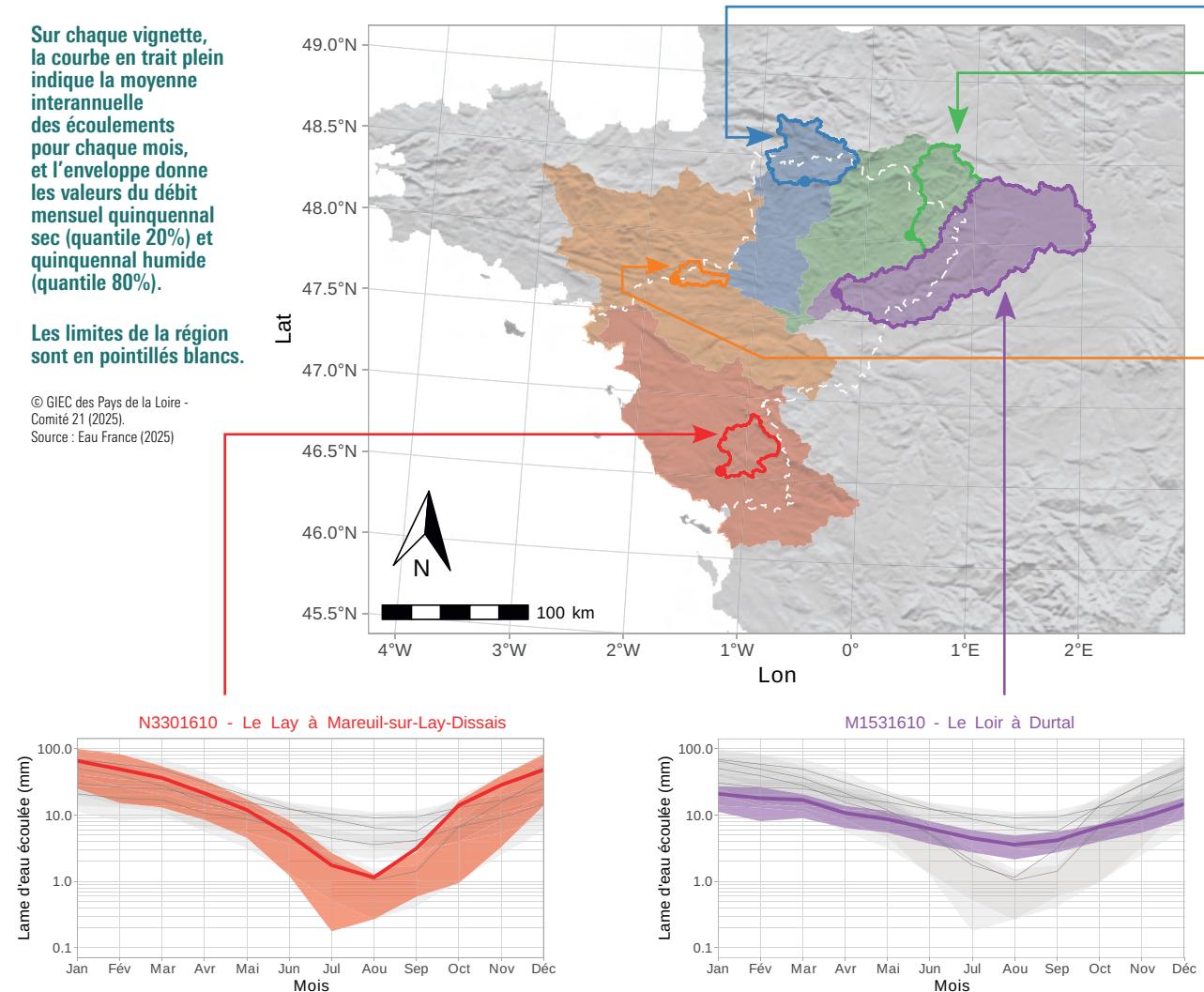
Ces analyses mettent en évidence la forte sensibilité aux sécheresses des régions de socle telles que le nord de la Loire-Atlantique ou la Vendée.

Figure 8 : Régimes hydrologiques type en région Pays de Loire.

Sur chaque vignette, la courbe en trait plein indique la moyenne interannuelle des écoulements pour chaque mois, et l'enveloppe donne les valeurs du débit mensuel quinquennal sec (quantile 20%) et quinquennal humide (quantile 80%).

Les limites de la région sont en pointillés blancs.

© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025).
Source : Eau France (2025)



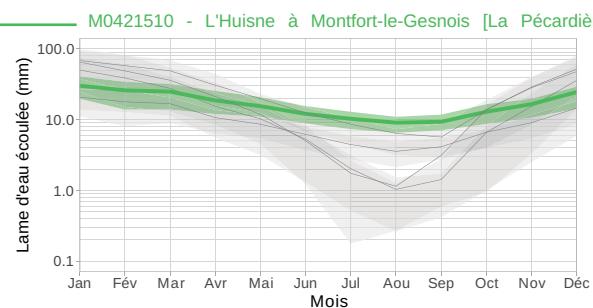
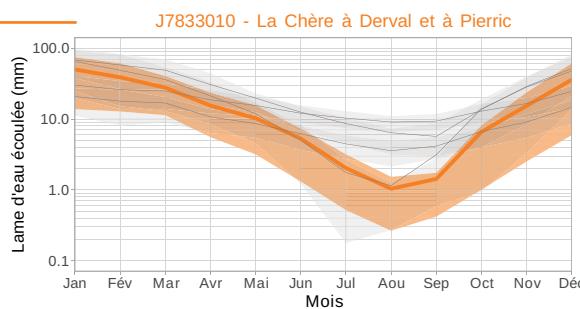
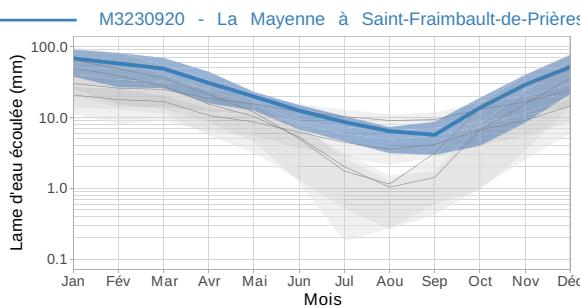


Figure 9 : Débits minimums mensuels (moyenne interannuelle en mm/mois) mesurés en France sur des cours d'eau considérés comme peu influencés par les activités anthropiques³⁰.

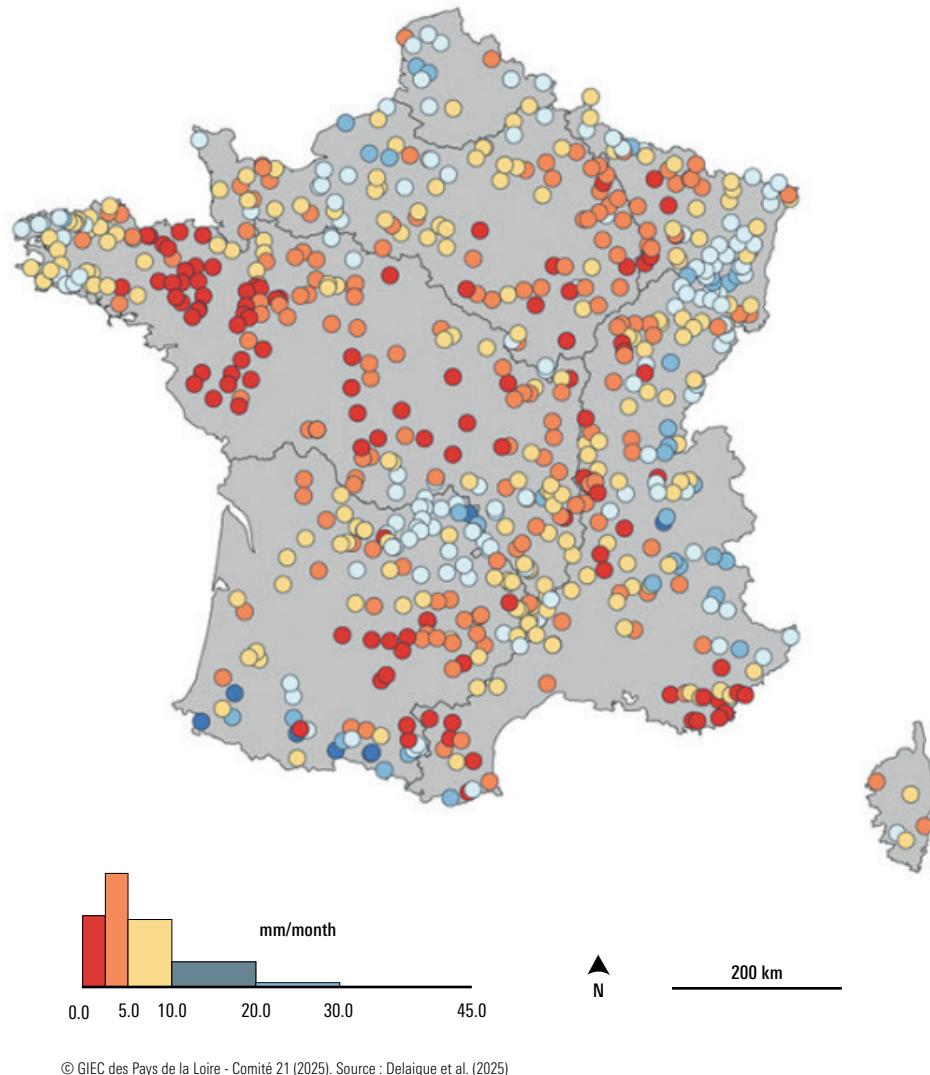


Figure 10 : Cartographie des débits d'étiage moyens (valeurs moyennes du débit mensuel minimum annuel QMNA) en région des Pays de la Loire.

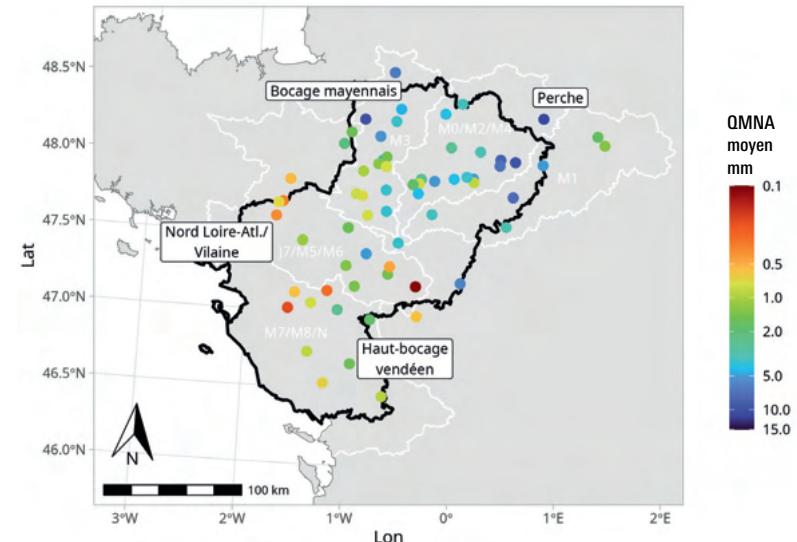
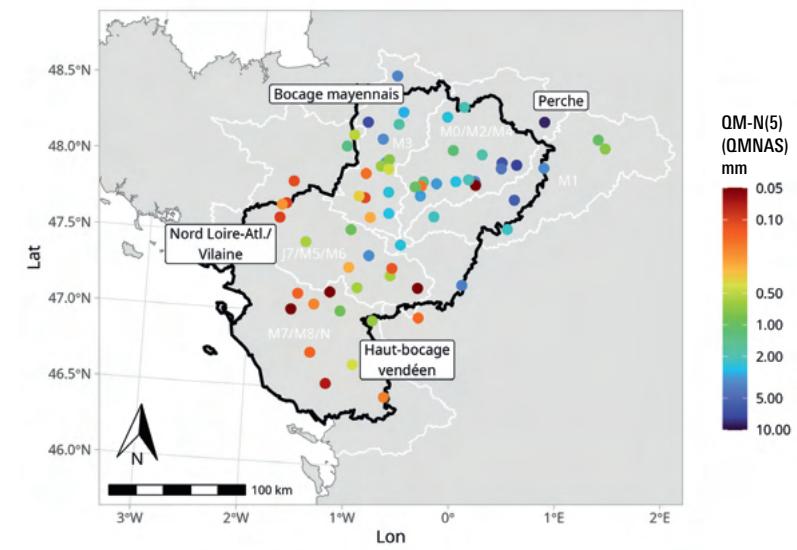


Figure 11 : Cartographie des débits d'étiage sévères (QMNA5 valeur quinquennale sèche du débit mensuel minimum annuel QMNA) en région des Pays de la Loire.



La Loire constitue un axe structurant à l'échelle régionale, tant du point de vue hydrologique qu'écosystémique.

Cette hétérogénéité géologique et climatique des Pays de la Loire se traduit concrètement dans les territoires, avec des conditions très variables d'accès à l'eau souterraine.

Dans le Maine-et-Loire, le bassin de l'Authion repose sur plusieurs nappes importantes, en particulier la nappe du Cénomanien et les alluvions de la Loire. Les échanges entre les nappes et les cours d'eau y sont très marqués : la baisse du niveau des nappes en période sèche entraîne une diminution immédiate des débits des rivières³¹.

En Vendée, bien que la disponibilité en eau soit globalement significative, elle se répartit en petites nappes de productivité très variable, limitant les volumes exploitables³².

Dans la Baie de Bourgneuf, des aquifères comme ceux de Machecoul offrent un bon potentiel, mais sont fortement exposés aux pollutions diffuses, en particulier dans les zones maraîchères intensives. À Noirmoutier et dans le Marais Breton, des nappes salées sont utilisées pour des activités spécifiques telles que la conchyliculture, l'algoculture ou la pisciculture³³.

Dans la Sarthe, l'aquifère du Cénomanien constitue un réservoir majeur dans le bassin versant de l'Huisne. La nappe la plus importante

est celle des Sables de la Trugalle et de Lamnay. Les Sables du Perche renferment également une nappe significative³⁴.

En Mayenne, les quantités d'eau sont relativement abondantes, grâce aux massifs granitiques du nord (région de Mayenne, massif de Fougères) et aux formations schisteuses. Les formations tertiaires peuvent également former de petits aquifères exploitables, bien que leur vulnérabilité soit accentuée par une faible protection naturelle contre les pollutions. Leur alimentation dépend presque exclusivement de l'infiltration des précipitations³⁵.

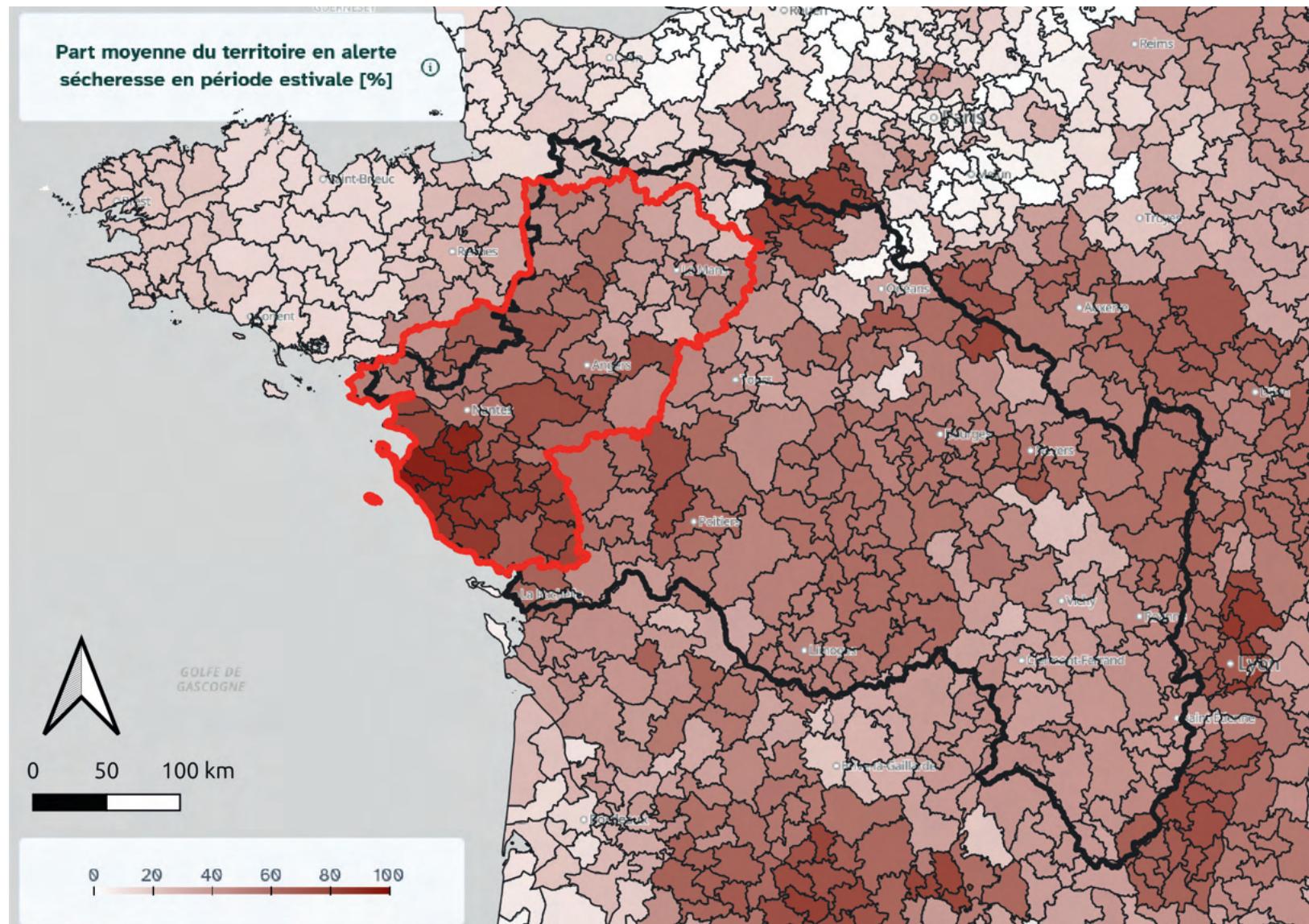
Enfin, **en Loire-Atlantique, notamment autour de la Sèvre Nantaise, les débits exploitables varient fortement selon la nature des aquifères et les conditions locales de forage.** Les eaux souterraines de ce secteur présentent parfois des teneurs en fer supérieures aux normes de potabilité, ce qui peut contraindre certains usages, notamment agricoles³⁶.

À ces contrastes géologiques s'ajoutent d'autres facteurs naturels qui modulent la disponibilité et la gestion de l'eau. C'est notamment le cas du lien étroit entre une partie du territoire et la façade littorale, ainsi que du rôle central joué par la Loire. Le fleuve constitue un axe structurant à l'échelle

régionale, tant du point de vue hydrologique qu'écosystémique. Son estuaire, en particulier, représente un apport majeur d'eau douce³⁷. Ces flux sont soumis à une forte variabilité interannuelle, liée aux apports hivernaux très fluctuants – janvier étant généralement le mois le plus humide. En revanche, les apports estivaux, plus faibles, sont relativement stables, avec des minima récurrents en août et septembre³⁸.

Finalement, ce panorama permet de saisir les contrastes en termes de vulnérabilité aux sécheresses. Elle croise là encore les déterminants climatiques, en particulier le gradient d'ETP (évapotranspiration potentielle) estivale nord-sud, avec la faiblesse du soutien d'étiage par les nappes dans les régions de socle (notamment en Vendée), mais également des spécificités d'usages qui seront illustrées dans la partie suivante.

Figure 12 : Part moyenne du territoire en alerte sécheresse sur les mois de juillet-août (sur la période 2018-2022), par EPCI³⁹.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : Vigi Eau (2022)



© Région des Pays de la Loire / Ouest Médias

03. Des usages de l'eau contrastés en région et à l'amont



Les usages anthropiques de l'eau – qu'ils soient agricoles, industriels, résidentiels ou touristiques – modifient la dynamique des écoulements et la répartition des ressources en eau. Compte tenu des spécificités de la région et notamment du fait qu'une partie importante des débits de la Loire proviennent des régions voisines, il convient de considérer l'ensemble des usages ayant lieu dans la région et en amont sur le bassin versant.

Cette partie s'intéresse aux prélèvements et aux consommations d'eau. Quels volumes représentent-ils dans la région et dans la partie amont du bassin ? A destination de quels usages ? Une récente nationale portée par le Haut-commissariat à la Stratégie et au Plan⁴⁰ a permis de faire des bilans distincts entre prélèvements et consommations.

Si les prélèvements sont restitués au milieu aval ils peuvent impacter la qualité de l'eau et sa température, modifier la disponibilité spatio-temporelle de l'eau, ce qui peut affecter les écosystèmes. Les consommations représentent, quant à elles, la part des prélèvements ne retournant pas aux milieux, réduisant la quantité d'eau disponible pour les besoins situés en aval. Le volume d'eau consommé est évapotranspiré ou incorporé dans le produit obtenu.

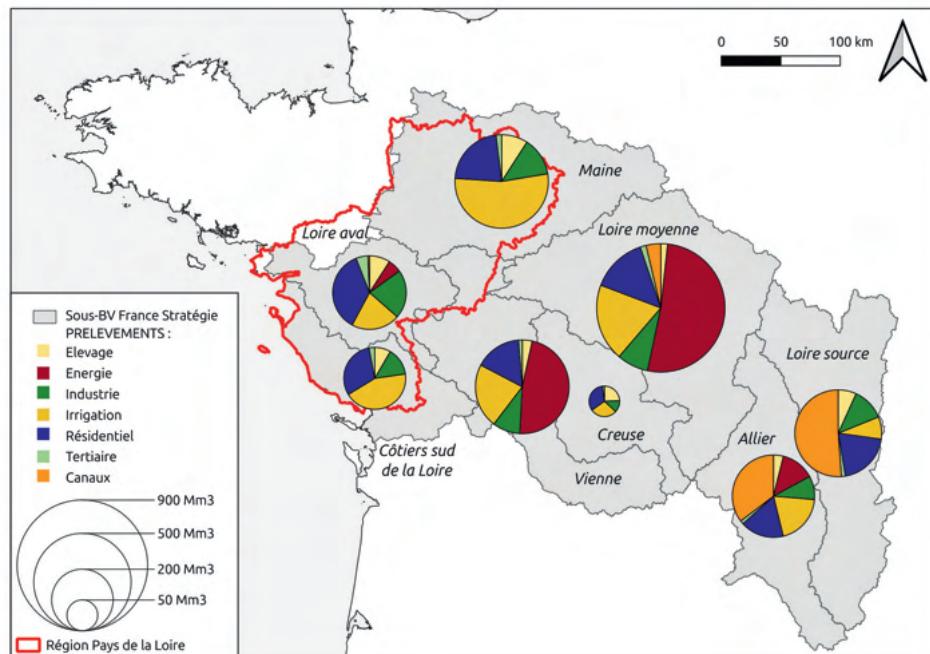
L'analyse des volumes prélevés et consommés sur la région et les bassins versants amont de la Loire témoigne d'une modification de structure entre l'amont et l'aval entre les prélèvements et les consommations d'eau. Le gradient amont-

aval observé pour les volumes prélevés, avec des volumes plus élevés à l'amont qu'à l'aval, s'inverse presque pour les consommations.

Les prélèvements en amont destinés principalement aux canaux, aux refroidissements de centrales nucléaires et à la production d'eau potable sont en grande partie restitués au milieu et se traduisent donc par des consommations moins élevées que sur l'aval. Ces prélèvements même s'ils ne réduisent pas la quantité restituée à l'aval peuvent avoir une incidence importante sur la qualité de l'eau, sa température et la réponse des écosystèmes.

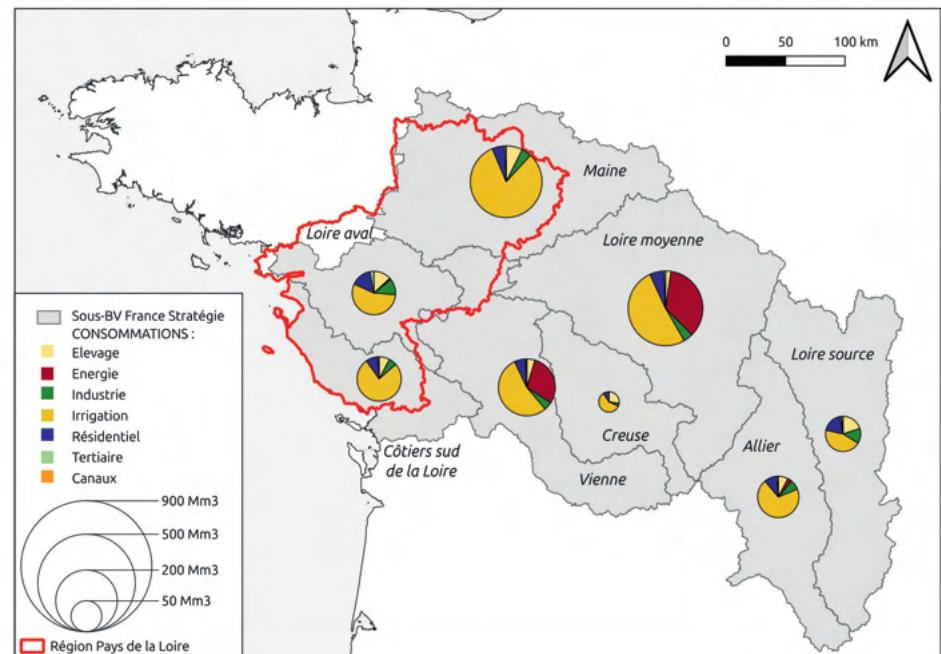
En revanche, plus on descend la Loire, plus la part des prélèvements pour l'agriculture augmente et plus les consommations sont importantes. Les prélèvements d'eau pour l'agriculture sont réalisés pour l'irrigation. Hormis la Mayenne, l'irrigation se répartit de manière assez homogène sur toute la région avec des zones où elle se concentre davantage, au sud de la Vendée et dans le Maine-et-Loire. Le maïs domine largement les cultures irriguées, avec plus de 60 % des surfaces (grain, semence, fourrager)⁴¹. Cette irrigation est concentrée entre avril et septembre, en période d'étiage, ce qui amplifie les tensions. On constate également une forte concentration de l'irrigation en Centre-Val-de-Loire. Celle-ci est principalement réalisée à partir de prélèvements en eau souterraine et est à l'origine des volumes très importants dans le bassin versant de la Maine. Ces consommations, qui ont lieu en dehors de la région, ont forcément des répercussions sur ses ressources.

Figure 13 : Cartographie des volumes et de la répartition par usage des prélèvements à l'échelle de grands bassins versants en amont et sur la région des Pays de la Loire.



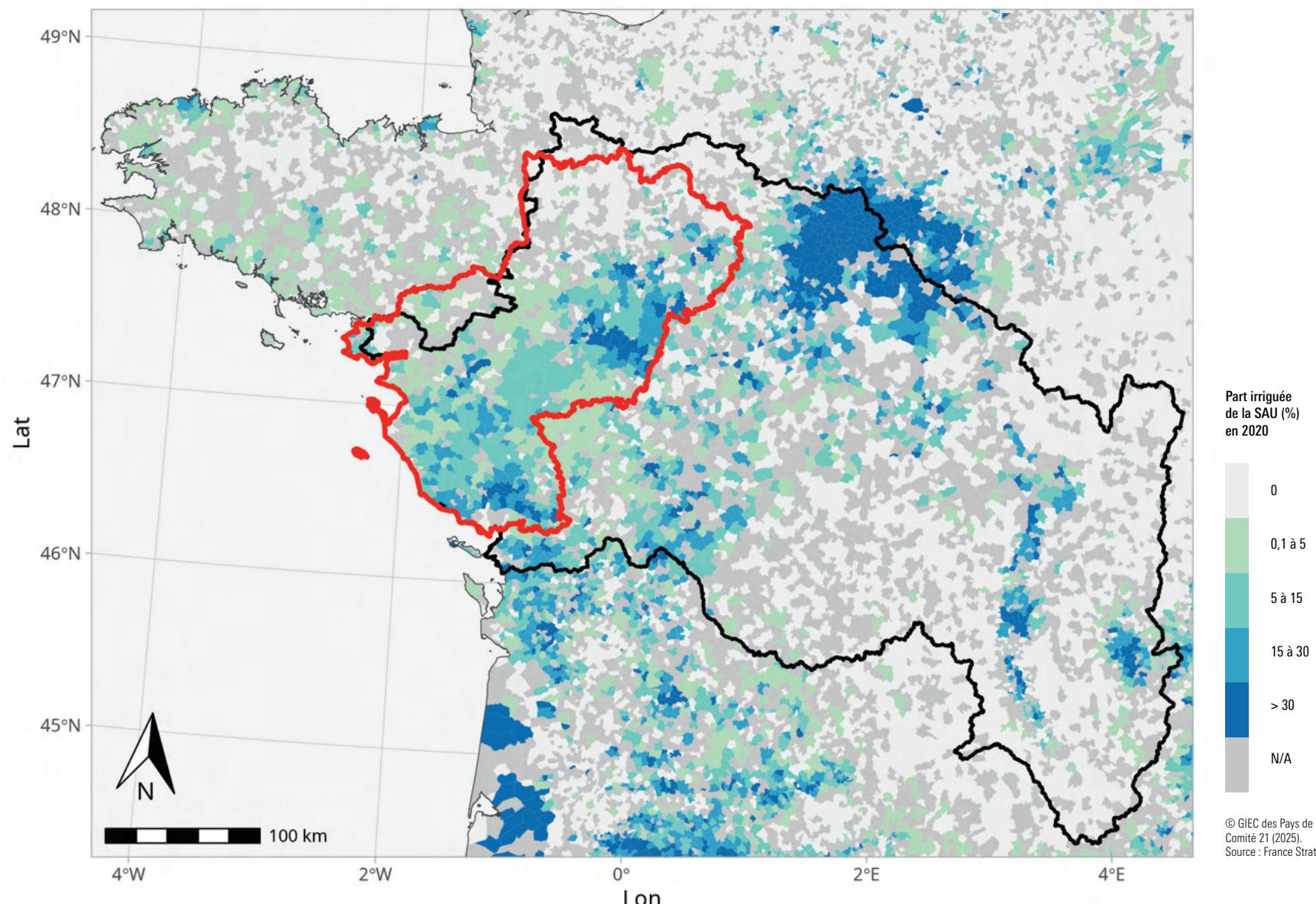
© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : France Stratégie (2024).

Figure 14 : Cartographie des volumes et de la répartition par usage des consommations à l'échelle de grands bassins versants en amont et sur la région des Pays de la Loire.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : France Stratégie (2024).

Figure 15 : Cartographie de la proportion de surfaces irriguées par rapport à la surface agricole utile à l'échelle des communes⁴².

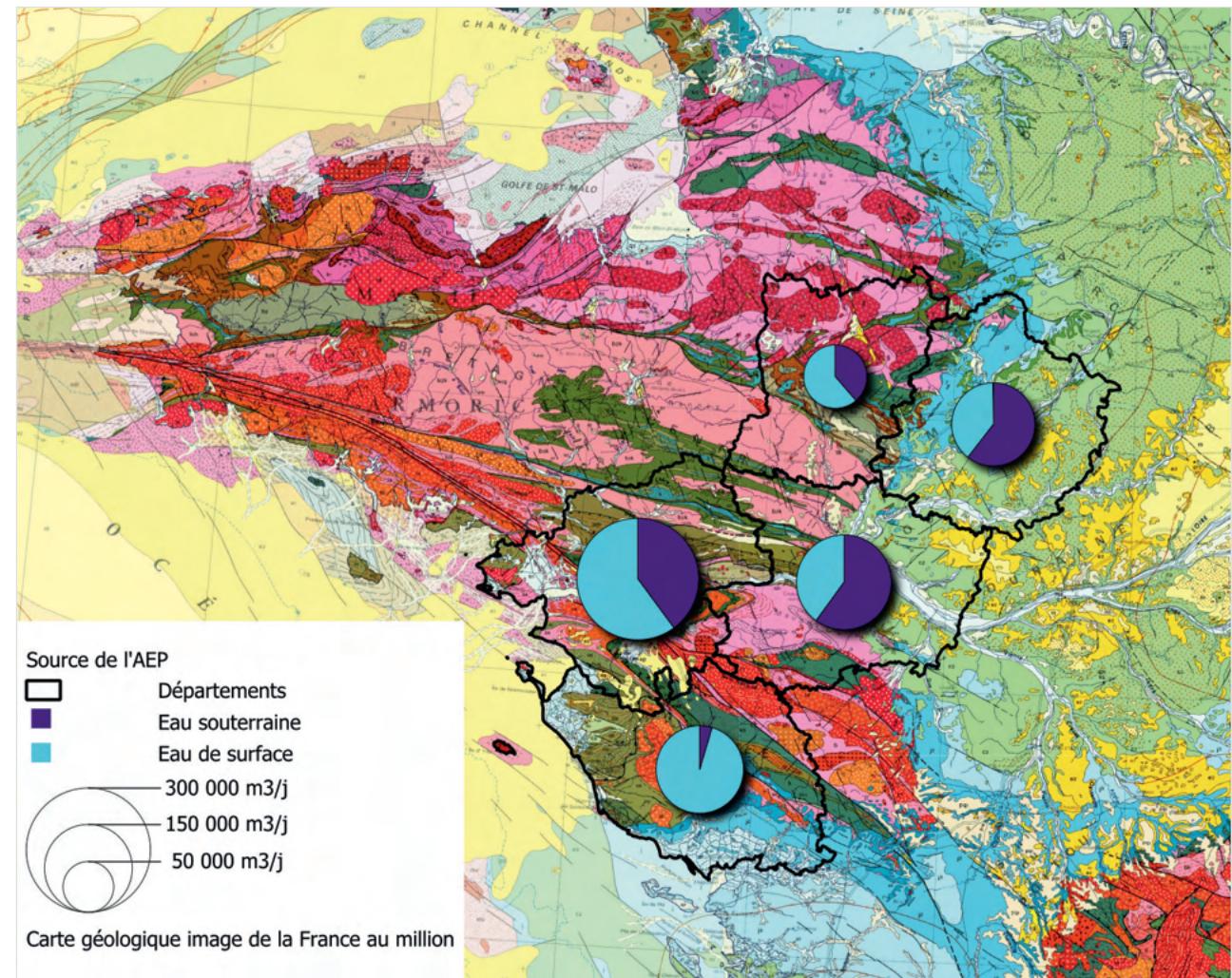


A l'échelle de la région des Pays de la Loire, les prélevements s'élevaient à 1,15 milliards de m^3 en 2020. Depuis le recensement des données de prélevements dans la banque nationale des prélevements en eau (BNPE), ils varient relativement peu entre 1,13 milliards de m^3 en 2014 et 1,18 milliards de m^3 en 2022. La majorité des prélevements (82,2 %) provient des eaux de surface, le reste des nappes souterraines⁴³.

Les usages se répartissent principalement entre la production d'eau potable et l'agriculture mais cette répartition masque d'importantes variations saisonnières et territoriales.

En Loire-Atlantique, les prélevements pour la production d'eau potable et l'industrie sont prépondérants et dans une moindre mesure pour l'agriculture. Les besoins pour l'industrie sont concentrés autour des grandes agglomérations, ils sont particulièrement importants dans l'industrie agroalimentaire (premier secteur industriel régional) et chimique, avec une consommation soutenue en période d'étiage. En Vendée, en Maine-et-Loire et en Sarthe, les prélevements en eau sont principalement à destination de l'agriculture et de l'eau potable dans des proportions équivalentes ; l'agriculture représente 54%, 50% et 46% respectivement pour les trois départements. Cependant, les ressources en eau à partir desquelles sont réalisés ces prélevements diffèrent considérablement entre ces départements. Alors que le Maine-et-Loire et la Sarthe bénéficient de ressources en eau souterraine pour alimenter la production d'eau potable, la Vendée préleve principalement dans les eaux de surface pour ce même usage.

Figure 16 : Cartographie de la répartition des prélevements pour la production d'eau potable entre eau de surface et eau souterraine.

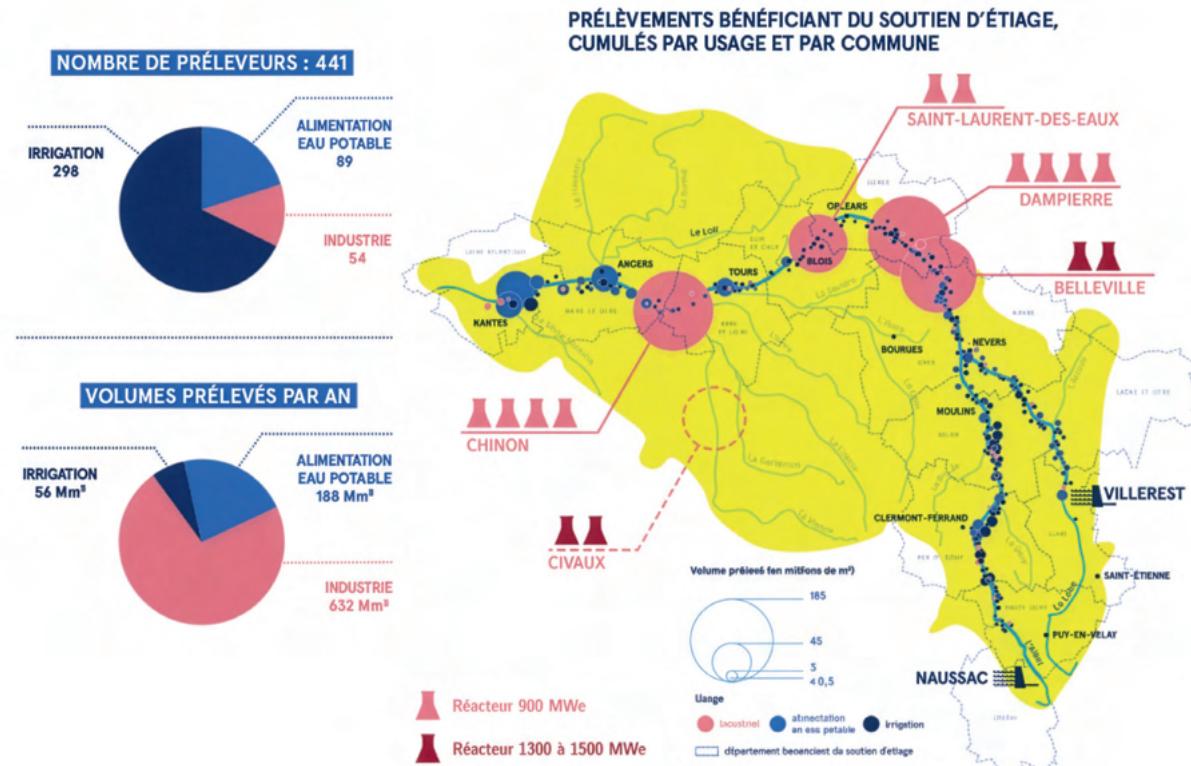


© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : ARS (2024).

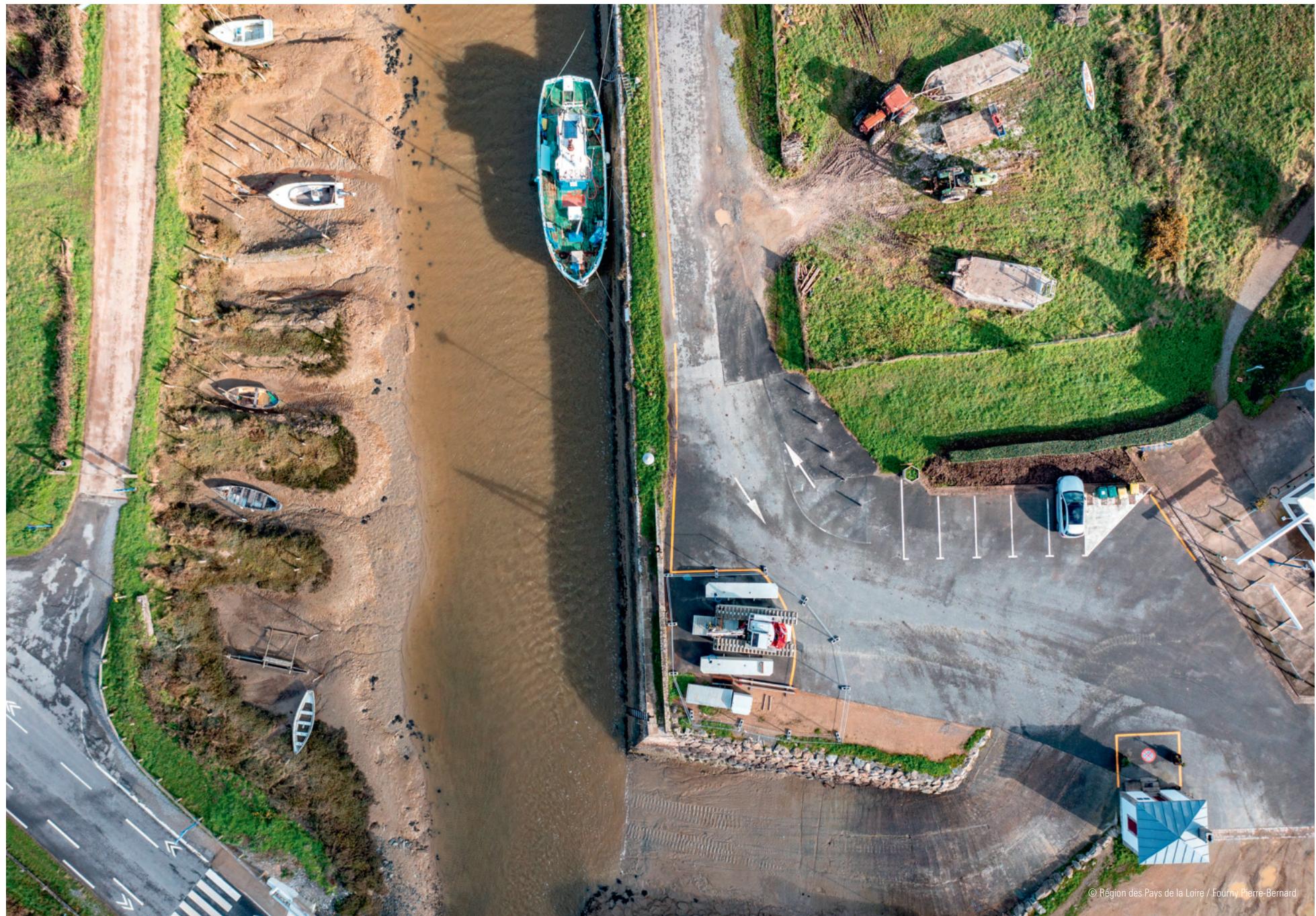
En période estivale, où les niveaux hydriques sont au plus bas, les prélevements agricoles et domestiques, notamment pour le tourisme, atteignent des pics qui coïncident avec les périodes de tension maximale. Le tourisme constitue en effet un autre pôle de pression. En 2023, la région a accueilli plus de 14 millions de visiteurs, avec une forte concentration estivale⁴⁴.

Les besoins en eau sont accrus pour les activités nautiques, les piscines (72 % des campings en sont équipés)⁴⁵, les golfs, ou encore les usages domestiques temporaires (hébergements, résidences secondaires). Cette saisonnalité constitue l'un des facteurs majeurs de déséquilibre et c'est ce qu'illustre la prise d'arrêtés de restriction sur une importante partie de la région. **Depuis 2015, plus de 50% de la région connaît des restrictions d'usages de l'eau au moins une semaine dans l'année⁴⁶. En 2022, toute la région a été touchée par des restrictions pendant le mois d'août, avec 78% du territoire en niveau de crise au 19 août 2022⁴⁷.** Ces sécheresses et ces restrictions récurrentes peuvent aboutir à des conflits d'usages, c'est pourquoi un cadre de gestion structurelle est également mis en place. Sur l'axe Loire, les barrages de Villerest et Naussac jouent un rôle important en venant soutenir les usages, d'autant plus compte tenu de la part importante de petits préleveurs tout le long de l'axe Allier, des volumes importants de prélevements en eau pour les quatre centrales nucléaires et de l'importance de ces barrages pour l'alimentation en eau potable des métropoles d'Angers et de Nantes. De nouveau, ces constats illustrent à quel point la prise en compte des stratégies de gestion et d'usages de l'eau dans les régions voisines est nécessaire pour la région des Pays de la Loire.

Figure 17 : Carte des prélevements dans la Loire et dans l'Allier bénéficiant du soutien d'étiage par les barrages de Villerest et de Naussac⁴⁸.

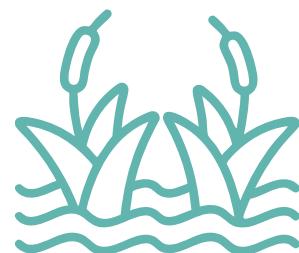


© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : Etablissement Public Loire (2019)



© Région des Pays de la Loire / Fourni Pierre-Bernard

04. Des milieux et des écosystèmes riches en région mais particulièrement menacés



La région des Pays de la Loire est caractérisée par une grande diversité de milieux naturels : milieux humides, bocages, milieux côtiers, estuaire de la Loire... qui constituent les écosystèmes aquatiques du territoire abritant une grande diversité d'espèces végétales et animales.

Parmi les chiffres clés, on peut citer les plus de 208 000 km de haies recensées par l'IGN dans la région, l'importance des zones humides qui couvrent près de 9% de la superficie de la région selon TEO, d'après les données recueillies par le Forum des marais atlantiques, les 450 km de littoral et les 75 km de Loire inscrits au patrimoine mondial de l'Unesco.

Au-delà des capacités d'accueil dont il est question ci-dessus, cette grande richesse écologique fournit des services inestimables à nos sociétés. Les basses vallées angevines ralentissent les écoulements en période de hautes eaux réduisant les risques d'inondations. Les bocages limitent l'érosion et retiennent les pollutions, stockent du carbone et forment des corridors écologiques au même titre que les cours d'eau et leur ripisylve. Les apports d'eau douce aux estuaires et milieux côtiers permettent l'existence d'organismes qui se développent à l'interface entre eau salée et eau douce, déclenchent les migrations d'espèces emblématiques telles que l'anguille et le saumon.

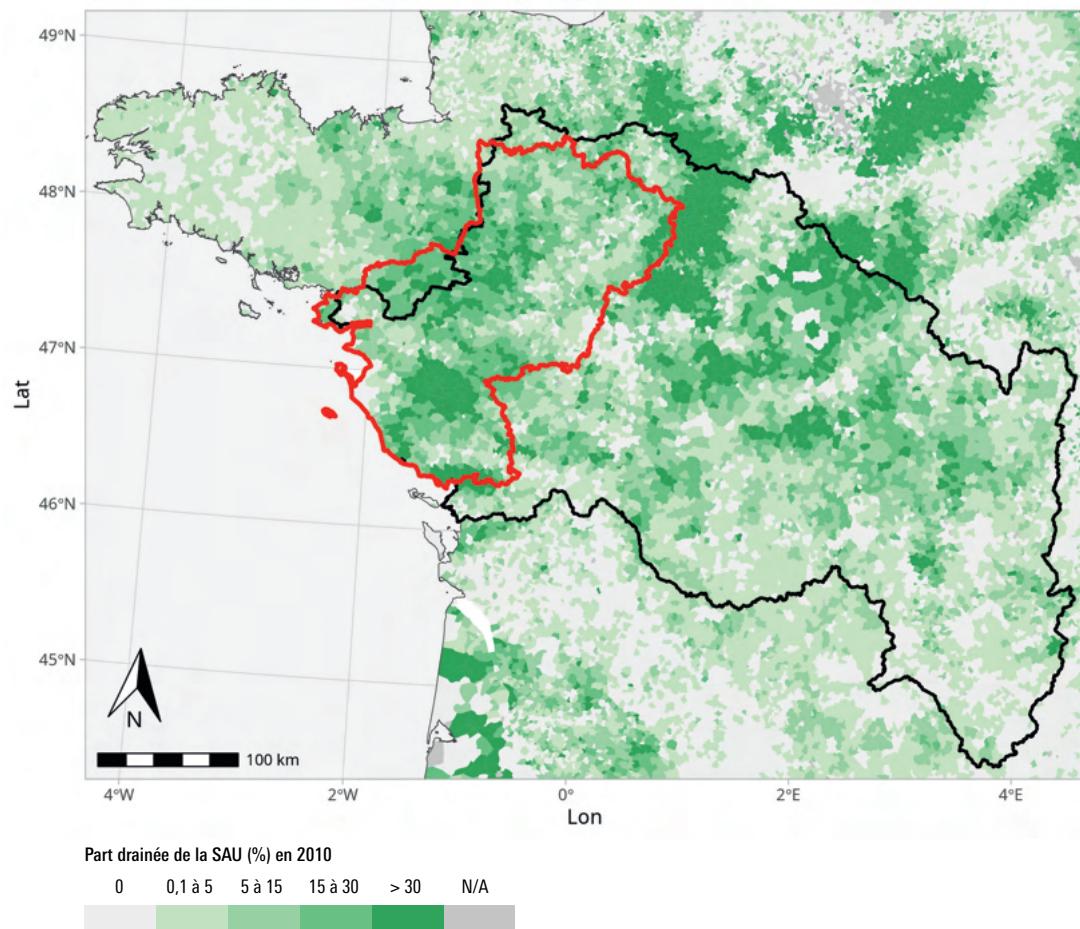
Tous ces écosystèmes composés d'une chaîne fragile de milieux, d'espèces et d'interactions entre eux dépendent entièrement de l'eau et sont donc forcément impactés par les modifications de volume et de dynamique d'écoulements causés par les activités humaines.

Si les prélèvements et les consommations exacerbent les étages déjà sévères dans la région, un certain nombre de processus écologiques sont mis à mal par cette diminution des débits. Il est possible de citer en premier lieu l'autoépuration des milieux naturels, ce processus biologique qui permet d'améliorer la qualité de l'eau grâce aux organismes vivants à condition que la quantité de matière polluante rejetée n'y soit pas trop importante. L'affaiblissement de ce phénomène a des répercussions sur les coûts de traitement de l'eau.

D'autres activités humaines viennent exercer des pressions sur ces écosystèmes et impactent en particulier la qualité de l'eau. La région est caractérisée par une artificialisation des sols particulièrement forte. En effet, en Pays de la Loire, l'occupation des sols est dominée par l'agriculture, qui représente 70% des surfaces occupées en 2022 (cultures, prairies, jachères...). Les sols artificialisés représentent quant à eux 10% de la surface du territoire régional (sols bâtis, revêtus ou autre sols artificialisés)⁴⁹. Aussi, 20% des surfaces de la région sont des surfaces naturelles⁵⁰. Ces taux d'occupation des sols en lien avec les activités agricoles et l'artificialisation sont globalement plus élevés qu'à l'échelle nationale⁵¹.

Par ailleurs, le drainage représente 19,1% de la surface agricole utile (SAU) positionnant les Pays de la Loire au troisième rang des régions les plus drainées⁵², alors même que le drainage favorise le ruissellement (l'évacuation rapide des eaux), l'érosion et la concentration de matières en suspension dans les cours d'eau.

Figure 18 : Cartographie de la proportion de surfaces drainées par rapport à la surface agricole utile à l'échelle des communes⁵³.



La qualité de l'eau en région est par ailleurs fortement impactée par les rejets de polluants. En effet, les polluants présents dans les milieux aquatiques se concentrent, qu'ils soient d'origine agricole (nitrates, pesticides), domestique (rejets de stations d'épuration, réseaux d'eau pluviale) ou industrielle (micropolluants inorganiques et organiques, métaux lourds).

La structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques peuvent être impactés par l'effet combiné de ces différentes activités anthropiques. C'est pourquoi, la directive cadre européenne sur l'eau impose aux états membres de surveiller certains paramètres biologiques, physico-chimiques et hydromorphologiques afin d'évaluer l'état écologique des cours d'eau et de pouvoir réduire les pressions si nécessaire. **Or, seules 12,5 % des masses d'eau de surface atteignent aujourd'hui le bon état écologique (et à peine 11% des cours d'eaux) en Pays de la Loire.** Près de la moitié sont en état médiocre ou mauvais, faisant de la région l'une des plus concernées par les pollutions de France^{54 55}. Cette dégradation de la qualité des cours d'eau s'explique par les pollutions diffuses de nitrates et de pesticides notamment, mais aussi en raison des prélèvements et de la sévérité des sécheresses⁵⁶.

Ce constat est conforté par l'inscription sur la liste rouge des espèces menacées de plusieurs espèces de la région. C'est le cas notamment des espèces ayant des cycles biologiques complexes telles que les espèces migratrices amphihalines, ou encore de certaines espèces inféodées à des milieux aquatiques lotiques (présentant du courant)⁵⁷.

Le déclin de ces espèces révèle un dysfonctionnement accru des cours d'eau de la région. On observe en particulier la diminution des habitats de type courant (eaux vives) et l'extension des zones d'eau stagnante, qui favorisent le réchauffement et l'accumulation de substances toxiques^{58 59}.



© Région des Pays de la Loire / Suire Yannis

La gouvernance de l'eau en Pays de la Loire

L'importance de gérer les ressources en eau sur des territoires hydrologiquement cohérents ne date pas d'hier. Dès la première loi sur l'eau, en 1964, on crée les comités de bassin en charge d'élaborer les politiques de gestion de l'eau et les agences de l'eau en charge de les mettre en œuvre.

La région des Pays de la Loire est intégrée au bassin Loire-Bretagne, le plus vaste de France métropolitaine (155 000 km², soit 28 % du territoire national⁶⁰) dont le document de référence en termes de planification de l'eau est le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). **Le SDAGE du bassin Loire-Bretagne fixe la stratégie globale et les grands axes de la gestion de l'eau à l'échelle du grand bassin** : reconquête de la qualité des eaux, maîtrise durable des prélèvements, restauration des milieux aquatiques, continuité écologique et adaptation aux pressions climatiques, le tout décliné dans un programme de mesures opérationnel à mettre en œuvre par l'ensemble des acteurs⁶¹.

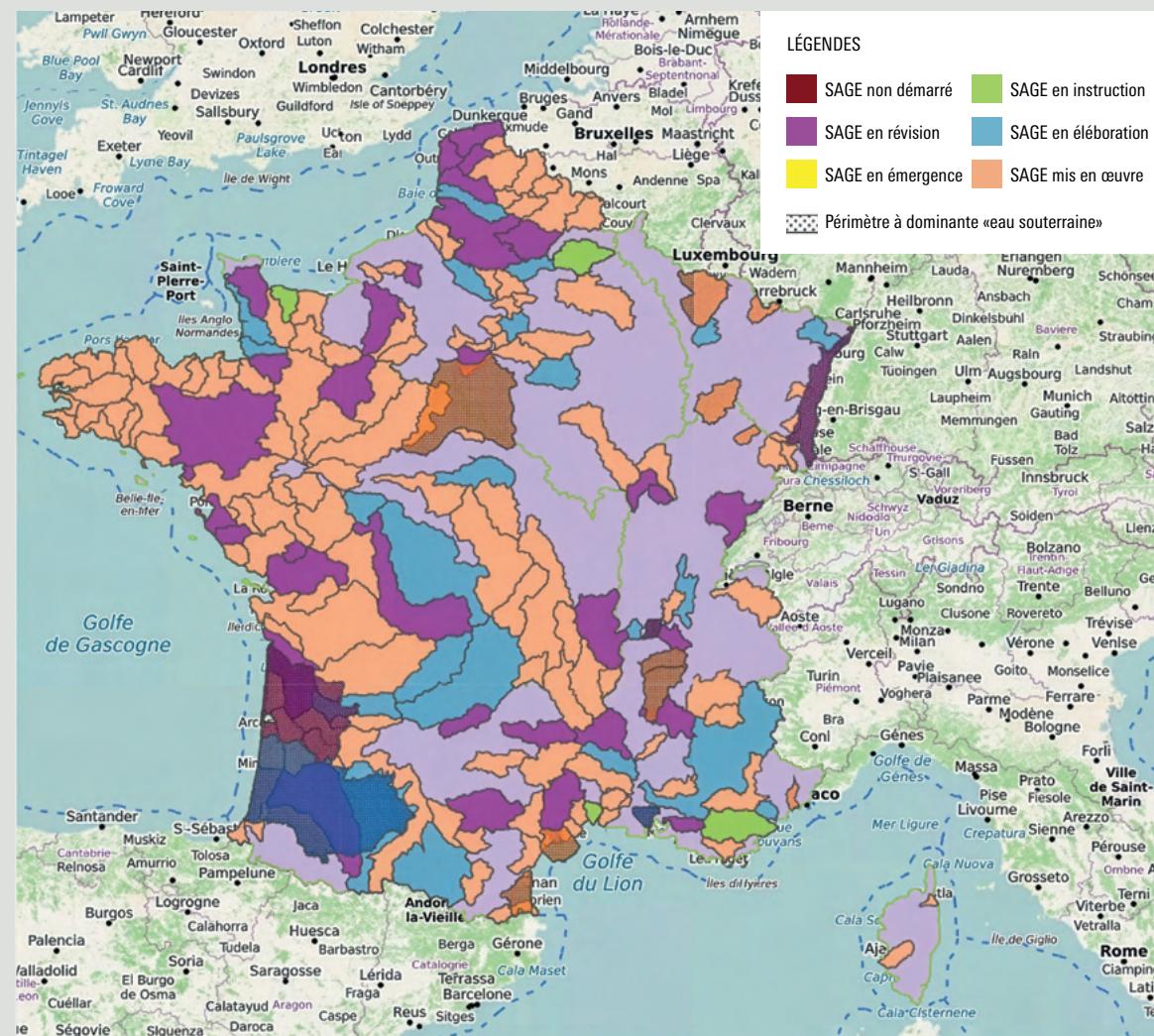
Les orientations du SDAGE sont déclinées et précisées localement avec les SAGE (Schémas d'aménagement et de gestion des eaux) selon le principe de subsidiarité. Les commissions locales de l'eau (CLE), équivalent du comité de bassin, élaborent des règles et actions adaptées aux spécificités territoriales (pressions, usages, vulnérabilité des milieux). Ces dispositifs ont pour objectif d'organiser la gestion quantitative et qualitative de l'eau, de prévenir les conflits d'usage et de préserver les écosystèmes aquatiques. Leur rôle devient d'autant plus essentiel que les effets des changements climatiques accentuent les tensions sur l'eau⁶². La gestion par sous-bassins versants constitue l'autre brique opérationnelle : le bassin Loire-Bretagne est segmenté en six sous-bassins (Allier-Loire amont, Loire moyenne, Vienne et Creuse, Loire aval et côtiers

vendéens, Mayenne-Sarthe-Loir, Vilaine et côtiers bretons) qui servent de référent pour le diagnostic, le suivi de l'état des eaux et la définition d'actions ciblées (contrats de bassin, programmes d'actions, restauration de cours d'eau). Ces unités hydrographiques facilitent l'animation locale, le suivi environnemental et la priorisation des interventions renforçant ainsi la coordination entre échelle bassin et échelles locales.

Les Pays de la Loire recoupent principalement trois sous-bassins versants, le bassin versant de La Mayenne – Sarthe et Loir et celui de la Loire aval et côtiers vendéens, et une toute petite partie de la Vilaine et des côtiers bretons, couverts par vingt SAGE :

- Le sous-bassin Mayenne-Sarthe-Loire s'étend sur une grande partie de la Mayenne, de la Sarthe et du nord du Maine-et-Loire. On y trouve six SAGE : Mayenne, Oudon, Sarthe amont, Sarthe aval, Huisne et Loir.
- Au nord-ouest de la Loire-Atlantique, le SAGE de la Vilaine, en vigueur sur ce secteur, encadre la gestion d'aquifères modestes, souvent vulnérables à la pollution, notamment en lien avec les activités agricoles.
- Le sous-bassin Loire aval abrite sept SAGE, dont ceux de l'Authion, du Layon-Aubance, de l'estuaire de la Loire, de la Sèvre Nantaise et de Grand Lieu.
- Le sous-bassin des côtiers vendéens et du Marais poitevin se caractérise par des écoulements rapides, des nappes peu profondes et une forte pression estivale liée aux usages agricoles, touristiques et conchyliologiques. On y recense six SAGE, dont ceux du Lay, de la Vendée, de la Vie et du Jaunay, de la Sèvre Niortaise et du Marais poitevin. Ce dernier constitue un système hydraulique singulier, façonné par l'homme, avec ses

Figure 19 : Carte du découpage de la France en SAGE au 4 décembre 2025⁶⁶.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : GEST'Eau (2025)

réseaux de canaux, fossés, marais desséchés ou mouillés. La gestion y repose sur un équilibre délicat entre humidité des sols, salinité et besoins agricoles.

Afin de répondre à l'objectif chapitre 7 du SDAGE Loire-Bretagne visant à "atteindre une gestion équilibrée ou un retour à l'équilibre quantitatif et au bon état écologique", les études HMUC (Hydrologie — Milieux — Usages — Climat) ont été initiées⁶³. Elles fournissent un diagnostic intégré (caractérisation des débits, des milieux, des usages et des effets du climat) permettant de définir des plages de débits à préserver, d'estimer les volumes prélevables compatibles avec la préservation des milieux aquatiques et d'orienter les mesures de gestion des prélèvements et d'adaptation aux changements climatiques. Plusieurs études HMUC sont en cours dans la région (Oudon, Estuaire, Authion...).

Les résultats HMUC servent désormais d'élément technique central pour articuler SDAGE, SAGE et contrats/ mesures locales, ainsi que pour orienter les priorités d'intervention de l'Agence de l'eau⁶⁴.



© Région Pays de la Loire / M. Gross

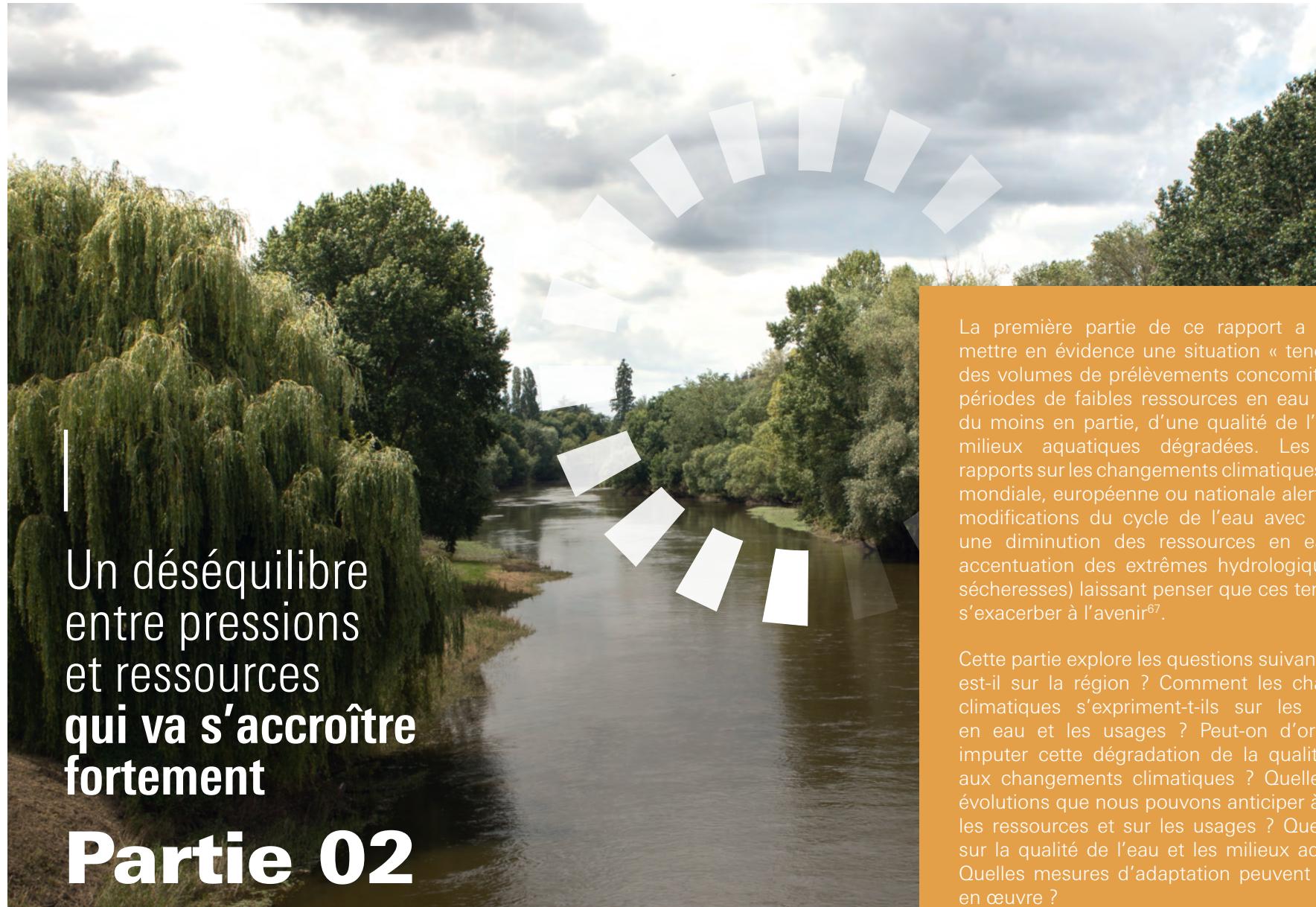
EN RÉSUMÉ

L'eau ne peut être dissociée des territoires qui l'abritent, l'exploitent et la régulent. En Pays de la Loire, son fonctionnement reflète une géographie complexe, marquée par une grande diversité géologique, une forte présence de milieux aquatiques, et une pluralité d'usages parfois concurrents. Le cycle de l'eau, loin d'être un mécanisme purement naturel, est aujourd'hui profondément modifié par les activités humaines, qui en redéfinissent les dynamiques à toutes les échelles.

L'organisation de la gestion de l'eau en France, sa gouvernance, vise à prendre en compte ces spécificités en adaptant les stratégies à l'échelle des bassins versants, au plus près des réalités locales. Elle définit depuis plusieurs décennies la logique d'action des acteurs, visant notamment à prendre en compte les déséquilibres et intégrant des enjeux de solidarité entre les territoires. Mais, face aux effets des changements climatiques, la question de l'avenir de l'eau devient prégnante, en particulier dans les Pays de la Loire.

Plus rare, plus incertaine et plus disputée, son évolution ne se manifeste pas partout de la même manière : selon la nature des sols, la profondeur des nappes, ou l'organisation des bassins versants, les territoires ne subissent pas les mêmes impacts et ne disposent pas des mêmes marges d'adaptation.

Dans ce contexte, la compréhension fine des systèmes hydrologiques locaux devient une condition essentielle pour anticiper les tensions à venir. L'articulation entre cycle de l'eau, caractéristiques naturelles des milieux et organisation des usages permet de poser un diagnostic solide sur les fragilités structurelles du territoire. Les besoins accrus d'eau pour l'agriculture en période estivale, ou encore les usages localisés, mais structurants, en lien avec certaines activités industrielles ou touristiques doivent en effet être étudiés. Mais cela ne suffit pas : ces constats doivent désormais nourrir des stratégies différenciées, capables de prendre en compte les vulnérabilités locales et d'orienter les politiques d'adaptation ●



Un déséquilibre
entre pressions
et ressources
**qui va s'accroître
fortement**

Partie 02

La première partie de ce rapport a permis de mettre en évidence une situation « tendue » avec des volumes de prélèvements concomitants à des périodes de faibles ressources en eau à l'origine, du moins en partie, d'une qualité de l'eau et des milieux aquatiques dégradées. Les différents rapports sur les changements climatiques à l'échelle mondiale, européenne ou nationale alertent sur les modifications du cycle de l'eau avec en France, une diminution des ressources en eau et une accentuation des extrêmes hydrologiques (crues, sécheresses) laissant penser que ces tensions vont s'exacerber à l'avenir⁶⁷.

Cette partie explore les questions suivantes : qu'en est-il sur la région ? Comment les changements climatiques s'expriment-ils sur les ressources en eau et les usages ? Peut-on d'ores et déjà imputer cette dégradation de la qualité de l'eau aux changements climatiques ? Quelles sont les évolutions que nous pouvons anticiper à la fois sur les ressources et sur les usages ? Quels impacts sur la qualité de l'eau et les milieux aquatiques ? Quelles mesures d'adaptation peuvent être mises en œuvre ?

01. Ressources en eau : évolutions passées et futures



Le cycle de l'eau connaît aujourd'hui des évolutions, sous l'effet combiné des évolutions climatiques et des pressions humaines. **Pour comprendre ces dynamiques et anticiper les déséquilibres à venir, il est essentiel de disposer de longues séries temporelles sur les différentes variables d'intérêt, des données atmosphériques aux données d'impacts** : précipitations, évapotranspiration, débits dans les cours d'eau, niveaux de nappes, températures de l'eau, concentrations de polluants, richesse et abondance d'espèces animales ou végétales présentes, etc. Si l'exercice reste complexe pour l'évaluation des impacts sur l'eau, en particulier pour la qualité de l'eau et les milieux aquatiques, certaines stations hydrométriques peu influencées par les activités humaines – comme celles de l'Ernée à Andouillé (53), de l'Erdre à Candé (49) ou de l'Ognon aux Sorinières (44) – disposent de longues séries temporelles et permettent ainsi de dégager des tendances passées sur les effets des changements climatiques sur les débits.

DES RESSOURCES EN EAU EN BAISSE

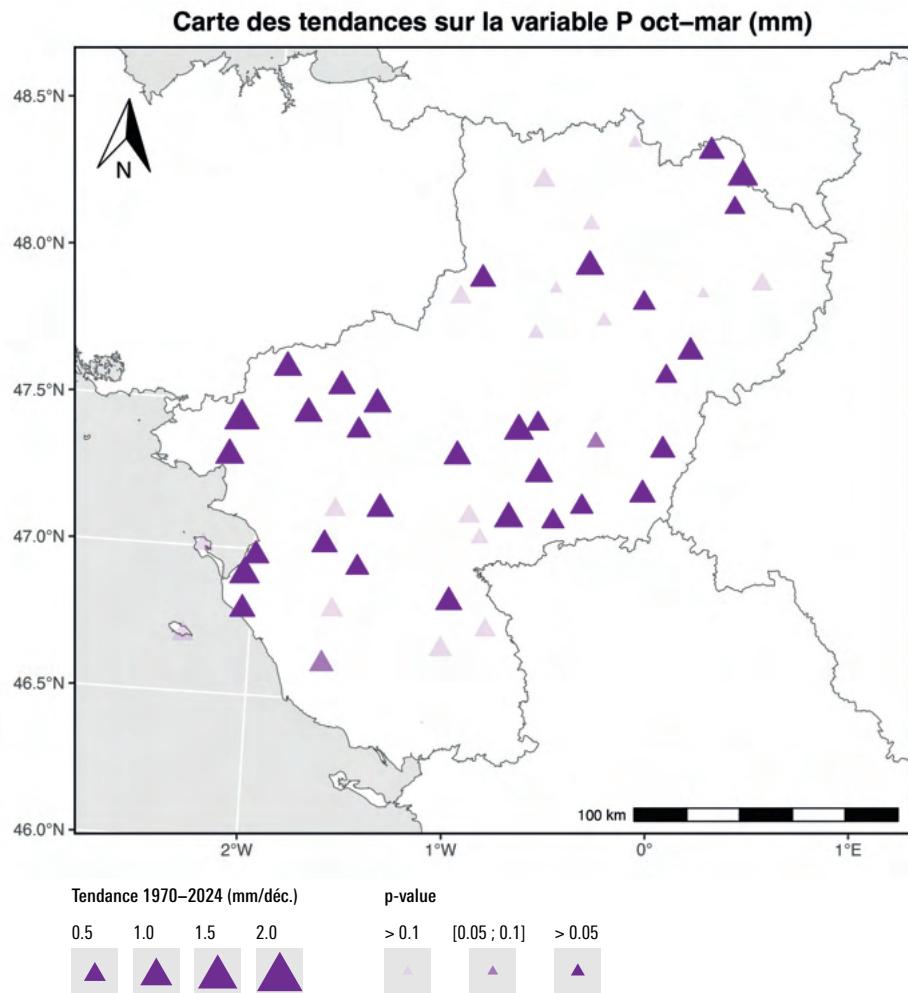
Vers un changement du régime des précipitations

Les précipitations influencent directement la recharge des nappes, l'alimentation des cours d'eau et la disponibilité globale de l'eau. En Pays de la Loire, les données issues de 51 stations Météo-France sur la période 1970–2024 montrent une légère augmentation des cumuls annuels, de l'ordre de +3 à +7 % sur la période selon les territoires⁶⁸. Cette tendance, bien qu'avérée statistiquement sur les cinq dernières décennies, ne traduit pas une hausse régulière ou linéaire : la variabilité interannuelle demeure marquée, avec des années

très sèches suivies d'années exceptionnellement pluvieuses, rendant la disponibilité de l'eau difficilement prévisible d'une année sur l'autre. Cette augmentation du cumul annuel de précipitations est principalement concentrée sur la période automne-hiver (entre octobre et mars), pendant laquelle les précipitations moyennes ont progressé de +20 à +30 mm sur 50 ans⁶⁹. Cette évolution favoriserait a priori la recharge hivernale des nappes souterraines. En contrepartie, le printemps et l'été ne montrent pas de tendances statistiquement significatives en termes de cumul de précipitations. Les cumuls restent globalement stables, voire légèrement décroissants selon les stations, sans signal clair à l'échelle régionale.

En revanche, on constate une augmentation légère mais significative des cumuls de précipitation journaliers maximums annuels sur les mois de mai et juin depuis 1970, sur une proportion significative des stations météorologiques régionales. Cette tendance se traduit par une recrudescence d'épisodes de pluies intenses et concentrées depuis une quinzaine d'années, avec des événements ponctuels atteignant 60 à 100 mm en 24 heures, contre des maxima historiquement plus faibles sur cette période printanière⁷⁰. Ce constat suggère un changement dans le régime des précipitations sur la région, avec un impact vraisemblable sur la fréquence d'occurrence de certains types d'événements hydrologiques. Par exemple, des crues soudaines ont été observées à Châteaubriant en juin 2018 ou dans l'ouest de la région en mai 2016, en réponse à des épisodes de précipitations intenses ayant battu localement des records absolus de cumuls journaliers tels que : 99.0 mm à Saint-Même-le-Tenu le 29 mai 2016, ou encore 110.4 mm à Soudan le 11 juin 2018 par exemple.

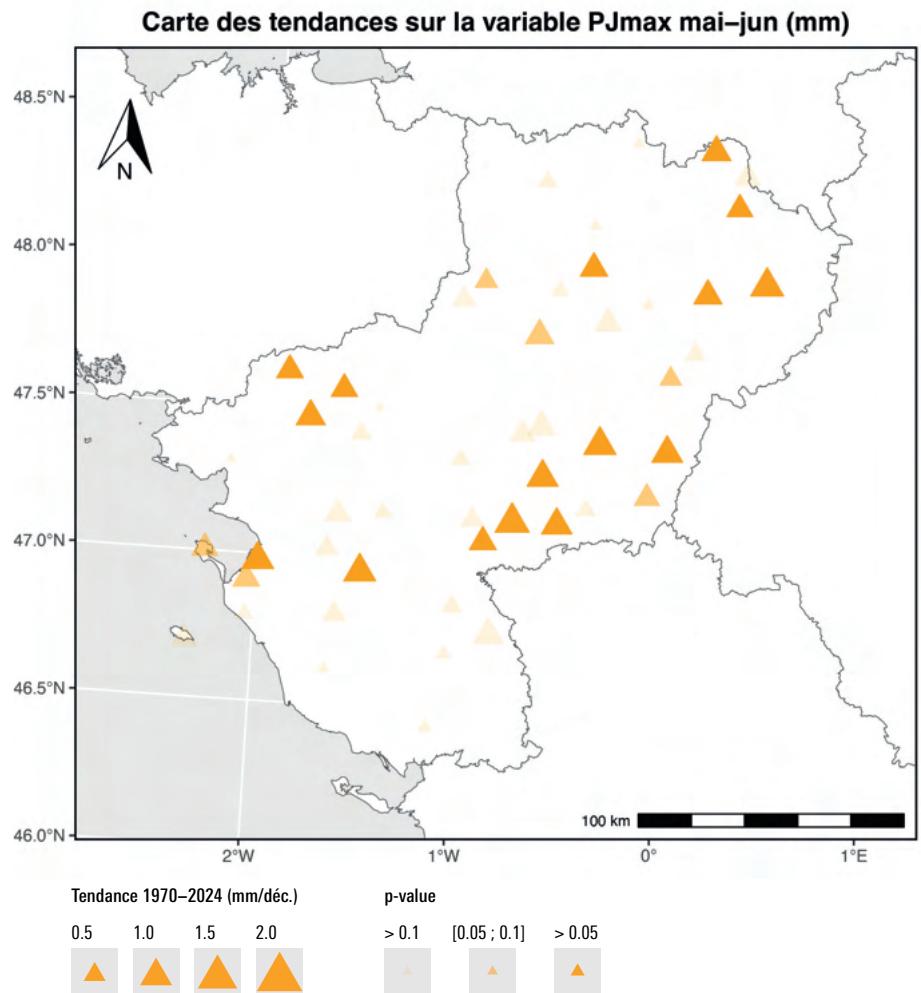
Figure 20 : Carte des tendances du cumul des pluies d'octobre à mars sur la période 1970-2024 en millimètres.



La taille des triangles indique l'amplitude du changement et l'intensité de la couleur le niveau de significativité statistique de la tendance.

GIEC des Pays de la Loire- Comité 21 (2025). Source : Météo-France (2025).

Figure 21 : Carte des tendances du cumul maximum journalier de pluie sur les mois de mai et juin pendant la période 1970-2024 (en millimètres par décennie).



GIEC des Pays de la Loire- Comité 21 (2025). Source : Météo-France (2025).

La variabilité interannuelle reste très forte, avec des hivers très secs certaines années (comme en 2022 et 2023) et des hivers exceptionnellement pluvieux d'autres années.

Si ces tendances sur l'évolution des pluies observées ces dernières années peuvent laisser supposer un renforcement de la recharge hivernale des nappes phréatiques, l'effet sur les débits reste difficile à apprécier. La variabilité interannuelle reste très forte, avec des hivers très secs certaines années (comme en 2022 et 2023) et des hivers exceptionnellement pluvieux d'autres années. De plus, comme évoqué dans la première partie du rapport, la majeure partie du territoire régional s'étend sur les formations de socle du Massif Armoricain dont les nappes sont peu capacitives, c'est-à-dire caractérisées par des faibles capacités d'emmagasinement hivernal de l'eau. Une recharge importante suivie d'un déficit de précipitations de plusieurs mois ne permettra pas dans ce cas de soutenir les débits des cours d'eau en fin de printemps et durant l'été, à l'image de ce qui a été observé fin juin 2025 sur de nombreux cours d'eau de la région.

En cas de crue, l'eau met souvent plusieurs jours à s'écouler, en particulier sur les grands bassins, où la montée des eaux peut se propager de l'amont vers l'aval pendant une période prolongée. L'ampleur de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de l'épisode⁷¹. Si ces éléments sont liés aux régimes de précipitations, ils dépendent aussi de la

géologie, de la topographie, de l'occupation du sol et d'autres caractéristiques des bassins versants, mais également de l'humidité des sols et de la recharge des nappes (antériorité pluviométrique).

La région des Pays de la Loire est particulièrement exposée à ces risques, compte tenu de son réseau hydrographique dense, de sa proximité avec le littoral atlantique, et d'une urbanisation concentrée dans les vallées fluviales. Toutefois, l'exposition varie fortement d'un territoire à l'autre, en fonction de la répartition de la population, de la densité des emplois, de la configuration géographique et du niveau de protection existant⁷². Certaines zones apparaissent comme particulièrement vulnérables. C'est le cas en particulier des vallées de l'Authion et de la Maine, où se concentrent 155 000 habitants et 109 000 emplois en zones exposées à un aléa fort d'inondation⁷³.

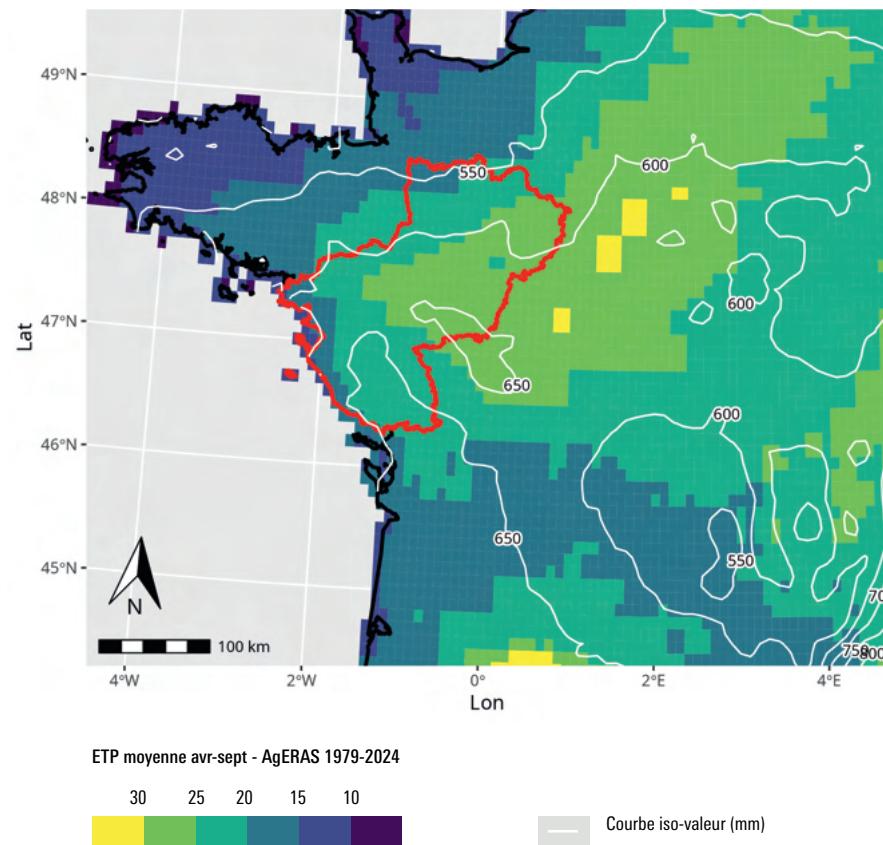
Une augmentation de la demande évaporative qui tend à diminuer l'humidité des sols en été

La hausse des précipitations annuelles observée est contrebalancée par l'augmentation des températures de l'air entraînant à son tour une augmentation de l'évapotranspiration potentielle.

L'augmentation des températures est homogène à l'échelle de la région et s'élève à 1,8°C depuis 1959 pour les moyennes annuelles. Pour les températures estivales, l'augmentation est comprise entre 0,3 °C et 0,4°C par décennie depuis 1959, et est donc légèrement au-dessus de l'augmentation des moyennes annuelles sur cette même période⁷⁴.

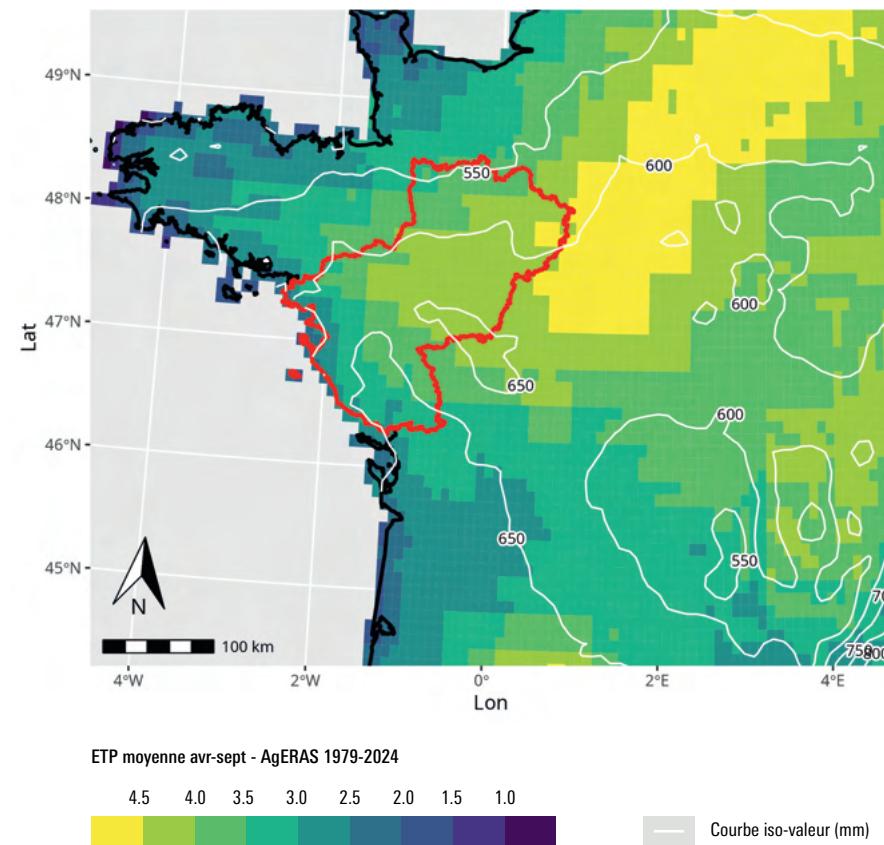
L'augmentation des températures de l'air, combinée possiblement à d'autres processus tels que l'occurrence de certains types de circulations atmosphériques, ainsi que certaines conditions de vent, se traduit concrètement par une augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle estivale de 20 à 30 mm/décennie, c'est à dire de 3,5 à 4% depuis 1979⁷⁵. La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol entre les périodes de référence climatique 1961-1990 et 1991-2020 sur les Pays de la Loire ne montre pas d'évolution particulière en moyenne sur l'année, mais présente une petite baisse le printemps et l'été, et une légère hausse en automne et en hiver, résultat à mettre en relation avec l'augmentation de la pluviométrie estivale et la hausse de l'évapotranspiration potentielle estivale^{76 77}.

Figure 22 : Carte des tendances sur les cumuls d'évapotranspiration potentielle d'avril à septembre sur la période 1979-2024, augmentations en mm par décennie.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Météo-France (2025)

Figure 23 : Carte des tendances sur les cumuls d'évapotranspiration potentielle d'avril à septembre sur la période 1979-2024, en % par décennie.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : Météo-France (2025).



© Région des Pays de la Loire / PB. Fourny

Des tendances contrastées sur les débits entre les cours d'eau de la région et le bassin de la Loire

Des analyses de tendances des débits ont été réalisées sur une sélection de stations hydrométriques présentant peu d'influence des activités humaines. Cette sélection a été effectuée afin d'isoler les effets des changements climatiques par rapport aux pressions dues aux barrages et aux prélèvements sur les dynamiques des écoulements⁷⁸. De nouveau, il semble important de distinguer l'axe Loire des bassins versants de la région.

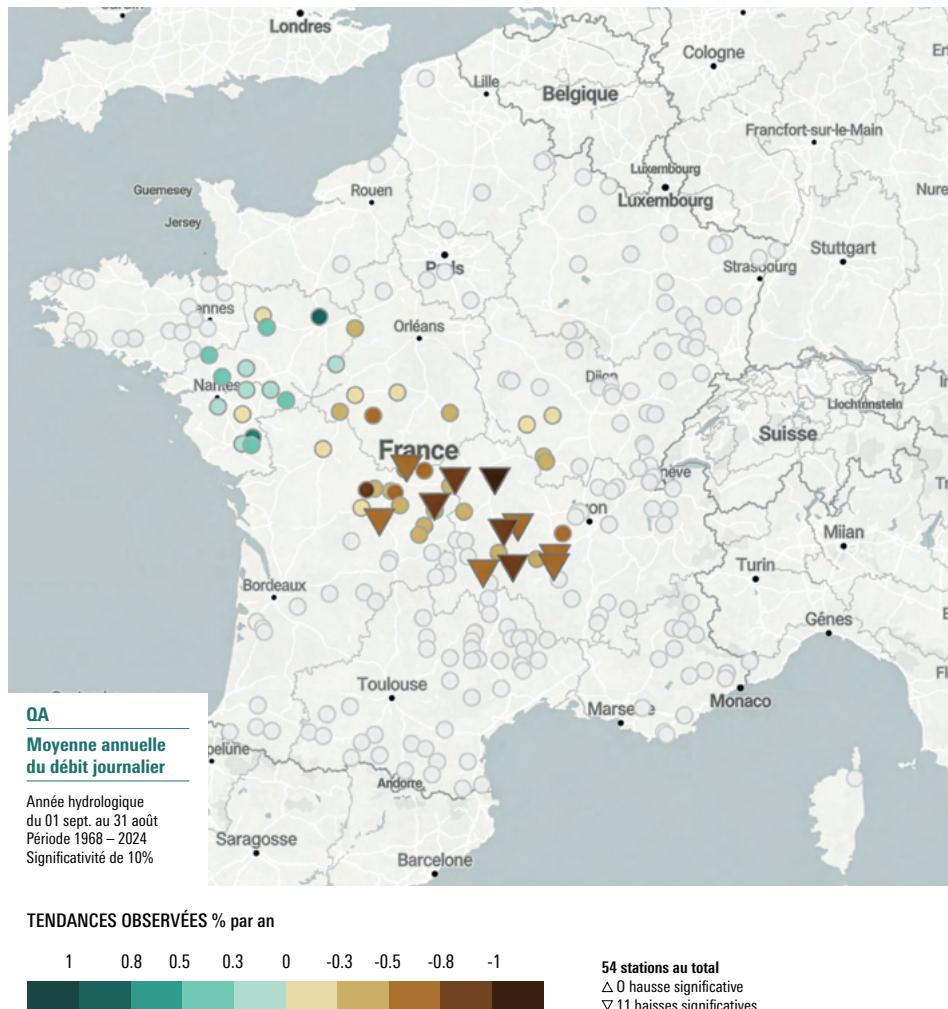
Ces analyses montrent des évolutions peu marquées des débits moyens annuels des cours d'eau de la région, alors qu'une nette diminution de ces débits annuels est observée dans d'autres régions françaises et notamment sur une dizaine de stations du Massif Central, source de la Loire (cf. Figure 24)⁷⁹. Ces diminutions sont statistiquement significatives et sont surtout importantes avec des baisses sur la période 1968-2024 allant de -30% pour six stations à -60% sur le Boublon par exemple⁸⁰.

Pour les hautes eaux (débits maximums journaliers), aucune tendance n'apparaît nettement sur les séries hydrométriques passées en région⁸². En ce qui concerne les débits d'étiage, les tendances sur les cours d'eau non influencés de la région sont de nouveau assez contrastées et majoritairement non statistiquement significatives comme le montre la figure 25⁸³.

En revanche, le Massif Central, secteur des sources de la Loire, se distingue par une diminution significative du minimum annuel des débits mensuels sur la période 1968-2024⁸⁵. L'évolution des débits à Montjean-sur-Loire, station historique de référence de la Loire en région, suggère une diminution tendancielle des débits d'étiage sur cette même période. Cependant, cette tendance est statistiquement peu significative du fait de la forte variabilité interannuelle⁸⁶.

Pour conclure, sur les cours d'eau s'écoulant en Pays de la Loire, on ne constate pas encore à ce jour de très nette tendance sur l'évolution de leurs débits sous l'effet des changements climatiques.

Figure 24 : Carte des tendances sur les débits moyens annuels observés entre 1968 et 2024 pour une sélection de stations peu influencées par les activités humaines sur le bassin versant de la Loire et les bassins versants de la région Pays de la Loire⁸¹.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : INRAE (2024)

Figure 25 : Carte des tendances sur les débits mensuels minimum annuels observés entre 1968 et 2024 pour une sélection de stations peu influencées par les activités humaines sur le bassin versant de la Loire et les bassins versants de la région des Pays de la Loire⁸⁴.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : INRAE (2024)

Des assecs récurrents ces dernières années sur les cours d'eau en tête de bassin versant

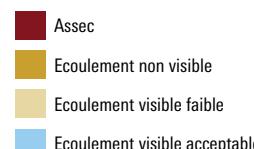
Afin d'améliorer la connaissance de la ressource sur les petits et moyens cours d'eau de tête de bassin versant, l'Office français de la biodiversité a mis en place un observatoire national des étiages (Onde) qui consiste à caractériser visuellement le niveau d'écoulement des cours d'eau⁸⁷. Cet observatoire est complémentaire au réseau de stations hydro-métriques : il ne permet pas de quantifier finement les débits d'étiages, mais améliore la connaissance sur les petits cours d'eau et notamment de leurs assecs, afin d'anticiper des périodes de sécheresse et de limiter les impacts environnementaux et socio-économiques.

Les observations sont effectuées tous les ans, de mai à septembre, depuis 2012, sur 154 stations dans la région des Pays de la Loire. La profondeur temporelle des chroniques ne permet pas d'extraire des tendances robustes. Néanmoins, on constate que la proportion de cours d'eau qui présentent un assec ou un écoulement faible est plus importante depuis 2017 que sur les cinq premières années⁸⁸. En 2022, près d'un tiers des stations du réseau Onde étaient en assec sur la région⁸⁹. Les Pays de la Loire font d'ailleurs partie des territoires qui ont compté la plus grande partie de cours d'eau en assecs à l'échelle de la France⁹⁰.

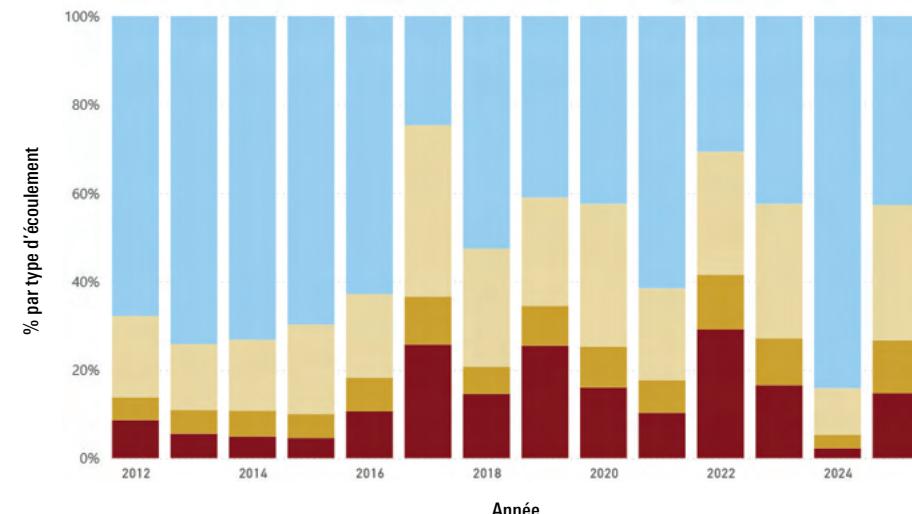
Ces assecs sur les petits cours d'eau peuvent avoir des impacts importants sur la biodiversité aquatique. En fragmentant le réseau hydrographique, ils peuvent empêcher les espèces de rejoindre des zones refuges.

Figure 26 :

Évolution des types d'écoulements observés à l'étiage sur 154 stations en tête de bassin versant de la région des Pays de la Loire depuis 2012⁹¹.



@GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025).
Source : TEO (2025)



DES PROJECTIONS QUI FONT ÉTAT D'UN RISQUE GRANDISSANT DE SÉCHERESSE ?

Afin d'envisager les futurs possibles sur les ressources en eau, un projet national, le projet Explore2, s'est appuyé sur les projections climatiques du GIEC et sur les dernières avancées scientifiques en modélisation hydrologique, pour produire des projections de débits sur plus de 200 points sur la région des Pays de la Loire ainsi que des projections de recharge des nappes d'eau souterraine⁹². Il faut bien garder en tête que les changements projetés comprennent des incertitudes : ils dépendent du scénario d'émission, et pour un même scénario, différents modèles projettent différentes évolutions. De plus, ces projections reflètent l'évolution des ressources en eau sous

l'effet de l'évolution des facteurs climatiques sans prise en compte des usages. Les analyses suivantes s'appuient principalement sur ces résultats et sous le scénario de plus hautes émissions de gaz à effet de serre (RCP8.5).

Des températures en hausse, en particulier l'été, et des précipitations très incertaines

Le réchauffement observé au cours du XXI^{ème} siècle se poursuit quel que soit le scénario de gaz à effet de serre. Plus les émissions de gaz à effet de serre sont élevées, plus les températures de l'air augmentent, pouvant dépasser +4,4°C d'ici la fin du siècle par rapport à la période 1976-2005 pour les émissions les plus élevées. Cette augmentation est encore plus importante l'été avec un réchauffement moyen dépassant +4,9°C⁹³.

Alors que les modèles climatiques s'accordent tous sur cette hausse de températures de l'air, les incertitudes sont très importantes sur les précipitations, caractérisées en Pays de la Loire par une forte variabilité interannuelle qui persistera au cours du siècle prochain. Ainsi les changements de cumuls de précipitations annuels pourraient évoluer entre -15% et +20% d'ici la fin du siècle et un changement médian proche de zéro⁹⁴. Les projections présentent des contrastes saisonniers assez importants, avec une baisse des cumuls estivaux et une hausse des cumuls hivernaux pour le scénario d'émissions élevées d'ici la fin du siècle. Dans les deux cas la variabilité des précipitations d'une année à l'autre reste très forte sur la région que ce soit pour l'été ou l'hiver et quel que soit le scénario de gaz à effet de serre.

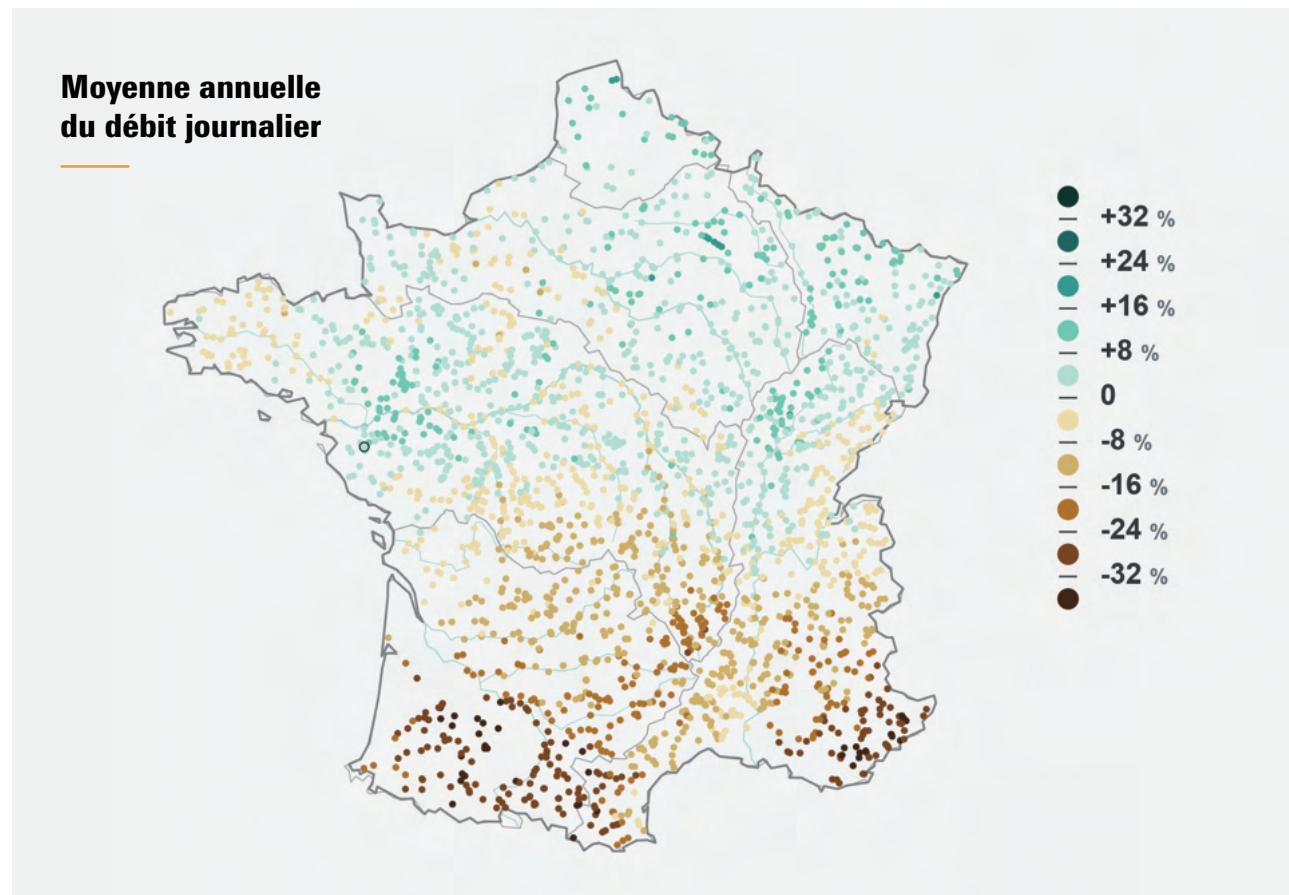
L'augmentation de l'évapotranspiration potentielle est consensuelle entre les différentes projections et est proche de +25% en moyenne pour la fin du siècle⁹⁵. Ces changements sont homogènes à l'échelle de la région.

Une évolution des écoulements moyens très incertaine

Les incertitudes sur les changements de précipitations annuelles se répercutent sur les changements de débits moyens annuels. Pour l'ensemble des stations de la région, les différentes projections ne s'accordent pas sur le signe des changements. Les changements projetés varient fortement d'une chaîne de modélisation à une autre et la dispersion augmente avec l'horizon temporel.

A l'échelle du bassin de la Loire, les changements médians présentent un gradient latitudinal induisant plutôt une diminution des débits moyens annuels à l'amont du bassin et une augmentation sur l'aval. La dispersion entre les modèles augmente aussi entre l'amont et l'aval du bassin. Alors que les projections s'accordent plutôt vers une diminution du débit à l'amont du bassin, les écarts entre ces mêmes projections sont très importants à l'aval, sur les cours d'eau de la région.

Figure 27 : Changements relatifs du débit moyen annuel en fin de siècle 1970-2099 par rapport à 1976-2005 selon le scénario de plus fortes émissions de gaz à effet de serre⁹⁶.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : INRAE (2024).

Les changements projetés pour la Loire à Montjean-sur-Loire en fin de siècle varient entre -30% et +35% et le changement médian est très proche de zéro⁹⁷. Ces changements masquent par ailleurs une variabilité interannuelle des débits moyens très forte sur la région qui persiste tout au long du siècle, elle-même due à la forte variabilité interannuelle des précipitations.

La relative stabilité des changements sur les débits annuels masque néanmoins des contrastes saisonniers importants dont il est question par la suite.

Des risques de sécheresse en nette hausse sur la période estivale

Les projections pour le XXI^e siècle permettent de souligner les risques croissants de récurrence des épisodes de sécheresses avec une intensité qui dépendra des émissions de gaz à effet de serre.

En effet, la baisse des précipitations et la hausse des températures estivales entraînent de manière générale une baisse des débits estivaux sur la région. Cependant, ces diminutions ne présentent pas la même amplitude ni les mêmes incertitudes selon les différentes zones de la région.

Comme vu dans la première partie de ce document, les cours d'eau de la région présentent des fonctionnements hydrologiques différents et répondent donc différemment aux changements climatiques. Prenons, par exemple, deux cours d'eau bien différents parmi les cinq types décrits dans la première partie : le Lay à Mareuil-sur-Lay-Dissais (85) qui connaît des étiages sévères et l'Huisne à Montfort-le-Gesnois (72) qui bénéficie du soutien par les eaux souterraines des formations sédimentaires de la bordure du bassin parisien. Le Lay est marqué par une forte diminution des deux indicateurs d'étiage usuels, le minimum annuel du débit mensuel (QMNA) et le minimum annuel de la moyenne des débits sur 10 jours (VCN10), qui fait consensus entre les projections. Ces diminutions sont fortes comprises entre -77% et -3% et entre -75% et 0% respectivement avec un changement médian de -44% pour le VCN10⁹⁹.

Les projections sur l'Huisne, en revanche, montrent des divergences sur le signe des changements tant sur le QMNA que sur le VCN10. Le changement médian projeté pour le VCN10 est de -15%¹⁰⁰. Les risques d'observer en fin de siècle une sécheresse¹⁰¹ diffèrent également sur ces deux bassins : sur le Lay, les projections indiquent une augmentation de la fréquence d'occurrence dans le futur de débits très bas entre 2,4 et 4,8 fois ; alors que sur l'Huisne cette fréquence pourrait diminuer de 20% ou augmenter par 3,6¹⁰².

Alors que pour ces deux bassins versants les changements de précipitations hivernales alimentant la recharge des nappes sont sensiblement les mêmes, avec une tendance médiane à la hausse,

Figure 28 : Evolution du débit moyen annuel de la Loire à Montjean-sur-Loire de 1976 à 2099 selon quatre projections contrastées sous le scénario de plus fortes émissions⁹⁸.

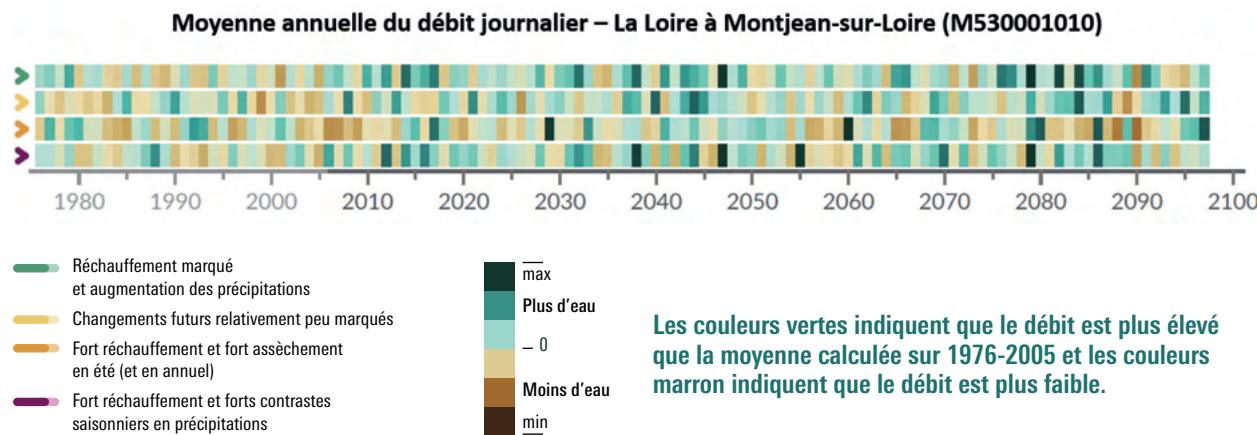
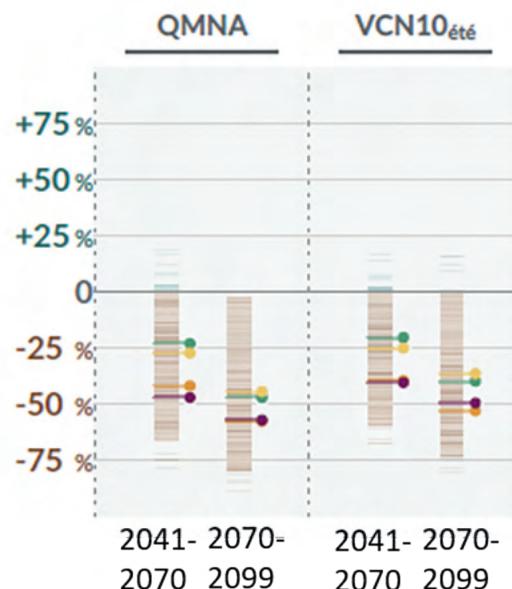
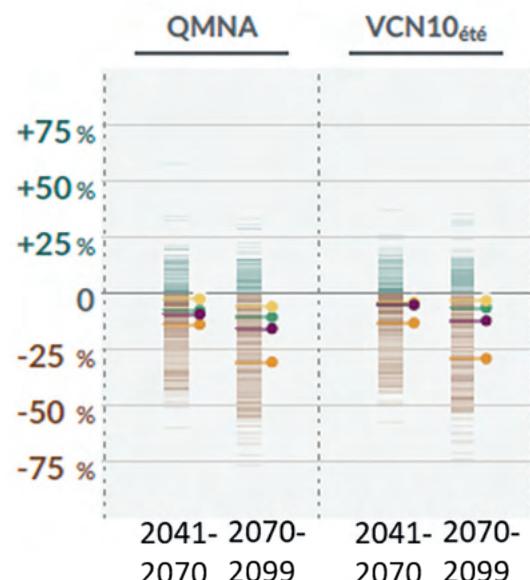


Figure 29 : Illustration du changement de valeurs de deux indicateurs d'étiage¹⁰³.

Le Lay à Mareuil-sur-lay-Dissais
(N3301610)



L'Huisne à Montfort-le Gesnois
(N3301610)



Les deux indicateurs d'étiage présentés dans cette figure sont le minimum annuel du débit mensuel (QMNA) et le minimum annuel de la moyenne des débits sur 10 jours (VCN10) pour l'ensemble des projections de débits pour deux horizons temporels (2041-2070) et (2070-2099) par rapport à la période (1976-2005) sous scénarios d'émissions élevées (RCP8.5).

© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). INRAE (2024).

les changements de débits d'étiage présentent des différences d'amplitudes marquées. La hausse de la recharge sur l'Huisne permet de limiter les impacts sur les étiages alors que ceux sur le Lay sont particulièrement sensibles aux déficits de précipitations et à la hausse des températures estivales. En d'autres termes, sur le bassin du Lay, la hausse des précipitations hivernales ne permet pas de compenser les déficits de précipitations estivales ni l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle.

Les résultats illustrés par ces deux bassins sont constatables sur les différents types hydrologiques de la région. Les stations de type «vendéen» (par exemple, L'Yon à Nesmy (85), le Petit Lay à Saint-Hilaire-Le-Vouhis (85), le Marillet à Château-Guibert (85), le Jaunay à La Chapelle-Hermier (85), ou encore le Falleron à Saint-Étienne-de-Mer-Morte (44)¹⁰⁴) et «Loire-Atlantique/Vilaine» présentent des baisses faisant consensus entre les modèles et importantes (entre -20 et -60%) en fin de siècle¹⁰⁵. Les projections sur les cours d'eau de type «beauceron» et ou «Sartheo/Perche», tamponnés par les eaux souterraines, montrent plus de divergences et des diminutions moyennes plus modérées - entre 10 et 20%¹⁰⁶.

Mais l'intensité des étiages ne constitue pas la seule source d'inquiétude ; leur durée devrait également s'allonger. **En 2050, la durée moyenne des périodes de basses eaux pourrait augmenter de 10 à 20 jours, et jusqu'à 30 jours dans certains secteurs¹⁰⁷. D'ici la fin du siècle, cette durée pourrait être prolongée de 34 à 51 jours par rapport à la période de référence¹⁰⁸.**

Figure 30 : Projection de la sévérité des étiages en région des Pays de la Loire en 2050 et 2100 (à partir du VCN10 - Minimum estival de la moyenne sur 10 jours du débit journalier) selon quatre narratifs.

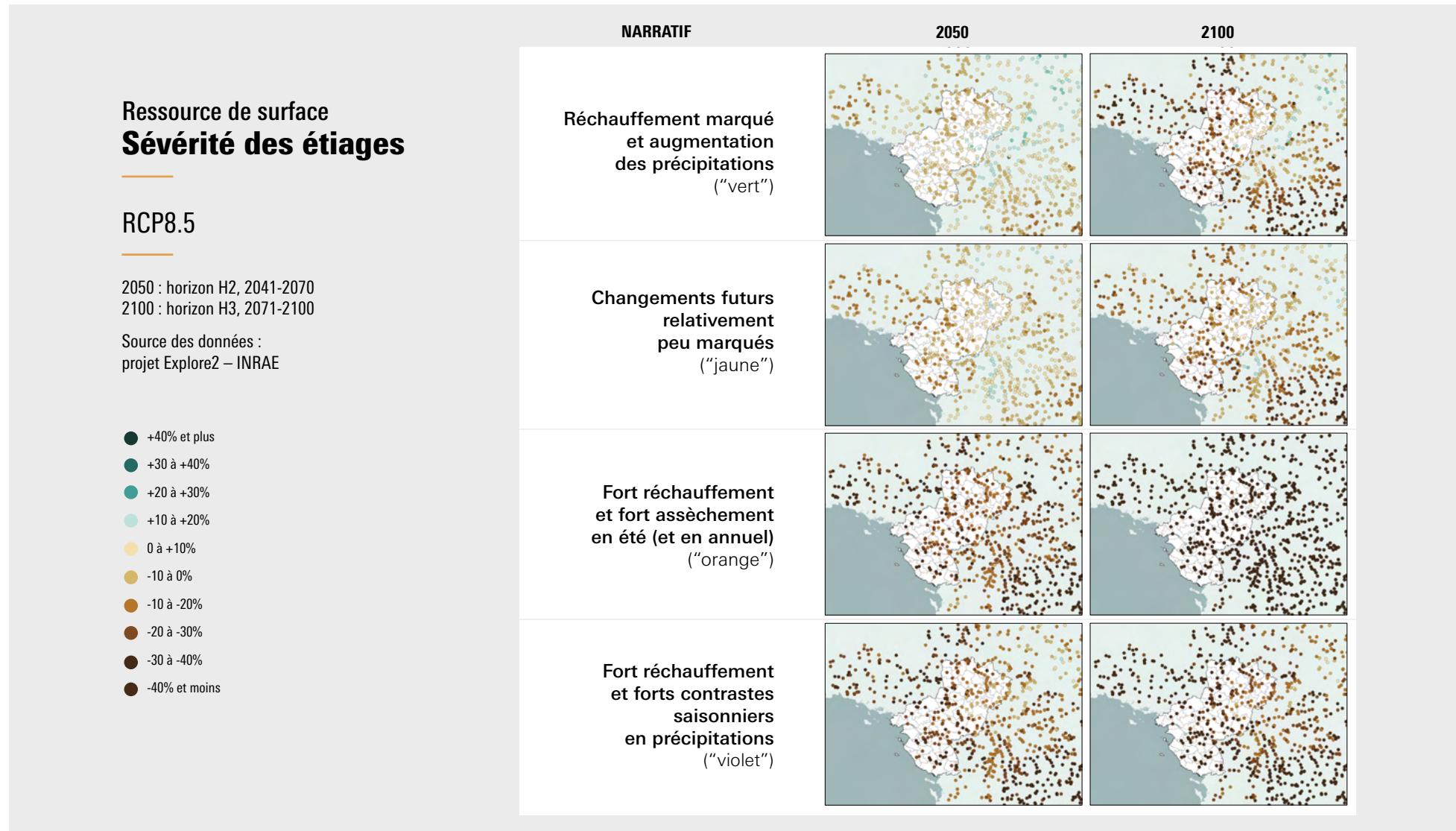
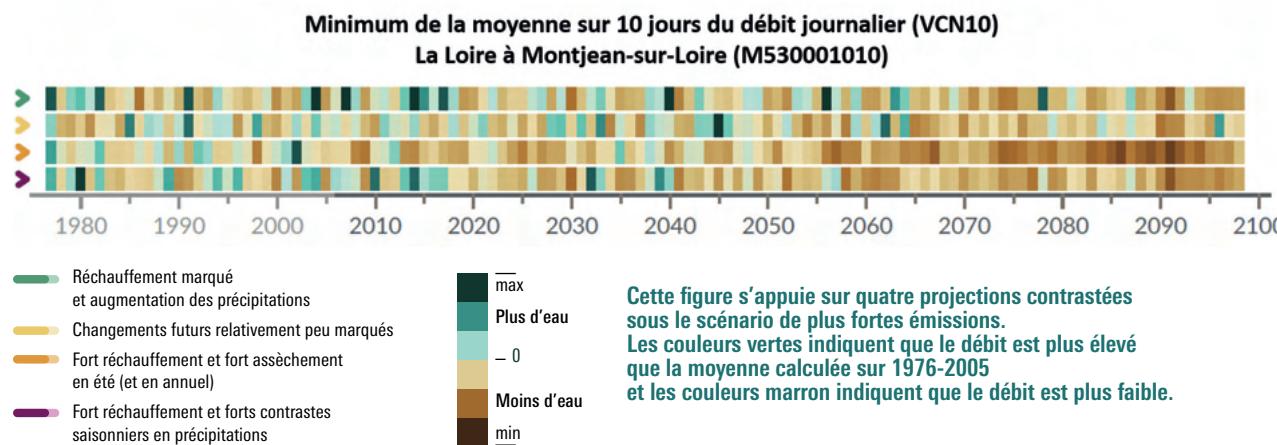


Figure 31 : Projection de la durée des étiages en région des Pays de la Loire en 2050 et 2100 (à partir de l'indicateur dtLF - Durée de la plus longue séquence continue avec des débits moyens sur 10 jours sous le seuil fixé au maximum des VCN10 (mois de mai à novembre) selon quatre narratifs.



De manière générale, ces baisses seraient d'autant plus marquées sur le socle ancien du Massif armoricain, qui couvre l'essentiel de la région. Ces contrastes accentuent les inégalités territoriales. Là où les nappes sont peu productives, les territoires sont plus dépendants des eaux de surface. La nature des aquifères disponibles conditionne donc la résilience locale et impose des adaptations différencierées selon les contextes. Notons toutefois que les débits des cours d'eau sur lesquels les échanges nappe-rivière sont importants, sont particulièrement difficiles à simuler et que la part d'incertitude liée à la modélisation hydrologique augmente sur ces bassins.

Figure 32 : Evolution du minimum annuel de la moyenne des débits journaliers sur 10 jours de la Loire à Montjean-sur-Loire de 1976 à 2099¹⁰⁹.



© GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : INRAE (2024).

Enfin, terminons sur l'axe Loire. Contrairement aux débits moyens, où l'analyse de la variabilité interannuelle et la dispersion entre les projections, ne permet pas de dégager de tendance claire sur les débits futures, il est possible de constater globalement un accord entre les différentes trajectoires vers une diminution des débits d'étiage sur la Loire. La tendance pour les quatre trajectoires est plus importante que la variabilité interannuelle.

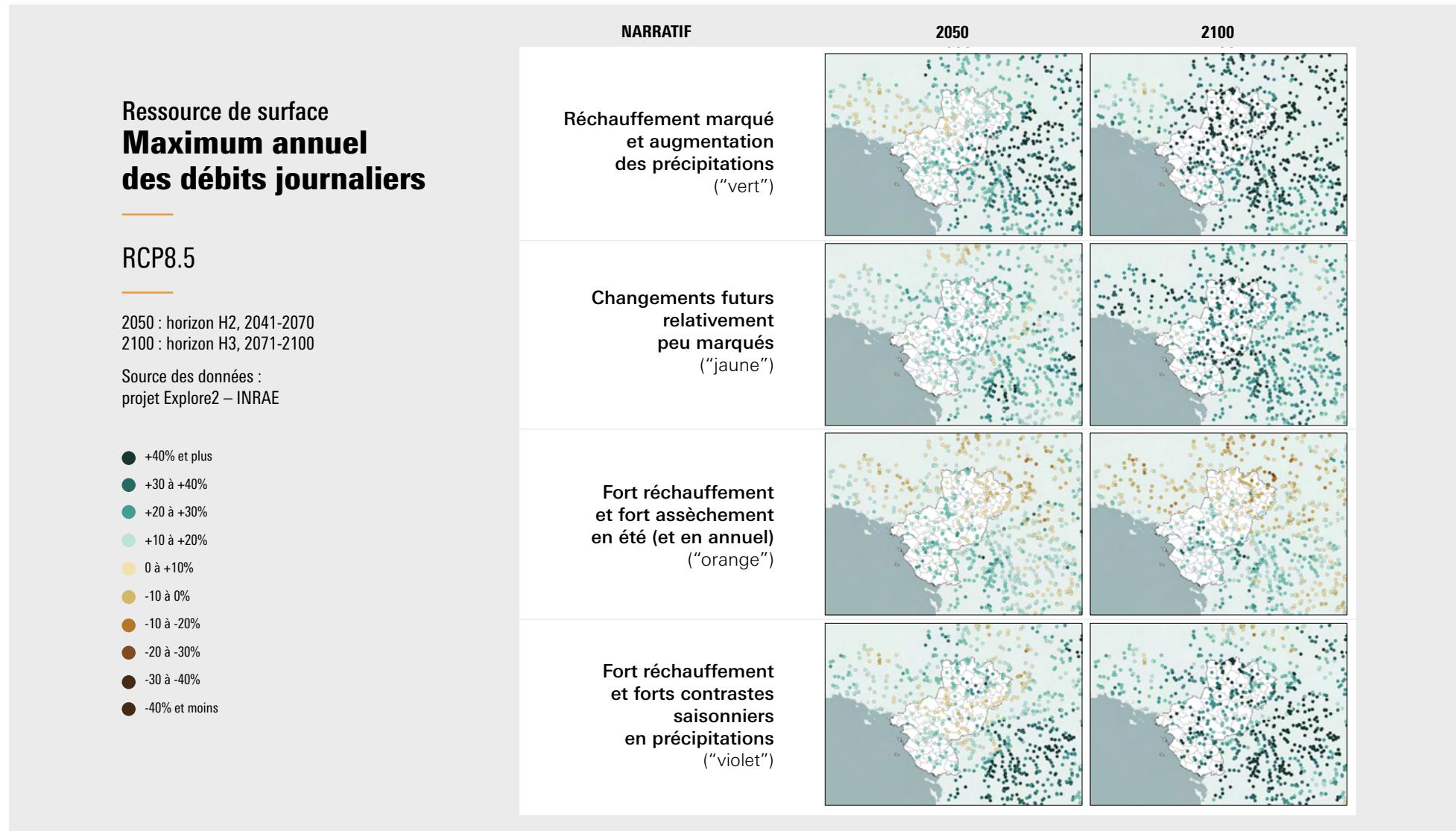
Crues, inondations... des territoires de plus en plus vulnérables face à l'excès d'eau

Outre les tensions estivales, les changements climatiques pourraient aussi entraîner une intensification des crues hivernales, en raison d'un accroissement des précipitations durant cette saison. Les Pays de la Loire devront ainsi faire face à un double défi : une pénurie d'eau l'été, et un excès l'hiver.

Les projections montrent qu'en 2050, le débit journalier maximal annuel (QJXA) pourrait augmenter de 8 % à 16 % sur une majorité des stations de la région, par rapport à la période de référence¹¹⁰. Dans certaines stations, cette hausse du débit journalier maximal annuel pourrait être comprise entre 16 % et 24 %, comme à la Boulogne à Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (44), à l'Oudon à Segré (49), au Brionneau à Avrillé (49), au Loir au Lude (72) ou encore au Petit Lay à Saint-Hilaire-Le-Vouhis (85)¹¹¹. Dans les zones les plus exposées, notamment au nord de la région, l'augmentation pourrait dépasser 24 %, notamment sur le Lathan à Longué-Jumelles (49), la Vézanne à Malicorne-sur-Sarthe (72) ou l'Hyrome à Chanzeaux (49)¹¹².

D'ici à la fin du siècle, cette tendance devrait s'intensifier. **Dans plusieurs territoires, les crues pourraient atteindre des hausses de plus de 40 % du débit maximal annuel, comme sur l'Oudon au Moulin de Méral (44), la Vézanne à Malicorne-sur-Sarthe (72) ou l'Hière à Chérancé (53)**¹¹³. Ces évolutions sont d'autant plus préoccupantes que certains secteurs sont déjà fortement exposés au risque d'inondation, comme les vallées de l'Authion et de la Maine, ou encore la vallée de la Loire et ses affluents, notamment autour de l'agglomération nantaise¹¹⁴.

Figure 33 : Projection du maximum annuel des débits journaliers en région des Pays de la Loire en 2050 et 2100 (à partir de QJXA - Agrégation annuelle du maximum des débits mensuels).



Ainsi, à l'échelle de certains territoires, l'élévation de la sinistralité¹¹⁵ associée aux inondations pourrait tripler d'ici 2050, par rapport au niveau actuel de pertes annuelles moyennes¹¹⁶. Plusieurs tendances expliquent la progression des coûts : la fréquence accrue des événements climatiques ; l'étalement urbain dans les zones à risque ; la densité élevée, dans ces zones, d'enjeux humains et économiques¹¹⁷.

Au-delà de l'impact direct sur les populations et les infrastructures, ces épisodes peuvent aussi dégrader la qualité de l'eau. En période hivernale, des précipitations plus intenses, associées à un ruissellement accru et à une érosion plus marquée des sols, entraînent une augmentation de la turbidité, du transport de sédiments et du lessivage des polluants, affectant la qualité des milieux aquatiques comme celle de l'eau brute destinée à la consommation.

De nombreux territoires ligériens sont donc particulièrement vulnérables au risque d'excès d'eau sous la forme de crues et d'inondations dont les impacts sont multiples.

Submersions marines... la façade littorale en première ligne

Un autre risque d'excès d'eau se dessine de façon croissante dans les Pays de la Loire : celui lié à la mer. Si les inondations par débordement ou ruissellement concernent surtout les bassins versants continentaux, les zones littorales sont confrontées à des dynamiques spécifiques, qui combinent la montée du niveau marin, l'érosion côtière, les submersions marines et l'intrusion saline. Ces phéno-

mènes, déjà perceptibles, s'intensifieront avec les changements climatiques. Les projections climatiques indiquent que l'élévation du niveau de la mer pourrait dépasser 72 cm à l'horizon 2100, voire atteindre 1 mètre, dans les scénarios d'émissions les plus élevées (RCP 8.5)¹¹⁸, et franchir le seuil du mètre en cas d'accélération du réchauffement^{119 120}.

Cette hausse progressive transforme les aléas en profondeur¹²¹ : elle augmente la fréquence des submersions marines lors de tempêtes ou de fortes marées, réduit l'efficacité des ouvrages de protection existants, et favorise l'érosion des cordons littoraux. Les secteurs les plus vulnérables se situent dans les zones basses de la façade atlantique, notamment la baie de l'Aiguillon, l'île de Noirmoutier, le marais breton (dont la baie de Bourgneuf), l'estuaire de la Loire, ainsi que les marais du Payré, d'Olonne, de Guérande, de Pen Bé et de Pont Mahé¹²².

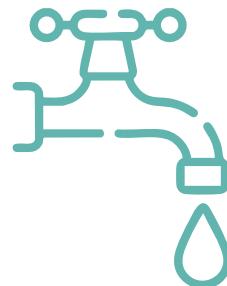
À ces aléas physiques s'ajoutent des pressions croissantes sur la qualité et la disponibilité en eau. En effet, la montée du niveau de la mer, conjuguée à la baisse des débits fluviaux en période d'étiage (décrise au chapitre précédent), favorise les intrusions salines dans les estuaires et les aquifères côtiers. Ces remontées salines menacent les écosystèmes d'eau douce, déstabilisent les systèmes d'approvisionnement en eau potable, et compromettent certaines activités agricoles. Dans l'estuaire de la Loire, ces phénomènes sont déjà observés. Lors d'étiages sévères, comme en 2019, la salinité progresse significativement vers l'amont. La station de Donges enregistre une salinité permanente lorsque les débits du fleuve passent sous les 850 m³/s¹²³. En dessous de 200 m³/s¹²⁴, le front salin peut atteindre Trentemoult, aux portes de l'agglomération nantaise.

À Cordemais, les épisodes de salinité sont désormais récurrents en été. La baisse tendancielle des débits, combinée à l'élévation du niveau marin, rend ces intrusions plus fréquentes, plus précoces et plus durables¹²⁵. Les nappes côtières, elles aussi, sont fragilisées. Dans un fonctionnement naturel ou peu influencé, la présence d'un écoulement d'eau douce du continent vers la mer a pour effet de «repousser» l'eau salée, plus dense, vers le bas : l'interface entre eau douce et eau salée est d'autant plus profonde que le niveau de la nappe est élevé par rapport au niveau de la mer, formant un «coin» ou «biseau» salé. Si, sous l'effet de prélèvements excessifs, le niveau de la nappe côtière baisse, alors en miroir l'interface eau douce - eau salée remonte, jusqu'à potentiellement atteindre la base des forages, rendant alors l'eau prélevée impropre à la consommation. Ce phénomène, déjà documenté dans plusieurs secteurs du littoral ligérien, réduit la qualité de l'eau disponible pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Ces intrusions peuvent également altérer durablement les sols et la biodiversité des zones humides littorales.

La gestion de ces risques cumulés – crues fluviales, submersions marines, salinisation – nécessite une approche intégrée entre les bassins versants et le littoral. Elle implique de renforcer la surveillance des dynamiques côtières, de restaurer les zones tampons naturelles (dunes, marais, vasières), d'adapter les infrastructures de protection et d'anticiper les usages sensibles à la qualité de l'eau.

Dans les zones les plus exposées, une stratégie d'adaptation devra également envisager des formes de retrait ou de transformation des activités humaines.

02. Des usages qui tendent à accroître les pressions sur l'eau



UNE AUGMENTATION OBSERVÉE DES PRÉLÈVEMENTS SOUS L'EFFET COMBINÉ DES PRATIQUES, DE LA DÉMOGRAPHIE ET DU CLIMAT

L'évolution des usages s'explique par une conjonction de facteurs structurels et conjoncturels : développement de l'irrigation agricole pour compenser la variabilité des rendements, évolution démographique et urbaine, pression touristique accrue en été, maintien d'usages industriels ou énergétiques consommateurs, et transformations des modes de vie (augmentation des surfaces arrosées, équipements domestiques, etc.).

En effet, d'un côté, l'élévation des températures entraîne une augmentation des besoins en irrigation pour les cultures, en eau de refroidissement pour certaines industries, et en alimentation en eau potable, notamment lors des épisodes de forte chaleur. De l'autre, les dynamiques démographiques – avec une croissance soutenue de la population dans l'ouest de la France – augmentent la pression structurelle sur les réseaux d'alimentation. Cette pression est encore accentuée par l'afflux saisonnier de touristes, particulièrement important dans les départements littoraux des Pays de la Loire. À ces évolutions s'ajoutent les transformations des modes de vie, le développement des équipements de confort (piscines, climatisation, tourisme de loisirs), ainsi qu'un usage souvent peu économique en eau, tant dans les sphères domestiques qu'économiques. La concomitance de ces facteurs

– climat, démographie, tourisme, développement économique – génère une double pression sur l'eau : d'un côté, une offre en eau qui se raréfie, de l'autre, une demande qui s'intensifie.

L'augmentation des besoins en eau est en partie liée à la croissance démographique. En effet, les dynamiques démographiques et la densité de population sont susceptibles d'accentuer les risques de déficit en eau, et plus particulièrement en période de sécheresse, en raison notamment d'une répartition inégale de sa disponibilité entre les territoires. Outre ces risques de déficit, la densité de population constitue également un facteur de sensibilité en cas d'excès d'eau, notamment face aux risques d'inondation et de crues. Entre 2016 et 2022, la Loire-Atlantique (+1,08 %/an) et la Vendée (+0,87 %/an) concentrent 90 % de la hausse démographique régionale, tandis que les autres départements connaissent une croissance plus faible de leur population voire un déclin¹²⁶. Par ailleurs, les principaux pôles urbains – Nantes, Saint-Nazaire, Angers, Le Mans – accueillent plus d'un tiers des habitants de la région¹²⁷. La façade littorale, quant à elle, constitue un autre foyer de densité : bien qu'elle ne représente que 5,5 % de la surface régionale, elle regroupe environ 9,5 % de la population¹²⁸.

Dans ces territoires à forte densité, les besoins en eau potable sont naturellement plus importants. À cela s'ajoute l'arrivée saisonnière des populations touristiques. Dans certaines communes littorales ou

périurbaines, la population peut doubler ou tripler en été. Ces dynamiques créent une inadéquation entre la demande ponctuelle et la capacité structurelle des systèmes d'alimentation en eau.

A cela, s'ajoute des besoins en eau pour certaines activités économiques à l'instar de l'agriculture qui est le premier secteur consommateur d'eau, ou les activités touristiques. Cette consommation répond à la fois aux changements de pratiques et aux aléas climatiques. En 2020, 157 000 hectares étaient irrigués, un chiffre en constante progression, avec une hausse de 106 000 hectares en 40 ans¹²⁹. Toutefois, les prélèvements restent stables depuis une quinzaine d'années et sont principalement soumis à la variabilité météorologique interannuelle. En ce qui concerne le tourisme, les effets des changements climatiques jouent un rôle paradoxal : alors qu'il fragilise la ressource, il renforce l'attractivité estivale de la région au détriment du sud, devenu trop chaud, accentuant la pression en été¹³⁰. En effet, attirés par des températures plus tempérées que dans le sud devenu trop chaud l'été, les visiteurs accroissent temporairement, mais significativement, la consommation en eau en période de tension maximale.

Ainsi, au fil des années, la répartition des usages a évolué. Les prélèvements industriels ont diminué, portés par l'amélioration des procédés et la transformation du tissu industriel¹³¹. Les consommations domestiques se sont stabilisées malgré la croissance démographique, grâce aux économies d'eau et à l'amélioration des réseaux. Les besoins agricoles pour l'irrigation ont fortement progressé un peu plus tard avant de se stabiliser ces dernières années mais restent les plus sensibles

aux aléas climatiques. Globalement, ces usages anthropiques rentrent en conflit avec les besoins naturels des milieux, d'autant plus compte tenu de la faible disponibilité en eau des cours d'eau de la région, entraînant régulièrement la mise en place de restrictions d'usage pour certains secteurs économiques.

DES PROJECTIONS SIMULANT UNE FORTE AUGMENTATION DES CONSOMMATIONS EN EAU SOUS L'EFFET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Dans les décennies à venir, les besoins en eau dans les Pays de la Loire devraient connaître une hausse notable, qui viendra accentuer les déséquilibres déjà observés entre l'offre et la demande en période estivale.

Une étude a simulé, en s'appuyant sur les projections climatiques d'Explore2 (cf. Paragraphe précédent), l'évolution des usages selon trois scénarios d'usages contrastés : un scénario tendanciel, un scénario respectant la mise en œuvre des politiques publiques annoncées (scénario "politiques publiques") et un scénario dit de "rupture". L'utilisation des projections climatiques a uniquement servi à estimer les besoins hydriques des cultures à l'horizon 2050. À l'échelle régionale, ces évolutions convergent vers un même constat : si rien ne change, les volumes prélevés et consommés pourraient doubler, voire tripler dans certains territoires d'ici 2050, au sein même de la région¹³². En effet, ces projections témoignent de hausses plus marquées dans certaines zones, telles qu'en Loire-Atlantique ou en Vendée, y compris dans les

scénarios "politiques publiques" et "de rupture"¹³³. Le secteur agricole constitue de loin le principal moteur de cette croissance. En effet, à l'échelle nationale et régionale, L'agriculture devient alors le premier préleveur en 2050 devançant l'énergie quel que soit le scénario d'usage.

Dans le scénario tendanciel ainsi que dans le scénario "politique publique", il est considéré que l'irrigation augmente fortement (cf. exposé méthodologique). Le scénario de rupture présente une augmentation, dans une proportion moindre, des surfaces irrigables du fait du développement du maraîchage et de l'arboriculture particulièrement marqué sur la région. Or, l'augmentation des superficies irrigables entraîne nécessairement une forte augmentation des volumes consommés en été à l'horizon 2050 sous l'effet des changements climatiques¹³⁴.

Les résultats de l'étude montrent que dans les bassins les plus agricoles, comme celui de la Maine ou des côtiers sud de la Loire, les volumes de consommation pourraient être multipliés par deux ou trois sur la période de mai à août dans le scénario tendanciel. En 2020, les consommations estivales sur le bassin de la Maine atteignaient déjà environ 80 millions de m³ par mois en période estivale. En 2050, elles pourraient dépasser les 160 millions de m³ sur certains mois. Même dynamique dans les côtiers sud de la Loire, avec des consommations susceptibles de passer de 36 à 96 millions de m³ en été¹³⁵.

Le sud de la région n'est pas épargné. Les prélèvements liés à l'irrigation dans le bassin de la Loire aval pourraient passer de 48 à plus

de 96 millions de m³ en juillet, tandis que les consommations doublent également pour atteindre 70 millions de m³ ce même mois¹³⁶.

Cette croissance est presque exclusivement concentrée sur la saison estivale : le reste de l'année, les niveaux de prélèvements résidentiels restent relativement stables, autour de 19 millions de m³ par mois¹³⁷. Le constat est similaire sur le bassin de la Vienne à la Maine, où les usages énergétiques dominent en hiver, mais où les besoins agricoles explosent entre mai et septembre. Les prélèvements mensuels estivaux y passeraient de 80 à 140 millions de m³, tandis que les consommations, liées à l'irrigation, grimperaient de 53 à plus de 96 millions de m³¹³⁸.

Même dans les bassins moins agricoles, comme celui de la Vilaine, la tendance est à la hausse. Les prélèvements pourraient y croître de 40 à 60 % en été¹³⁹, et les consommations suivre une trajectoire plus accentuée encore, doublant ou triplant en fonction de la pression agricole et touristique. Le pic mensuel de consommation, aujourd'hui autour de 7 millions de m³ en juillet, pourrait dépasser les 15 voire 17 millions de m³ en 2050¹⁴⁰.

Ces évolutions révèlent non seulement une intensification des besoins globaux, mais aussi une concentration de plus en plus marquée des usages sur la période estivale. La période de mai à septembre concentre la quasi-totalité de l'augmentation des prélèvements et des consommations. Cette saisonnalité accrue complique la planification et la régulation des usages, car elle fait coïncider au même moment une forte demande en eau avec une disponibilité hydrologique minimale.

Autre élément de vigilance : les consommations réelles, c'est-à-dire les volumes effectivement consommés et non restitués au milieu naturel, progressent plus que les prélèvements. Cela signifie qu'une part croissante de l'eau mobilisée est définitivement perdue pour les écosystèmes. Cette dynamique est particulièrement marquée dans les territoires agricoles. Dans le cas du scénario "politiques publiques"¹⁴¹, la construction de plus de trente retenues de substitution, pour un volume de 7,5 millions de m³, est simulée sur le bassin versant de la Charente¹⁴². La substitution des prélèvements estivaux par des prélèvements hivernaux pour remplir ces retenues permet un décalage de seulement 6,8% des prélèvements estivaux par rapport à une situation sans retenue¹⁴³. Autrement dit, même en considérant un remplissage complet des ouvrages de substitution, leur effet demeure limité, eu égard à la demande future.

Enfin, ces évolutions sont inégalement réparties sur le territoire. Si certains bassins versants cumulent une forte croissance des besoins, d'autres présentent des dynamiques plus modérées, en lien avec des profils d'usage différents (poids de l'industrie ou de l'énergie, part de la population desservie, niveau de pression touristique...).

C'est le cas de l'axe Loire dont l'augmentation des consommations est légèrement moins importante que celle des consommations sur la région.

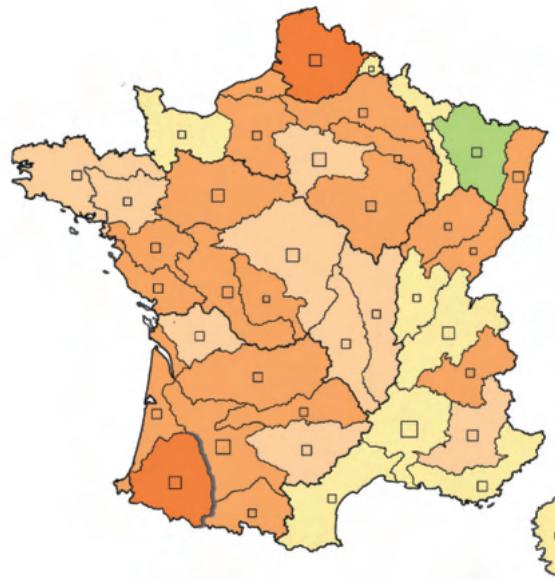
Pour conclure, quelle que soit la situation locale, l'ensemble des données converge vers un constat commun : dans un scénario tendanciel, les besoins en eau vont croître partout et rapidement alors que les ressources en eau diminuent. Ces

projections imposent non seulement de mieux répartir une ressource rare mais aussi de repenser collectivement les usages et les volumes mobilisés, en s'appuyant sur une planification territoriale, des stratégies de sobriété, des innovations techniques et une régulation forte en période de tension.

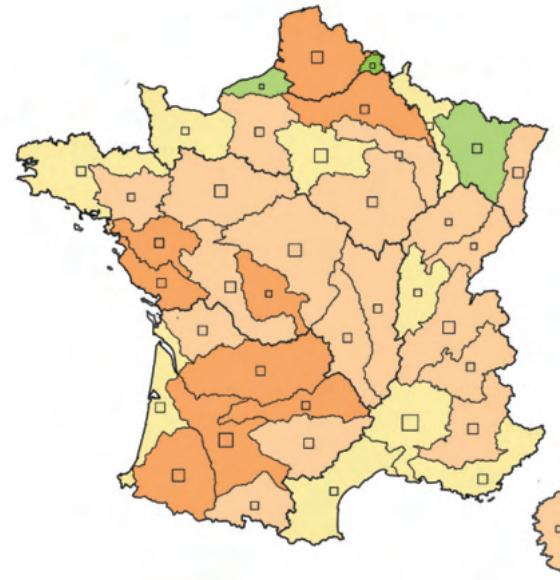
La trajectoire actuelle, si elle n'est pas infléchie, rendra la disponibilité en eau structurellement insuffisante pour satisfaire tous les besoins futurs.

Figure 34 : Évolution des consommations annuelles entre 2020 et 2050 selon les scénarios dans la configuration climatique la plus défavorable – RCP8.5 (en %)¹⁴⁴.

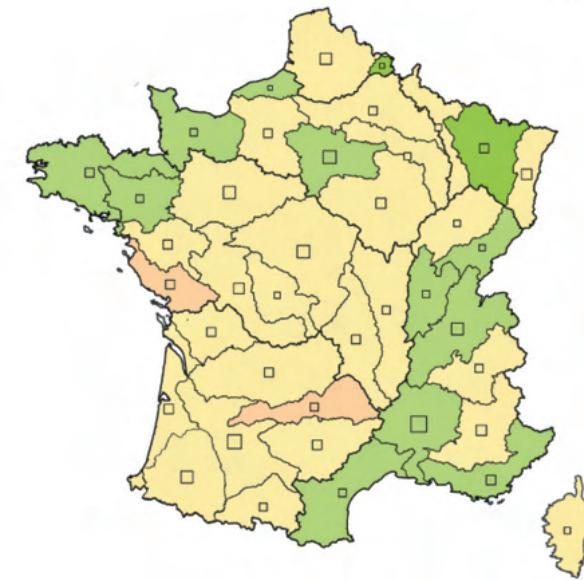
Scénario tendanciel



Scénario politiques publiques



Scénario de rupture



Évolution entre 2020 et 2050, en pourcentage

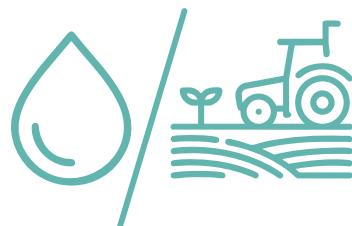


Consommations en 2020, en millions de m³



@GIEC des Pays de la Loire - Comité 21, 2025. Source : France Stratégie (2025)

03. Confrontation ressources usages : quels impacts sur la qualité de l'eau et les milieux ?



À l'horizon 2050, la pression sur l'eau sous l'effet des changements climatiques pourrait atteindre un niveau critique en Pays de la Loire.

Analyser l'évolution de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques sur les décennies passées représente un véritable challenge car il faut disposer de séries temporelles suffisamment longues. Les données acquises pour la surveillance des cours d'eau dans le cadre de la Directive Cadre européenne sur l'eau (DCE) sont particulièrement précieuses mais la profondeur temporelle ne permet pas encore d'extraire de tendances long-terme. Il y a aussi beaucoup de suivis opportunistes sur la biodiversité mais ceux-ci sont effectués sur des périodes limitées et ne permettent pas non plus d'extraire ces tendances.

Une récente étude a toutefois mis en évidence une augmentation de la température de l'eau mesurée dans les grandes rivières comme la Loire. Entre 1963 et 2019, la température moyenne de la Loire a augmenté de +0,44 °C par décennie, un rythme supérieur à celui de l'air ambiant¹⁴⁵. Cette élévation modifie la solubilité de l'oxygène, des sels et des nutriments, altérant directement l'équilibre chimique et biologique des milieux aquatiques. Elle favorise également la prolifération d'espèces opportunistes ou invasives, comme certaines cyanobactéries ou macrophytes, au détriment des espèces plus sensibles aux variations thermiques.

DES RÉPERCUSSIONS IMPORTANTES SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

À l'horizon 2050, la pression sur l'eau sous l'effet des changements climatiques pourrait atteindre un niveau critique en Pays de la Loire. L'évolution résulte de deux dynamiques convergentes : d'une part, une raréfaction de l'eau disponible ; d'autre part, une croissance de la demande, portée par les besoins agricoles. L'effet combiné de ces tendances creuse le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau, en particulier durant la période estivale.

Même s'il n'existe pas, à notre connaissance, de projections des effets des changements climatiques sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques sur la région au même titre que pour les débits et les usages, les évolutions projetées sur la quantité d'eau disponible dans les cours d'eau ont des répercussions directes sur sa qualité, à travers plusieurs mécanismes désormais bien documentés.

La diminution des débits réduit la capacité de dilution des cours d'eau induisant une augmentation de la concentration des polluants qu'ils soient d'origine agricole (nitrates, pesticides), domestique (rejets de stations d'épuration, réseaux d'eau pluviale) ou industrielle (micropolluants inorganiques et organiques).

A l'inverse, les épisodes de fortes pluies, de plus en plus fréquents au printemps et notamment en mai-juin, accélèrent les phénomènes de ruissellement et de lessivage des sols. En surface comme en profondeur, ces événements entraînent un transfert massif de polluants, issus des activités agricoles ou urbaines, vers les rivières et les nappes.

Le risque de dépassement des seuils critiques pour certains contaminants s'en trouve accru, y compris sur de courtes périodes, compromettant durablement la qualité de l'eau et menaçant les usages sensibles : baignade, alimentation en eau potable, conchyliculture ou préservation des zones humides¹⁴⁶.

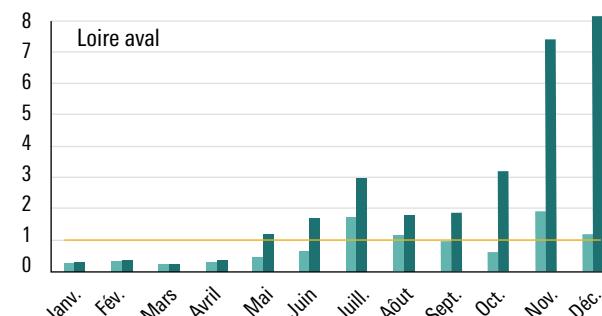
La biodiversité des cours d'eau s'en trouve appauvrie, et leur résilience écologique affaiblie. Le fonctionnement hydrologique dégradé, les pollutions plus fréquentes et les déséquilibres thermiques multiplient les pressions sur les milieux aquatiques. L'ensemble de ces évolutions crée des conditions de plus en plus défavorables à l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau.

Ces tendances sont encore renforcées dans les zones estuariennes, où le phénomène de remontée du bouchon vaseux, observé notamment dans l'estuaire de la Loire, accentue la turbidité, les désoxygénations et la concentration des polluants. Dans ce contexte, les effets des changements climatiques agissent comme un multiplicateur de vulnérabilités, qui vient s'ajouter aux pressions historiques liées aux activités humaines. Ils imposent d'agir simultanément sur plusieurs fronts : réduction des pollutions diffuses et ponctuelles, limitation de l'artificialisation des sols, restauration des milieux aquatiques, protection des zones humides et maîtrise des usages.

L'analyse des tendances futures montrent que la qualité de l'eau pourrait encore se détériorer dans les décennies à venir, dans un contexte de changements climatiques. L'élévation des températures accentuera les phénomènes de concentration des polluants, de sédimentation, et de rétention dans les cours d'eau. Elle pourrait également provoquer une surmortalité chez certaines espèces sensibles, tout en favorisant la prolifération d'espèces invasives, perturbant l'équilibre des écosystèmes^{147 148 149}. La reconquête de la qualité de l'eau devient ainsi une priorité stratégique de l'adaptation régionale, à la croisée des enjeux de santé, de biodiversité et de gestion durable de l'eau.

DES USAGES À CONCILIER AVEC LES BESOINS DES MILIEUX

Figure 35 : Rapport mensuel entre les besoins environnementaux et les volumes disponibles pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèle hydrologique ORCHIDEE en bleu clair et SMASH en bleu foncé) sur le bassin versant de la Loire aval¹⁵⁰.



@GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : France Stratégie (2025)

Si les prélèvements et les consommations en eau liés à l'activité humaine sont en hausse, ces usages rentrent en conflit avec les besoins des milieux naturels, en particulier lors de la période estivale. Sur le bassin de la Loire aval, d'ici 2050 et dans le cas d'une année marquée par un printemps et un été sec, les besoins des écosystèmes pourraient être dépassés en été, particulièrement en juillet et en août, ainsi que sur les mois de novembre et décembre. Les résultats témoignent de déficits plus ou moins marqués selon les scénarios¹⁵¹. **La continuité écologique des cours d'eau pourrait être affectée par des assecs beaucoup plus fréquents.**

Aussi, dans le futur, ces situations de stress thermique pour les écosystèmes pourraient s'accroître. La résilience des écosystèmes sera d'autant plus importante que la diversité de ces derniers sera assurée. La préservation des écosystèmes et la prise en compte de leurs besoins est une nécessité.

FACE À UNE BAISSE DE LA DISPONIBILITÉ, ET À DES BESOINS ACCRUS, DES RISQUES CROISSANTS DE TENSION

En 2050, dans le cadre d'une année caractérisée par un printemps et un été sec, les risques de tensions sévères sur l'eau pourraient être particulièrement importants. Ainsi, selon les modèles hydrologiques, et dans un scénario tendanciel, le bassin des côtières sud Loire pourrait être en état de stress sévère quatre mois dans l'année de juillet à octobre et le bassin de la Vilaine pourrait l'être durant deux mois

(d'août à septembre)¹⁵². Face au manque d'eau, les niveaux de prélèvements (ratios des volumes prélevés par rapport aux volumes disponibles) et de consommations (ratios des volumes consommés par rapport aux volumes disponibles) risqueraient d'accroître les tensions déjà existantes. Dans ces territoires particulièrement vulnérables, il s'agira donc de porter une attention à la fois aux prélèvements et aux consommations. Ce, d'autant plus qu'il est essentiel de considérer les relations amont-aval entre les bassins versants. Ainsi à titre d'exemple, en 2050 dans un scénario tendanciel, les consommations des six bassins-versants situés en amont de celui de la Loire aval représenteraient 138 millions de m³ sur le mois de juillet, alors que les consommations du bassin lui-même pourraient être de l'ordre de 45 millions de m³ dans les mêmes configurations¹⁵³.

Rapportées à une année entière, les consommations du bassin versant de la Loire aval par exemple s'élèveraient à 164 millions de m³ et les consommations totales des six bassins versants situés en amont à 643 millions de m³. Les solidarités entre les territoires apparaissent ainsi comme nécessaire¹⁵⁴.

Aussi, sous l'effet des changements climatiques, les risques de tensions et les conséquences sur les écosystèmes pourraient être de plus en plus importantes, et les risques de stress chronique sur plusieurs années consécutives pourraient devenir majeurs. **Des actions de protection et d'adaptation visant à conserver la diversité et la richesse des écosystèmes, ainsi que la mise en œuvre d'une démarche de sobriété apparaissent donc comme des impératifs face aux enjeux associés à l'eau¹⁵⁵, dans une logique de solidarité territoriale.**



© Région des Pays de la Loire / J. Sarago

04. Quelles mesures d'adaptation ?



L'aménagement du territoire constitue également un facteur déterminant dans la sensibilité des territoires face aux risques hydro-climatiques.

La variété des milieux naturels au sein de la région soulève la question de la solidarité hydrologique entre les territoires. Les bénéfices environnementaux des écosystèmes locaux (bocage, zone humide, forêt) dépassent souvent les seules limites administratives. De même, des aménagements locaux (endiguements, barrages, prélèvements), les pollutions issues des activités agricoles, industrielles ou urbaines ont des impacts perceptibles sur l'ensemble du réseau hydrographique aval. La qualité de l'eau, les niveaux de nappe ou encore les débits des rivières sont donc le résultat de dynamiques collectives qui appellent des réponses coordonnées à l'échelle des bassins versants et des impluviums, notamment au regard des politiques d'aménagement du territoire.

En complément de la maîtrise des pressions directes, notamment les prélèvements d'eau et les pollutions, la reconquête de la qualité des milieux aquatiques en région doit reposer sur la préservation, la restauration et la valorisation des écosystèmes et de leurs services environnementaux : protection et restauration des zones humides, replantation de haies afin de limiter la propagation des ruissellements, reconquête des corridors écologiques, trames vertes et bleues à l'échelle des documents d'aménagement et d'urbanisme (SRADDET, SCOT, PLU(i)). De nombreuses initiatives montrent la voie, à l'image des programmes de restauration de marais littoraux en Vendée, de renaturation de cours d'eau dans

le Maine-et-Loire ou de replantation de haies en Mayenne. Ces actions ont toute leur place dans une stratégie d'adaptation globale. Car, au-delà de la conservation de la biodiversité, ces paysages sont aujourd'hui un levier pour atténuer les aléas hydro-climatiques, et améliorer la qualité de vie des habitants en leur offrant des îlots de fraîcheur.

D'un point de vue quantitatif, le niveau des ressources en eau, qu'il s'agisse des volumes écoulés annuels, des débits d'étiages ou de niveaux des nappes souterraines, est essentiellement déterminé par le climat (pluviométrie, évapotranspiration potentielle), la géologie des bassins versants et la nature des sols – en particulier leur réserve utile¹⁵⁶, ainsi que par le volume des prélèvements et des consommations liés aux activités anthropiques. Notons que c'est sur ce constat que reposent les études «Hydrologie - Milieu - Usages - Climat» (HMUC) ou les projections Explore 2.

L'impact de l'occupation des sols ou plus encore de structures paysagères comme le bocage et les haies sur les bilans hydrologiques des bassins versants, est probablement très variable selon la nature des territoires et le plus souvent difficile, voire impossible à mettre en évidence¹⁵⁷. Il n'est perceptible que dans le cas de modifications majeures de l'occupation des sols sur une proportion importante de la surface des bassins versants : l'augmentation de la couverture forestière des territoires conduit ainsi généralement à une réduction des écoulements annuels¹⁵⁸.

En revanche, l'effet des remembrements, localement massifs, qui ont touché de nombreux territoires en France durant la seconde moitié du vingtième siècle, et les disparitions du bocage et des haies qui les ont accompagnés¹⁵⁹ n'ont pas été à l'origine de modifications notables des bilans hydrologiques des territoires concernés à notre connaissance. La sobriété et l'optimisation des usages de l'eau sont donc le premier et le principal levier d'action dans les territoires en tension. La création ou l'augmentation des capacités de stockage inter-saisonnier de l'eau (réserves de substitution), souvent invoquées comme une solution pour répondre aux effets des changements climatiques et à la réduction des ressources en eau estivales, ont des impacts à l'échelle des bassins versants qu'il faut considérer¹⁶⁰ et peuvent accentuer la vulnérabilité des territoires en cas de périodes de sécheresses pluriannuelles, ne permettant pas leur remplissage hivernal. Il s'agit donc d'une option d'aménagement qui doit être pensée à l'échelle territoriale – la ressource mobilisable en période hivernale est également limitée - et qui n'épargne pas une réflexion sur les usages et leur sobriété.

L'aménagement du territoire constitue également un facteur déterminant dans la sensibilité des territoires face aux risques hydro-climatiques. Selon les modes d'occupation des sols et les infrastructures mises en place, les effets des aléas climatiques peuvent être aggravés ou, au contraire, les capacités d'adaptation¹⁶¹ renforcées. Avec près de 10 % de son territoire artificialisé, la région des Pays de la Loire se situe au troisième rang des régions les plus touchées en France par le phénomène d'artificialisation, derrière la Bretagne et les Hauts-de-France^{162 163}. Certains aménagements, au premier

rang desquels l'imperméabilisation dans les zones urbanisées, mais aussi certaines pratiques agricoles intensives, contribuent à homogénéiser les milieux et à favoriser les ruissellements, accentuant localement les risques de crues soudaines et de coulées de boues^{164 165}.

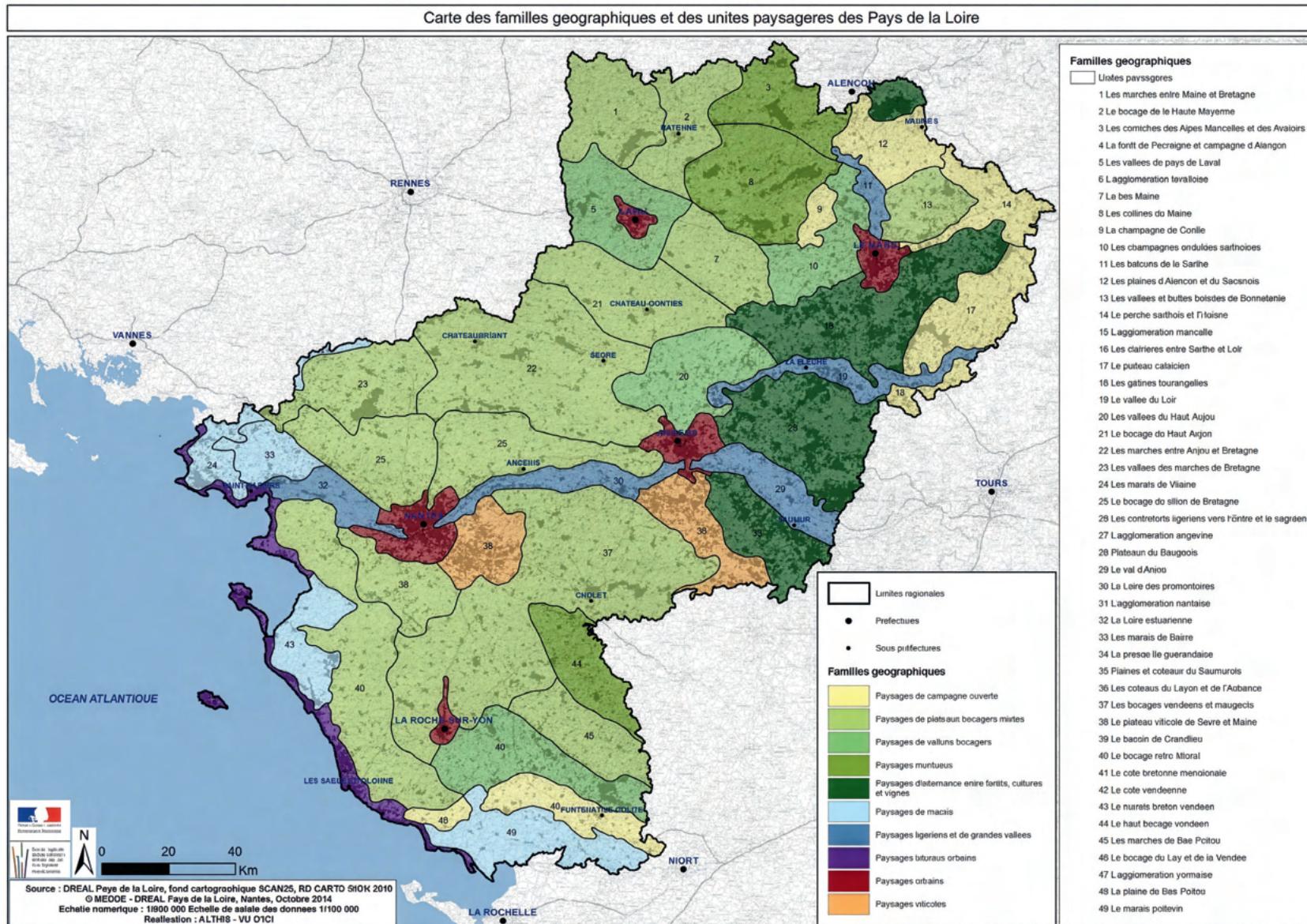
Par ailleurs, la destruction de la végétation en bord de cours d'eau (ripisylve), des haies, des zones humides alluviales ou sur le littoral (forêts côtières, cordons dunaires) fragilise les milieux et réduit leur rôle d'atténuation et de ralentissement lors des inondations. Les ouvrages, tels que les barrages ou les digues, bien que conçus pour protéger des territoires ou réguler les crues, peuvent également présenter un risque en cas de rupture comme ce fut le cas pour la digue de la Divatte ou des digues du val d'Authion lors des grandes crues de la Loire de 1856 et 1910¹⁶⁶.

Dans un contexte d'intensification des pluies et de possible évolutions des risques de crues, il devient urgent de concilier la gestion de l'eau et les politiques d'aménagement. Cela implique de passer d'une logique d'expansion urbaine et de tentative de maîtrise des crues via des ouvrages hydrauliques, à une logique de sobriété foncière, de gestion des eaux pluviales à la source et de régénération des milieux. Les Solutions fondées sur la Nature (SFN) apportent des réponses opérationnelles à ces enjeux^{167 168 169}. En s'appuyant sur les fonctionnalités des écosystèmes (filtration, ralentissement des écoulements, rafraîchissement), elles permettent de concilier lutte contre les aléas, amélioration du cadre de vie, et restauration de la biodiversité. Il s'agit non seulement de techniques, mais également d'un changement de paradigme

dans la manière d'occuper l'espace, avec une vision de long terme fondée sur la résilience des territoires. En zone littorale, les cordons dunaires, les marais et les forêts côtières jouent un rôle crucial dans la protection du trait de côte contre l'érosion et la limitation des submersions marines, en atténuant la puissance de la houle et en formant des barrières naturelles. Il faut toutefois garder à l'esprit que les SFN, si elles permettent une gestion plus équilibrée et résiliente des aléas hydro-climatiques dans les territoires, n'éliminent cependant pas entièrement les risques. La présence de haies limite par exemple la propagation des coulées de boue et ruissellements courants sur les versants, mais leur influence s'estompe pour les événements plus intenses^{170 171}.

La prévention des risques hydro climatiques doit donc reposer sur deux axes complémentaires : la maîtrise des aléas où les SFN ont toute leur place, mais aussi la réduction de l'exposition et de la vulnérabilité des biens et des personnes. Les politiques de réduction de vulnérabilité doivent pouvoir prendre appui sur des cartographies des zones exposées aux inondations et notamment aux inondations par ruissellements ●

Figure 36 : Typologie de géographie et d'unités paysagères dans les Pays de la Loire¹⁷².



@GIEC des Pays de la Loire - Comité 21 (2025). Source : DREAL des Pays de la Loire (2016)



© Région des Pays de la Loire / Suire Yannis

EN RÉSUMÉ

L'eau en Pays de la Loire est soumise à une pression croissante, liée à la fois à l'intensification des besoins agricoles, à la croissance démographique, à l'essor du tourisme et aux dynamiques économiques.

Cette demande soutenue se superpose à des contraintes naturelles fortes – faibles réserves souterraines, étiages marqués, artificialisation des sols – qui réduisent la résilience du territoire face aux sécheresses comme aux excès d'eau.

Cette situation met en lumière l'urgence d'une gestion plus sobre et plus solidaire de la ressource, conciliant usages humains et besoins des milieux naturels, et ce d'autant plus que les projections font état d'une situation qui pourrait s'aggraver en région.

Face à des pressions multiples et de plus en plus importantes, une transformation profonde des modes de gestion de l'eau apparaît essentielle. La simple adaptation ponctuelle ne suffira pas : il s'agit désormais d'anticiper collectivement les tensions, de renforcer les solidarités entre territoires, de préserver les écosystèmes régulateurs et de promouvoir une véritable culture de sobriété. Seule une planification territoriale intégrée, conciliant besoins humains, résilience écologique et adaptation aux changements climatiques, permettra de garantir un avenir viable pour l'eau dans la région ●



Conclusion

A l'échelle de la région des Pays de la Loire, il demeure difficile de dégager des tendances claires et homogènes quant aux impacts des changements climatiques sur la ressource en eau. Néanmoins, certains signaux commencent à émerger, particulièrement concernant l'intensification des étiages en période estivale, bien qu'il soit encore actuellement difficile d'isoler l'effet du climat ou des prélevements. En revanche, les projections sont sans ambiguïté et tous les modèles s'accordent et prédisent une nette diminution des débits des étiages dans les décennies à venir. Par ailleurs, dans un contexte où la hausse globale des températures se poursuit, les pressions sur la ressource en eau et sur la qualité des milieux naturels vont s'exacerber.

Cette situation impose de renforcer dès à présent les efforts de sobriété et l'exigence d'efficience de l'usage des ressources en eau alors même que les besoins exprimés par les usages s'accroissent. Aussi, elle exige un pilotage plus fin, permettant un meilleur suivi de la ressource, à travers la consolidation des réseaux d'observation existants et le renforcement de l'effort de recherche et de développement des connaissances.

A ce jour, le GIEC des Pays de la Loire (GIEC-PL) soulève que le manque de données, particulièrement concernant les observations sur de longues périodes, reste un frein majeur pour caractériser les effets des changements climatiques et les évolutions possibles. Qu'il s'agisse de données en lien avec les usages, des mesures fiables des faibles débits des cours d'eau ou encore la qualité de l'eau, le GIEC-PL appelle les pouvoirs publics et les opérateurs à prendre conscience de l'importance de disposer de séries de données robustes et de renforcer les programmes d'observation engagés à ce jour.

Parallèlement, les risques liés aux aléas climatiques majeurs (submersions marines, inondations...) présentent des caractéristiques contrastées : si l'on anticipe une modification dans le régime des précipitations, les tendances sur les inondations restent encore incertaines par exemple. Néanmoins, les milieux urbains apparaissent davantage vulnérables en raison de l'aménagement du territoire. Ainsi, face à ces enjeux et à des épisodes possiblement plus fréquents et plus intenses à l'avenir, l'adaptation des territoires et des infrastructures n'est plus une option, à l'instar des systèmes d'assainissement urbains. La connaissance des zones exposées aux inondations, en particulier liées aux ruissellements, et la maîtrise de l'aménagement de ces zones doivent être approfondies.

Enfin, le GIEC-PL rappelle que l'incertitude scientifique ne doit en aucun cas être un frein à l'action mais au contraire appeler à redoubler de prévoyance et de prudence. Il s'avère essentiel de poursuivre et d'accroître les efforts de préparation et d'adaptation en considérant que les scénarios les plus défavorables sont plausibles, en particulier pour les territoires les plus exposés aux enjeux de la ressource en eau face aux conséquences des changements climatiques. Aussi, ces travaux s'inscrivent plus largement dans un travail systémique dont l'objectif est de rendre compte de la vulnérabilité des populations, des territoires et de l'économie face aux changements climatiques ●

Glossaire

a

Assec

Assèchement temporaire d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau.

b

Bassin versant

Aire de collecte terrestre à l'intérieur de laquelle tous les écoulements, de surface ou en profondeur, se dirigent vers le même exutoire.

Biseau salé

Phénomène naturel constitué par la partie d'un aquifère côtier envahie par de l'eau salée (généralement marine), comprise entre la base de l'aquifère et une interface eau douce - eau salée, le coin d'eau salée étant sous l'eau douce. Le pompage à un débit excessif dans le compartiment «eau douce» peut provoquer une remontée de ce biseau salé vers la surface, et rendre les eaux prélevées impropre à la consommation.

c

Crue

Augmentation plus ou moins brutale du débit d'un cours d'eau. Les crues constituent des phénomènes naturels récurrents, qui participent au cycle naturel

d'un cours d'eau. La pointe de la crue définit le niveau le plus haut ou le débit le plus fort atteint par une crue. Certaines crues sont plus importantes que d'autres en raison de plusieurs facteurs : intensité ou cumul de l'événement pluvieux, saturation initiale des sols... et peuvent provoquer des débordements (inondations) affectant les activités humaines.

e

Effets orographiques

Influences locales du relief (montagnes, collines) sur un motif de circulation atmosphérique plus général. Les reliefs peuvent tantôt forcer l'air à s'élancer, se refroidir et condenser son contenu en vapeur d'eau (provoquant souvent des pluies sur le versant exposé au vent), ou au contraire provoquer un réchauffement et un assèchement relatif des masses d'air sur le versant opposé (effet de foehn).

Evapotranspiration potentielle (ETP) :

Somme de la transpiration du couvert végétal et de l'évaporation du sol pouvant se produire en cas d'approvisionnement suffisant en eau. Il s'agit donc de la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné et considérant un couvert végétal de référence suffisamment alimenté en eau.

f

Foehn (effet de)

Assèchement relatif des masses d'air à l'aval des obstacles topographiques.

i

Inondation

Submersion temporaire d'un espace habituellement hors d'eau. Les inondations peuvent être dues à une pluralité de facteurs : débordements de cours d'eau (crue amenant un cours d'eau à sortir de son lit mineur), ruissellements (notamment urbains en raison de l'imperméabilisation des sols), remontées de nappes (en cas de précipitations de longue durée notamment), ou encore en raison de submersions marines (housse du niveau moyen des océans, pouvant affecter les zones côtières).

m

Module

Moyenne pluri-annuelle du débit d'un cours d'eau. Il peut s'exprimer en volume par unité de temps, (m^3/s ou L/s par exemple), ou être ramené à une unité de surface pour permettre la comparaison entre des bassins versants de surfaces

différentes (auquel cas on l'exprime fréquemment en mm/an , 1 mm représentant également 1 litre par mètre carré).

Moyennes eaux

Les moyennes eaux d'un cours d'eau correspondent à une gamme de débits intermédiaires entre hautes eaux et basses eaux, gamme centrée autour du débit moyen interannuel (module).

n

Nappes capacitives ou peu capacitives

Les nappes d'eau peu capacitives se caractérisent par de faibles capacités de stockage de l'eau dans la porosité des roches, tandis que les nappes capacitives détiennent d'importantes capacités de stockage de l'eau.

p

Période d'étiage

Période où le débit d'un cours d'eau est à son niveau minimal, autrement appelée période de basses eaux. Cette période s'étend généralement sur plusieurs mois. Les débits d'étiage sont particulièrement liés à la géologie du bassin versant considéré, compte tenu de la forte dépendance aux écoulements souterrains.

Pluviométrie

Quantité de pluie tombée en un lieu donné et pendant une période donnée (année, saison, mois...), exprimée en millimètres (mm).

Pressions hydromorphologiques

Ensemble des modifications d'origine humaine altérant le fonctionnement physique et hydraulique d'un cours d'eau, d'un lac ou d'une zone humide (recalibrage, endiguement, rectification, extraction de granulats, destruction ou déconnexion des zones humides, etc.). Elles peuvent affecter le fonctionnement écologique des écosystèmes aquatiques.

q

QMNA

Débit (Q) Mensuel (M) minimal (N) de chaque Année civile (A). On le calcule chaque année, par définition, en calculant d'abord les 12 valeurs moyennes du débit sur les mois calendaires de janvier à décembre, puis en retenant le minimum de ces 12 valeurs (ce n'est donc pas forcément le même mois tous les ans pour un cours d'eau donné). La moyenne interannuelle des QMNA, sur une période de 30 ans par exemple, donne un débit d'étiage typique du cours d'eau, non extrême.

QMNA quinquennal sec (QMNA5)

Valeur du QMNA telle qu'elle ne se produit qu'une année sur cinq, expression ambiguë qu'il vaut mieux remplacer par vingt années par siècle. Sa définition exacte est «débit mensuel minimal annuel (QMNA) ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé une année donnée». Le QMNA5 est donc un indicateur d'étiage sévère, par construction.

r

Régime tamponné

Régime faiblement variable selon les saisons.

Ressource allochtoine

Ressource provenant d'autres territoires que la région.

Ressource en eau renouvelable

Ressource renouvelable mais limitée dans le temps et dans l'espace, qui regroupe l'ensemble des eaux disponibles, à la fois continentales et marines, et des ressources naturelles mobilisables et accessibles pour satisfaire, en qualité et en quantité, une demande donnée (provenant des écosystèmes ou des activités humaines), à une période définie.

S

Sous-bassin versant

Partie d'un bassin versant, délimitée par des lignes de partage des eaux secondaires, qui draine ses eaux vers un affluent ou une portion spécifique du réseau hydrographique principal. En d'autres termes, c'est un bassin versant plus petit, inclus dans un bassin plus grand.



© Région des Pays de la Loire / Suire Yannis

Encadré méthodologique

CHOIX MÉTHODOLOGIQUES DANS LES PROJECTIONS CLIMATIQUES RÉGIONALES

Les projections climatiques utilisées dans ce rapport proviennent des données publiques de DRIAS / Météo-France, accessibles à l'adresse suivante : <https://www.drias-climat.fr/>, et mobilisées dans le cadre du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC3).

Le GIEC des Pays de la Loire a fait le choix de s'appuyer sur le scénario d'émissions RCP 8.5, en tenant compte des valeurs medianes, qui repose sur l'hypothèse d'une poursuite de la croissance des émissions de gaz à effet de serre selon les tendances actuelles. Deux raisons principales motivent ce choix :

- Les températures observées au cours des dix dernières années sur le territoire et à l'échelle de la planète sont déjà supérieures aux projections RCP 8.5 des températures à horizon 2030, ce qui signifie que les impacts des projections à 2030 sont déjà sous-estimés par rapport à la réalité actuelle.
- La période de référence des normales climatiques retenue par DRIAS / Météo-France est 1976–2005. Les projections sont issues des modèles du programme CMIP5, qui couvrent donc la période 2006–2100. Par construction, ce cadre temporel ne tient pas compte des vingt dernières années, pourtant marquées par une accélération notable du réchauffement climatique. Cette absence des

deux dernières décennies dans la période de référence historique induit un biais potentiel dans l'estimation des écarts projetés de température, qui risque dès lors de sous-estimer l'ampleur des changements climatiques déjà en cours..

Par ailleurs, pour la région des Pays de la Loire, le scénario RCP 8.5 correspond globalement à la trajectoire dite des +4 °C retenue par l'État français dans le cadre de ses travaux d'anticipation des impacts climatiques à long terme (TRACC). Ce choix permet donc d'assurer une cohérence avec les scénarios nationaux de référence et de travailler sur une hypothèse haute, nécessaire pour dimensionner les politiques d'adaptation face aux risques majeurs.

Le GIEC des Pays de la Loire, s'appuyant sur une expertise scientifique pluridisciplinaire, a pour ambition de structurer une connaissance utile à l'action, visant à favoriser une lecture partagée et opérationnelle des enjeux climatiques locaux, et à éclairer les décisions d'aménagement, de planification et d'adaptation. Conscient de ces limites, il mettra néanmoins à disposition des collectivités partenaires les données climatiques brutes issues des projections disponibles sur les principaux indicateurs physiques du climat (températures, précipitations, sécheresses, vagues de chaleur, risque de départs de feu, etc.), à l'échelle de chaque EPCI du territoire. Ces données permettront d'enrichir les diagnostics territoriaux, d'anticiper plus finement les risques, et de dimensionner les stratégies locales d'adaptation sur des bases plus réalistes.

À l'échelle internationale, la période de référence désormais utilisée par le GIEC et l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) est 1991–2020, et le jeu de modèles climatiques le plus récent repose sur les projections du programme CMIP6. Ce dernier intègre l'évolution récente des températures et les modifications des régimes de précipitations observées au cours des vingt dernières années.

Toutefois, l'ensemble des projections CMIP6 n'est pas encore disponible à l'échelle locale. Par conséquent, les études d'impact fondées sur ce jeu de données demeurent limitées, et les indicateurs associés n'ont pas encore fait l'objet d'une modélisation approfondie au niveau régional.

Depuis le 6ème rapport du GIEC, de nouveaux scénarios climatiques ont été développés : les SSP (Shared Socio-economic Pathways), lesquels viennent remplacer les scénarios dits RCP (Representative Concentration Pathways). Le SSP5-8.5 correspond à un scénario tendanciel reposant sur un développement fondé sur les énergies fossiles, projetant un réchauffement mondial moyen de +2,4°C d'ici 2050, et de +4,4°C d'ici la fin du siècle, soit un niveau proche du scénario retenu dans le cadre de la TRACC qui prévoit un réchauffement des températures de +4°C à l'échelle mondiale et de +4°C d'ici 2100 en France. Certaines modélisations à des échelles plus locales n'intègrent pas encore ces SSP, à l'image des modélisations réalisées par Météo-France.

PRÉCISIONS MÉTHODOLOGIQUES COMPLÉMENTAIRES

Le système climatique est un ensemble complexe constitué de cinq composantes principales : l'atmosphère, les surfaces continentales, l'hydrosphère (océans, lacs, rivières, nappes d'eau souterraines...), la cryosphère (glaces, manteau neigeux) et la biosphère (l'ensemble des organismes vivants dans l'air, sur terre et dans les océans).

Ces cinq composantes du système interagissent entre elles en échangeant eau, chaleur, mouvement et composés chimiques, ce qui constitue le climat. Le comportement du système climatique est influencé par des forçages, un terme qui désigne les perturbations dans l'équilibre énergétique de la Terre. Ces forçages modifient le bilan radiatif du système climatique, c'est-à-dire la différence entre l'énergie reçue en provenance du Soleil et l'énergie rayonnée par la Terre vers l'espace. Ils sont de deux types : naturels (notamment liés aux variations du rayonnement solaire et aux éruptions volcaniques) ou anthropiques (dus aux activités humaines). Il est scientifiquement admis que les changements climatiques sont liés aux forçages anthropiques. En effet, la pression exercée par l'Homme (combustion d'énergie fossile, modification de l'utilisation des sols, déforestation...) a entraîné une augmentation continue de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, empêchant l'énergie solaire de repartir vers l'espace (effet de serre) et contribuant ainsi à réchauffer la surface terrestre et une partie de l'atmosphère.

Pour connaître l'effet du réchauffement global sur les températures régionales, le GIEC des Pays de la Loire s'appuie sur les données de Météo-France. Il compare l'écart des températures actuelles avec les valeurs observées sur une période de référence de trente ans (1961-1990), conformément aux règles imposées par l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM). Ces données s'appuient sur les relevés « météo » (516 stations dans les Pays de la Loire). À noter que cette période de référence n'est pas la même que celle utilisée dans les accords internationaux pour estimer le réchauffement global planétaire (1850-1900) et pour laquelle Météo-France ne dispose pas de données régionales suffisamment fiables. En ce qui concerne les projections climatiques, d'autres références sont utilisées, plus récentes (1976-2005 ou 1991-2020). Le GIEC-PL attire l'attention du lecteur sur les différentes périodes de références, qui peuvent être source de mauvaise compréhension.

Pour modéliser le climat futur, le GIEC des Pays de la Loire s'appuie sur un jeu de données issu de l'ensemble Euro-CORDEX (DRIAS-2020). Ces données intègrent trente modèles climatiques, dont le GIEC-PL a retenu la valeur médiane. Si dans les précédents rapports du GIEC-PL, deux scénarios d'évolution des GES avaient été pris en compte, sous le format RCP (« Representative Concentration Pathways », 5e rapport du GIEC International) : RCP2.6 (scénario optimiste, qui permet d'atteindre un pic des émissions avant 2050) et RCP8.5 (scénario pessimiste où les émissions continuent d'augmenter au rythme actuel), cette présente

note s'appuie sur un fonctionnement différent. En effet, les données présentées, le sont uniquement sous le format RCP8.5 afin de donner un aperçu des conséquences potentielles des changements climatiques en Pays de la Loire si aucune mesure n'est engagée et que les émissions continuent de suivre une trajectoire similaire à la période actuelle.

Le GIEC-PL rappelle l'importance de concilier atténuation et adaptation, et d'engager des mesures permettant de réduire les émissions de GES, conformément aux préconisations formulées dans son second rapport. Il est important de préciser que les scénarios d'émissions ne suffisent pas à simuler l'évolution future du climat. Les modèles climatiques prennent également en compte les milieux (atmosphère, surface continentale, proximité de l'océan) et les échanges entre ces milieux.

Par ailleurs, cette note fait référence à plusieurs horizons temporels : un horizon proche, autour de 2030 (2021-2050) ; un horizon moyen, autour de 2050 (2041-2070) ; un horizon lointain, à la fin du siècle (2071-2100). Ces différents marqueurs temporels étaient d'ailleurs ceux utilisés dans le cadre des deux premiers rapports du GIEC-PL. Dans cette note, les cartes et figures présentées s'appuient sur une projection à horizon 2050 et/ou 2100 (figures 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 et 35).

L'horizon moyen (2050) donne premièrement la possibilité de rendre compte des évolutions prévisionnelles d'ici 30 ans, ce qui correspond à une période stable et représentative, permettant

de souligner l'évolution du climat pour un territoire considéré. Par ailleurs, l'horizon 2050 est un référentiel s'articulant avec celui utilisé dans le cadre des stratégies, nationales et internationales, mises en place afin d'atteindre la neutralité carbone, à l'image de la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Cet horizon est aussi une référence permettant de rendre compte des impacts prévisionnels des changements climatiques, tout en proposant des mesures d'atténuation et d'adaptation visant à contrecarrer les effets des changements climatiques. L'horizon lointain (2100) permet quant à lui de rendre compte des projections possibles au regard des trajectoires d'émissions de gaz à effets de serre. En effet, le climat futur en France et en région Pays de la Loire à cette échelle temporelle dépendra fortement des trajectoires climatiques suivies.

DONNÉES RÉTROSPECTIVES RÉGIONALES

Ce rapport propose dans le cadre d'une première partie, de dresser un état des lieux de la situation hydrologique de la région à travers l'analyse de données rétrospectives. Cet état des lieux comprenant notamment une analyse de la géologie régionale – nécessaire pour comprendre les enjeux associés à la ressource en eau. Les caractéristiques géologiques de la région sont notamment représentées à travers la figure 4.

Ce rapport comprend par ailleurs une analyse des données en lien avec la pluviométrie, issues des données Météo-France, lesquelles sont notamment

représentées dans les figures 5,6,7, 20 et 21. Pour certaines d'entre elles, les données ont fait l'objet d'un traitement statistique à l'instar des données représentées dans les figures 20 et 21. Les tendances ainsi présentées sont en effet le résultat du test statistique de Mann-Kendall et de la méthode de Sen. La « p-value », c'est-à-dire la significativité du test statistique, indique ainsi la probabilité que le résultat observé se produise si l'hypothèse nulle est correcte.

Outre les données de pluviométrie moyenne, l'état des lieux régional est complété par l'analyse de données en lien avec l'évapotranspiration moyenne (figures 22 et 23). Il est à noter que les périodes d'observation sélectionnées ne sont pas les mêmes selon les séries de données, en raison notamment de l'accessibilité des mesures.

Le régime hydrologique de la région est par ailleurs étudié au regard des écoulements moyens, illustrés dans la figure 8. Dans cette figure, la courbe en trait plein indique la moyenne interannuelle des écoulements pour chaque mois, et l'enveloppe donne les valeurs du débit mensuel quinquennal sec (quantile 20%) et quinquennal humide (quantile 80%). Les limites de la région sont en pointillés blancs.

Enfin, les données de débits permettent de compléter l'analyse. Elles proviennent notamment de la publication de Delaigue et al. (2019) et des données Eau France (figures 9, 10 et 11). La figure 10 représente en effet les données moyennes des débits d'étiage. Pour ce faire, l'indicateur retenu est celui des valeurs moyennes du débit mensuel minimum annuel (QMNA). La figure 11 illustre quant à elle

les débits d'étiage sévères, matérialisés par l'indicateur QMNA5 – soit la valeur quinquennale sèche du débit mensuel minimum annuel (QMNA). Les données d'évolution des débits moyens proviennent également du système de visualisation cartographique interactif MAKHAO développé par l'INRAE (2024) et s'appuyant sur les données Explore 2. Celui-ci permet plus particulièrement d'isoler les stations considérées comme peu influencées par les actions humaines, et donc de mettre en exergue les impacts directs des changements climatiques sur l'hydrologie de surface. Ces représentations sont notamment proposées dans les figures 24 et 25 du rapport.

PROJECTIONS HYDROLOGIQUES

Outre les projections climatiques, cette présente note s'appuie aussi directement, et en grande partie sur les données résultant du projet Explore 2 (figures 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33). Plus particulièrement, les projections concernent à la fois les ressources de surface ainsi que les ressources souterraines. Les projections Explore 2 résultent de simulations numériques qui s'appuient sur des modèles climatiques et hydrologiques. Ces modèles sont imparfaits, en ce sens où pour simuler les résultats, il est nécessaire de passer par une phase de simplification des systèmes climatiques, ou des bassins versants, alors même qu'il s'agit de systèmes complexes.

Dans ses projections, Explore 2 s'appuie sur un ensemble de 17 projections climatiques régionales, lesquelles reposent sur 9 modèles régionaux forcés par 6 modèles globaux, ainsi que sur plusieurs

projections hydrologiques, qui se basent sur 1 à 9 modèles hydrologiques selon le bassin versant considéré. A travers ces projections, Explore 2 rappelle que pour l'ensemble des variables, plus les émissions de gaz à effet de serre seront élevées.

Les projections qui résultent du projet Explore 2 s'appuient uniquement sur l'évolution possible de la ressource en eau et des écoulements naturels. Aussi, elles ne prennent pas en compte les spécificités liées à chaque bassin versant, ni les effets des aménagements hydrauliques ou encore des activités humaines sur l'hydrologie. Les résultats intègrent par ailleurs des simulations d'évolution hydrologique qui reposent uniquement sur des facteurs climatiques. De fait, les résultats du projet Explore 2 n'intègrent pas en l'état les évolutions possibles en matière de prélèvements, d'occupation des sols, ou encore de la gestion de la ressource en eau.

Les deux indicateurs d'étiage présentés dans la figure 29 sont le minimum annuel du débit mensuel (QMNA) et le minimum annuel de la moyenne des débits sur 10 jours (VCN10) pour l'ensemble des projections de débits pour deux horizons temporels (2041-2070) et (2070-2099) par rapport à la période (1976-2005) sous scénarios d'émissions élevées (RCP8.5).

Pour chaque variable hydro-climatique, un degré de confiance est associé aux évolutions projetées dans Explore 2. Outre des scénarios potentiels, les projections Explore 2 peuvent également être qualifiées à travers le recours à des narratifs. A ce titre, quatre narratifs sont proposés, et constituent des clés de lecture :

- le narratif vert : réchauffement marqué et augmentation des précipitations,
- le narratif jaune : changements futurs relativement peu marqués,
- le narratif violet : fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations,
- le narratif orange : fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel). Les résultats présentés dans le cadre de cette note reposent à la fois sur les narratifs élaborés par Explore 2, mais aussi sur les scénarios d'émissions « RCP » précités.

Ces narratifs ont été représentés dans les figures 30, 31 et 33 de ce rapport. Les données représentées dans la figure 30 sont illustrées à partir du VCN10 - soit le minimum estival de la moyenne sur 10 jours du débit journalier. La figure 31 qui illustre les projections en matière de durée des étiages repose sur l'indicateur dtLF, défini par la durée de la plus longue séquence continue avec des débits moyens sur 10 jours sous le seuil fixé au maximum des VCN10 (mois de mai à novembre). La figure 33 qui propose une illustration des projections du maximum annuel des débits journaliers en région des Pays de la Loire, en 2050 et 2100 s'appuie sur l'indicateur QJXA correspondant à l'agrégation annuelle du maximum des débits mensuels.

Ce rapport s'appuie également sur les résultats France Stratégie, dans le cadre de son rapport « Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ? ». Dans le cadre de sa méthodologie globale, France Stratégie s'est appuyée sur les résultats du projet Explore 2. Parmi les différents narratifs

construits dans le cadre du projet Explore 2, France Stratégie a fait le choix d'en retenir deux : le scénario jaune, ainsi que le scénario violet. Par ailleurs, concernant les données climatiques, France Stratégie s'est appuyée sur les données de Météo-France, accessibles via la plateforme DRIAS Climat, pour l'ensemble de la France Métropolitaine et sous le scénario RCP8.5. Ces données ont été mobilisées notamment dans les figures 34 et 35 de ce rapport.

Les projections, qui s'articulent autour de trois périodes : 2020, 2030 et 2050, et les données de vingt années autour de l'année cible ont été extraites et analysées. Pour chaque période, afin d'évaluer les besoins en irrigation en fonction des conditions météorologiques, les données relatives à une année sèche et à une année humide ont été sélectionnées. Les données de France Stratégie reposent sur une analyse de six grands bassins hydrographiques à l'échelle de la France hexagonale, découpés par la suite en sous-bassin versants.

Concernant la reconstitution de la demande en eau territoriale, France Stratégie s'est appuyée sur le modèle Strateau, qui s'appuie sur une reconstitution « bottom up » de la demande en eau territoriale. Ce modèle consiste en la reconstitution des besoins en eau sur un périmètre étudié, en ayant recours aux données disponibles à une échelle la plus fine possible. Grâce à cette approche, l'outil permet de reconstituer les usages de l'eau de chacun des grands secteurs utilisateurs. Dans ses travaux, France Stratégie a construit trois scénarios d'usage dits contrastés :

- un scénario tendanciel qui prolonge les tendances passées (appelé « scénario tendanciel »). Dans le scénario tendanciel, les trajectoires ob-

servées entre 2010 et 2020 pour tous les usages étudiés se poursuivent entre 2020 et 2030, puis à un rythme moindre entre 2030 et 2050, les évolutions étant rarement linéaires sur une période longue ;

- un scénario avec effectivité des politiques publiques, qui intègre les annonces récentes, qu'elles concernent directement ou indirectement le secteur de l'eau (appelé scénario « politiques publiques »). Dans ce scénario, les projections s'appuient notamment sur les données du plan national intégré énergie – climat. Les modélisations intègrent un rééquilibrage permettant de limiter l'hyperspecialisation et permettre une relocalisation de la production alimentaire ;
- un scénario de rupture caractérisé par une réduction des prélèvements en eau pour tous les usages (appelé scénario « de rupture »). Celui-ci s'appuie notamment sur les données nationales fournies par l'ADEME dans le cadre de son scénario « Coopérations territoriales » de l'étude Transition(s) 2050. Là encore, les tendances comprennent un rééquilibrage de façon à limiter l'hyperspecialisation.

Dans ce rapport, le GIEC-PL fait référence à ces différents scénarios, lesquels sont notamment représentés dans la figure 34. La figure 35 propose par ailleurs une illustration du rapport mensuel entre les besoins environnementaux et les volumes disponibles pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050. Cette représentation s'appuie sur les modèles hydrologique ORCHIDEE en bleu et SMASH en gris, sur le bassin versant de la Loire aval.

AUTRES PROJECTIONS

Ce rapport mentionne également les projections de sinistralité réalisées par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), plus particulièrement pour ce qui concerne les aléas inondation et submersion. Les données mobilisées à cet effet proviennent :

- Soit des rapports régionaux sur la prévention des risques naturels par le Fonds de prévention des risques naturels majeurs, édition 2023 publiés en 2024, qui s'appuient sur les données consolidées de sinistralité historique jusqu'à 2019, sur des données concernant le FPRNM jusqu'à 2020 et sur des données de sinistralité modélisée issues de l'étude de 2018 des conséquences des changements climatiques sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050 ;
- Soit de données fournies récemment par CCR, lesquelles reposent sur les données consolidées de sinistralité historique jusqu'à 2021 et sur des données de sinistralité modélisée issues de l'étude de 2023 des conséquences des changements climatiques sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050.

Les différentes sources mobilisées ont été mentionnées dans le rapport. Aussi, des écarts peuvent être constatés entre les données des rapports régionaux sur la prévention des risques et les données plus récentes fournies par CCR. Ce différentiel s'explique par la consolidation de données vis-à-vis de la sinistralité historique et la réalisation de simulations actualisées vis-à-vis de la sinistralité modélisée.

Pour ce qui concerne l'historique, CCR s'appuie sur la sinistralité passée observée c'est-à-dire le coût consolidé des indemnisations versées au titre du régime des catastrophes naturelles, pour les biens de particuliers et les biens de professionnels, uniquement vis-à-vis des aléas pris en charge par le régime Cat Nat à savoir les inondations, les submersions marines, les sécheresses géotechniques, les séismes, les mouvements de terrain, les vents cycloniques et les avalanches. Pour les projections de sinistralité, les données de CCR reposent quant à elles sur des travaux menés en collaboration avec Météo-France qui ont permis de modéliser le coût moyen annuel des dommages assurés à l'horizon 2050 (scénario RCP 8.5) sur l'ensemble de la métropole. Ces données reposent notamment sur le modèle climatique atmosphérique ARPEGE, configuré par Météo-France selon les besoins exprimés par CCR. Dans le but de garantir des études statistiques robustes, incluant un large panel d'événements dont des événements extrêmes rares, les simulations ont été mises en œuvre sur 400 années. Selon CCR, « la variabilité interne du climat est donnée par un forçage de la température de surface de la mer par des séries de 400 années issues des travaux du GIEC (IPCC). Le module de surface SURFEX assure la modélisation des échanges terre-atmosphère. Le pas de temps du modèle est de 10 minutes. L'archivage de plus de 80 paramètres d'intérêt est horaire sur un domaine prédéfini couvrant l'Europe et le nord de l'Afrique ». Concernant plus précisément les modèles d'aléa, pour la simulation de la sécheresse géotechnique, Météo-France a mis en œuvre son modèle hydrométéorologique SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM²).

Pour le modèle inondation, développé par CCR, il simule deux types d'aléas (le ruissellement et le débordement) à fine échelle afin de prendre en compte l'ensemble des phénomènes hydrologiques provoquant des dommages sur les biens assurés.

Selon CCR, « le montant de ces dommages dépend à la fois de la présence d'enjeux assurés dans la zone (particuliers, agricoles, industriels, autres professionnels) et de la vulnérabilité de ces enjeux face à l'aléa considéré ». Aussi, le modèle d'estimation des dommages de CCR dépend à la fois de la présence d'enjeux assurés dans la zone étudiée (particuliers, agricoles, industriels, autres professionnels) et de la vulnérabilité de ces enjeux face à l'aléa considéré. Ce modèle de dommages s'appuie sur une base de données comprenant d'une part l'information sur les enjeux assurés, et d'autre part la sinistralité historique ; en effet, cette sinistralité historique est utilisée pour calibrer le modèle de dommages, qui fait le lien entre l'aléa et la vulnérabilité des enjeux. L'ensemble de ces données de sinistralité historique et de sinistralité modélisée sont disponibles à l'échelle communale. Dans le cas présent, les données ont été regroupées à l'échelle des EPCI de la région ●

DEGRÉS D'INCERTITUDE ET NIVEAUX DE CONFIANCE

De manière générale, les projections climatiques ont une part d'incertitude, de diverses origines, lesquelles peuvent s'amplifier à travers la réalisation de modélisations. Ainsi, il existe des incertitudes quant au choix des scénarios d'émission, ainsi qu'aux modélisations elles-mêmes, et à la variabilité naturelle du climat. Les modélisations et les projections climatiques permettent de donner une trajectoire d'évolution à long terme, laquelle est rattachée à un scénario d'émission. Les projections établies et sur lesquelles s'appuient ce présent rapport, ne constituent en rien des prévisions.

Les projections climatiques s'appuient sur des simulations numériques, lesquelles reposent sur des lois physiques. Dans ces modèles à grande échelle, les phénomènes à petite échelle (comme par exemple les nuages) sont très difficilement représentables. Ils sont donc décrits à travers des équations appelées paramétrisations. Ces modèles s'appuient notamment sur les variables suivantes : la température de l'atmosphère, l'eau qu'elle contient (vapeur, liquide et glace), les vents ; la température et la salinité de l'océan, ses courants ; l'état des sols recouvrant les continents (température, humidité, contenu en carbone, etc.), la végétation ou la neige qui

les recouvre, les lacs, le débit des fleuves ; la température, la salinité, l'étendue, l'épaisseur et la vitesse de déplacement de la banquise.

Ces variables sont ensuite calculées à partir d'une grille qui découpe les différentes zones de la Terre à travers un maillage horizontal et vertical, afin de permettre d'étudier ces phénomènes à des échelles plus fines. Cette transcription de phénomènes à de plus petites échelles constitue une source d'incertitude importante.

Par ailleurs, certains phénomènes spécifiques, se produisent à des échelles de temps irrégulières, comme ceux d'El Nino et de la Nina. Ils participent ainsi aux variations climatiques observées aux échelles décennales. Cette incertitude climatique liée à la variabilité naturelle du climat est imprévisible au-delà des dix prochaines années¹⁸⁵.

Dans ce rapport, le GIEC-PL fait état de projections pour lesquelles les niveaux de confiance sont considérés comme importants. En cas de fortes incertitudes, des indications sont renseignées en note de bas de page du document.

Sources des figures

> **Figure 1. Carte du bassin versant de la Loire à son embouchure à Saint-Nazaire (117 000 km²), incluant le sous-bassin du fleuve à son entrée dans la région Pays de la Loire à Montsoreau (81 000 km²).**

IGN. (2018). *BD ALTI 250M*. http://files.opendataarchives.fr/professionnels.ign.fr/bdalti/BDALTI2_2-0_250M_ASC_LAMB93-IGN69_FRANCE_2018-01-15.7z

IGN. (s-d). *BD ADMIN EXPRESS*.
<https://geoservices.ign.fr/adminexpress>

Eau France. (s-d). *Sandre*.
<https://sandre.eaufrance.fr/v2/>

> **Figure 2. Le grand cycle de l'eau.**

Abbott, B.W., Bishop, K., Zarnetske, J.P. et al. (2019). *Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions*. *Nat*. <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0374-y#citeas>

> **Figure 3. L'interaction entre le grand et le petit cycle de l'eau.**

Service public de l'eau – An Adour, Morlaix Communauté. (2024). *Rapport d'activité*.
https://www.andour.bzh/fileadmin/mediatheque_an-dour/Home_page/actualites/Rapport_annuel_An_Dour_2024.pdf

> **Figure 4. Carte géologique du bassin Loire-Bretagne.**

BRGM. (s-d). *Carte géologique métropolitaine au 1/1 000 000*.
<https://infoterre.brgm.fr/formulaire/telechargement-carte-geologique-metropolitaine-11-000-000>

Eau France. (s-d). *Sandre*.
<https://sandre.eaufrance.fr/v2/>

> **Figure 5. Pluviométrie annuelle moyenne à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.**

Météo-France. (2014). *AURELHY – Normales pluviométriques annuelles*.
https://lameeteorologie.fr/issues/2014/85/meteo_2014_85_47

> **Figure 6. Evapotranspiration potentielle (ETP) annuelle moyenne à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.**

Copernicus Climate Data Store. (2020). *AgERA5 dataset*.
<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agrometeorological-indicators?tab=download>

> **Figure 7. Evapotranspiration potentielle (ETP) estivale moyenne, sur la période avril-septembre.**

Copernicus Climate Data Store. (2020). *AgERA5 dataset*.
<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agrometeorological-indicators?tab=download>

> **Figure 8. Régimes hydrologiques types en région des Pays de la Loire.**

Eau France. (2025). *Portail Hub'Eau, API Hydrométrie*.
<https://hubeau.eaufrance.fr/page/api-hydrometrie#/hydrometrie>

IGN. (s-d). *MNT IGN BDALTI 25M*.
<https://geoservices.ign.fr/bdalti>

> **Figure 9. Débits minimum mensuels (moyenne interannuelle en mm/mois) mesurés en France sur les cours d'eau considérés comme peu influencés par les activités anthropiques.**

Delaigue et al. (2025). *CAMELS-FR dataset: a large-sample hydroclimatic dataset for France to explore hydrological diversity and support model benchmarking*.
<https://essd.copernicus.org/articles/17/1461/2025/essd-17-1461-2025.html>

> **Figure 10. Cartographie des débits d'étiage moyens (valeurs moyennes du débit mensuel minimum annuel QMNA) en région Pays de la Loire.**

Eau France. (2025). *Portail Hub'Eau, API Hydrométrie*.
<https://hubeau.eaufrance.fr/page/api-hydrometrie#/hydrometrie>

> **Figure 11. Cartographie des débits d'étiage sévères (QMNA5 valeur quinquennale sèche du débit mensuel minimum annuel QMNA) en région des Pays de la Loire.**

Eau France. (2025). *Portail Hub'Eau, API Hydrométrie*.
<https://hubeau.eaufrance.fr/page/api-hydrometrie#/hydrometrie>

> **Figure 12. Part moyenne du territoire en alerte sécheresse sur les mois de juillet-août (sur la période 2018-2022), par EPCI.**

VigiEau. (2025). *Données Sécheresse*.
https://www.data.gouv.fr/datasets/donnee-secheresse-vigueau/?resource_id=4322064e-cfb4-4c8a-8200-7620f491ccdb

> Figure 13. Cartographie des volumes et de la répartition par usage des prélèvements à l'échelle de grands bassins versants en amont et sur la région Pays de la Loire.

France Stratégie. (2024). *Prélèvements et consommations d'eau : quels enjeux et usages ?*
<https://shs.cairn.info/revue-la-note-d-analyse-2024-6-page-1>

> Figure 14. Cartographie des volumes et de la répartition par usage des consommations à l'échelle de grands bassins versants en amont et sur la région Pays de la Loire.

France Stratégie. (2024). *Prélèvements et consommations d'eau : quels enjeux et usages ?*
<https://shs.cairn.info/revue-la-note-d-analyse-2024-6-page-1>

> Figure 15. Cartographie de la proportion de surfaces irriguées par rapport à la surface agricole utile à l'échelle des communes.

AGRESTE. (2020). *Part de la surface irriguée dans la superficie agricole utile (SAU) en 2020 (en %).*
[Recensement agricole 2020 - Indicateurs : cartes, données et graphiques](https://recensement.agricole.2020.fr/indicateurs/cartes-donnees-graphiques)

> Figure 16. Cartographie de la répartition des prélèvements pour la production d'eau potable entre eau de surface et eau souterraine.

ARS. (2024). *Qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.*
<https://www.pays-de-la-loire.ars.sante.fr/media/117447/download?inline>

BRGM. (s-d). *Carte géologique raster (scannée) au 1 / 1 000 000.*
<https://infoterre.brgm.fr/page/geoservices-ogc>

> Figure 17. Carte des prélèvements dans la Loire et dans l'Allier bénéficiant du soutien d'étiage par les barrages de Villerest et de Naussac.

Etablissement Public Loire. (2020). *Soutien d'étiage.*
<https://www.eptb-loire.fr/nos-missions/exploitation-des-ouvrages-de-naussac-et-villerest/soutien-detage/>

> Figure 18. Cartographie de la proportion de surfaces drainées par rapport à la surface agricole utile à l'échelle des communes.

GEST'Eau. (2022). *Analyses Hydrologie-Milieux-Usages-Climat (HMUC) : Guide et recommandations méthodologiques.*
<https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Carte-RAsaudrai10/detail/>

> Figure 19. Carte du découpage de la France en SAGE au 16 décembre 2025.

AGRESTE. (2020). *Part de la surface irriguée dans la superficie agricole utile (SAU) en 2020 (en %).*
<https://www.gesteau.fr/document/analyses-hydrologie-milieux-usages-climat-hmuc-guide-et-recommandations-methodologiques>

> Figure 20. Carte des tendances du cumul des pluies d'octobre à mars sur la période 1970-2024 en millimètres.

Météo France. (s-d). *Données climatologiques de base, pour la période 1970 – 2024 pour les départements 44, 49, 53, 72 et 85.*
<https://meteo.data.gouv.fr/datasets/6569b51ae64326786e4e8e1a>

> Figure 21. Carte des tendances du cumul maximum journalier de pluie sur les mois de mai et juin pendant la période 1970-2024 (en millimètres par décennie).

Météo France. (s-d). *Données climatologiques de base, pour la période 1970 – 2024 pour les départements 44, 49, 53, 72 et 85.*
<https://meteo.data.gouv.fr/datasets/6569b51ae64326786e4e8e1a>

> Figure 22. Carte des tendances sur les cumuls d'évapotranspiration potentielle d'avril à septembre sur la période 1979-2024, augmentations en mm par décennie.

Copernicus Climate Data Store. (2020). *AgERA5 dataset.*
<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agrometeorological-indicators?tab=download>

> Figure 23. Carte des tendances sur les cumuls d'évapotranspiration potentielle d'avril à septembre sur la période 1979-2024, en % par décennie.

Copernicus Climate Data Store. (2020). *AgERA5 dataset.*
<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agrometeorological-indicators?tab=download>

> Figure 24. Carte des tendances sur les débits moyens annuels observés entre 1968 et 2024 pour une sélection de stations peu influencées par les activités humaines sur le bassin versant de la Loire et les bassins versants de la région Pays de la Loire.

INRAE. (s-d). *Makaho.*
<https://makaho.sk8.inrae.fr/>

> **Figure 25. Carte des tendances sur les débits mensuels minimum annuels observés entre 1968 et 2024 pour une sélection de stations peu influencées par les activités humaines sur le bassin versant de la Loire et les bassins versants de la région Pays de la Loire.**

INRAE. (s-d). *Makaho*.
<https://makaho.sk8.inrae.fr/>

> **Figure 26. Evolution des types d'écoulements observés à l'étiage sur 154 stations en tête de bassin versant de la région Pays de la Loire depuis 2012.**

OFB. (2025). *Observatoire National des Etiages (ONDE)*.
<https://www.data.gouv.fr/datasets/observatoire-national-des-etiages-onde/>

> **Figure 27. Changements relatifs du débit moyen annuel en fin de siècle 1970-2099 par rapport à 1976-2005 selon le scénario de plus fortes émissions de gaz à effet de serre.**

INRAE. (2024). *Portail MEANDRE*.
<https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

> **Figure 28. Evolution du débit moyen annuel de la Loire à Montjean-sur-Loire de 1976 à 2099 selon quatre projections contrastées sous le scénario de plus fortes émissions.**

OFB. (2024). *Portail technique : Explore 2*.
<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

> **Figure 29. Illustration du changement de valeurs de deux indicateurs d'étiage.**

OFB. (2024). *Portail technique : Explore 2*.
<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

> **Figure 30. Projection de la sévérité des étiages en région des Pays de la Loire, en 2050 et 2100, (à partir du VCN10 - Minimum estival de la moyenne sur 10 jours du débit journalier) selon quatre narratifs.**

INRAE. (2024). *Portail MEANDRE*.
<https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

> **Figure 31. Projection de la durée des étiages en région des Pays de la Loire, en 2050 et 2100 (à partir de l'indicateur dtLF - Durée de la plus longue séquence continue avec des débits moyens sur 10 jours sous le seuil fixé au maximum des VCN10 (mois de mai à novembre) selon quatre narratifs.**

INRAE. (2024). *Portail MEANDRE*.
<https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

> **Figure 32. Evolution du minimum annuel de la moyenne des débits journaliers sur 10 jours de la Loire à Montjean-sur-Loire de 1976 à 2099.**

OFB. (2024). *Portail technique : Explore 2*.
<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

> **Figure 33. Projection du maximum annuel des débits journaliers[JA1] en région Pays de la Loire, en 2050 et 2100 (à partir de QJXA - Agrégation annuelle du maximum des débits mensuels).**

INRAE. (2024). *Portail MEANDRE*.
<https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

> **Figure 34. Evolution des consommations annuelles entre 2020 et 2050 selon les scénarios dans la configuration climatique la plus défavorable - RCP8.5 (en %).**

France Stratégie. (2025). *Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ?*
<https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/quelle-evolution-de-la-demande-en-eau-dici-2050>

> **Figure 35. Rapport mensuel entre les besoins environnementaux et les volumes disponibles pour une année marquée par un printemps-été sec en 2050 (modèle hydrologique ORCHIDEE en bleu et SMASH en gris) sur le bassin versant de la Loire aval.**

Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan. (2025). *L'eau en 2050 : graves tensions sur les écosystèmes et les usages*.
<https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/leau-en-2050-graves-tensions-sur-les-ecosystemes-et-les-usages>

> **Figure 36. Typologie de géographie et d'unités paysagères dans les Pays de la Loire.**

DREAL des Pays de la Loire. (2016). *SIGLOIRE – Carte des unités paysagères en Pays de la Loire*
https://carto.sigloire.fr/1/r_atlas_paysage_r52.map

Bibliographie

¹ DREAL des Pays de la Loire. (2022). La ressource en eau dans les Pays de la Loire et les impacts liés au changement climatique. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/la-resource-en-eau-en-pays-de-la-loire-et-les-a1219.html>

²C'est-à-dire lorsque le débit d'un cours d'eau est à son niveau minimal.

³DREAL des Pays de la Loire. (2025). Diagnostic régional des étiages. <http://apps.datalab.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/diagnostic-regional-etiages/>

⁴DREAL des Pays de la Loire. (2022). La ressource en eau dans les Pays de la Loire et les impacts liés au changement climatique. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/la-resource-en-eau-en-pays-de-la-loire-et-les-a1219.html>

⁵Eau et Biodiversité. (2012). Hydromorphologie des cours d'eau en Bretagne et Pays de la Loire : caractérisation, évolution et effet de l'anthropisation. <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/fr/notice/hydromorphologie-des-cours-d-eau-en-bretagne-et-pays-de-la-loire-caracterisation-evolution-et-effet-de-l-anthropisation-29974>

^{6,7}Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2021). Etat des lieux qualitatif – Fiches de synthèse. <https://www.eau-loire-bretagne.fr/sites/donnees-documents/home/documents/sdage-sage/fiches-de-synthese--etat-des-lieux-2019.html>

⁸DREAL des Pays de la Loire. (2022). La ressource en eau dans les Pays de la Loire et les impacts liés au changement climatique. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/la-resource-en-eau-en-pays-de-la-loire-et-les-a1219.html>

⁹OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

¹⁰cf. Exposé méthodologique.

¹¹OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

¹² Haut-Commissariat à la stratégie au plan. (2025). Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ? <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/quelle-evolution-de-la-demande-en-eau-dici-2050>

¹³Région des Pays de la Loire. (s-d). La Région agit pour protéger notre eau. <https://www.paysdelaloire.fr/mon-conseil-regional/toute-lactu-de-ma-region/les-actualites/la-region-agit-pour-protéger-notre-eau>

¹⁴Observatoire Régional des Risques Côtiers. (s-d). Littoral ligérien et risques côtiers. <https://or2c.univ-nantes.fr/littoral-ligerien-et-risques-cotiers>

¹⁵Eau France. (s-d). Hydroportail – La Loire à Montsoreau et à Saumur, statistiques. <https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/M5300010/synthese>

¹⁶Eau France. (s-d). Hydroportail - Données hydrologiques de synthèse. <https://hal.science/hal-04384495>

¹⁷cf. Glossaire. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter01.pdf

¹⁸Eau France. (s-d). Hydroportail - Données hydrologiques de synthèse. <https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/M5300010/synthese>

¹⁹Eau France. (s-d). SANDRE. <https://sandre.eaufrance.fr/v2/>

²⁰Abbott, B.W., Bishop, K., Zarnetske, J.P. et al. (2019). Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat.* <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0374-y#citeas>

²¹Famiglietti, J. S., & Rodell, M. (2019). Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nature Geoscience*, 12, 533–540. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>

²²DREAL des Pays de la Loire. (2021). Les principales pressions significatives. [Les principales pressions significatives | DREAL Pays de la Loire](https://dreal.paysdelaloire.fr/les-principales-pressions-significatives/)

²³DREAL des Pays de la Loire. (2025). Cartes régionales localisant les ouvrages hydrauliques. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/cartes-regionales-localisant-les-ouvrages-a5811.html>

^{24,25}Météo-France. (s-d). Méthode AURELHY – Normales pluviométriques annuelles.

²⁶cf. Glossaire

²⁷Météo-France. (s-d). Méthode AURELHY – Normales pluviométriques annuelles.

²⁸cf. Glossaire

²⁹cf. Glossaire

³⁰Delaigue et al. (2025). CAMELS-FR dataset: a large-sample hydroclimatic dataset for France to explore hydrological diversity

and support model benchmarking. <https://essd.copernicus.org/articles/17/1461/2025/essd-17-1461-2025.html>

³¹ SIGES Pays de la Loire. (2022). SAGE Authion : Hydrogéologie. [Hydrogéologie - SIGES Pays de la Loire - ©2025](#)

³² SIGES Pays de la Loire. (2022). SAGE de la Vendée : Hydrogéologie. [Géologie et hydrogéologie - SIGES Pays de la Loire - ©2025](#)

³³ SIGES Pays de la Loire. (2022). SAGE de la Baie de Bourgneuf et du Marais Breton : Hydrogéologie. [Géologie et hydrogéologie - SIGES Pays de la Loire - ©2025](#)

³⁴ SIGES Pays de la Loire. (2022). SAGE de l'Huisne. [SAGE Huisne - SIGES Pays de la Loire - ©2025](#)

³⁵ SIGES Pays de la Loire. (2022). SAGE Mayenne : Hydrogéologie. [Géologie et hydrogéologie - SIGES Pays de la Loire - ©2025](#)

³⁶ SIGES Pays de la Loire. (2022). SAGE Sèvre Nantaise : Hydrogéologie. [Géologie et hydrogéologie - SIGES Pays de la Loire - ©2025](#)

^{37, 38} GIP Estuaire. (s-d). Apports d'eau douce. [Apports d'eau douce - GIP Loire Estuaire](#)

³⁹ VigiEau. (s-d). Données Sécheresse. https://www.data.gouv.fr/datasets/donnee-secheresse-vigieau/?resource_id=4322064e-cfb4-4c8a-8200-7620f491ccdb

⁴⁰ Haut-Commissariat au Plan et à la Stratégie. (2024). Note d'analyse : prélèvements et consommations d'eau – quels enjeux et quels usages ? <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/prelevements-consommations-deau-enjeux-usages>

⁴¹ AGRESTE. (2020). Recensement agricole 2020 - L'irrigation dans les Pays de la Loire. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/R52Et2310/detail/>

⁴² AGRESTE. (2020). Part de la surface irriguée dans la superficie agricole utile (SAU) en 2020 (en %). [Recensement agricole 2020 - Indicateurs : cartes, données et graphiques](#)

⁴³ BNPE. (2022). Données de prélèvements. <https://bnpe.eaufrance.fr/>

⁴⁴ Région des Pays de la Loire. (2024). Bilan 2023 de la fréquentation des Pays de la Loire. https://www.solutions-pro-tourisme-pays-delaloire.fr/wp-content/uploads/2024/10/FluxVision_Bilan_2023.pdf

⁴⁵ Région des Pays de la Loire. (s-d). Tourisme en Pays de la Loire : les expérimentations pour économiser l'eau. <https://www.paysdelaloire.fr/mon-conseil-regional/toute-lactu-de-ma-region/les-actualites/tourisme-en-pays-de-la-loire-des-experimentations-pour-economiser-leau>

⁴⁶ SDES. (2024). Restrictions d'eau lors des périodes de sécheresses en France métropolitaine en 2023. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/restrictions-deau-lors-des-periodes-de-secheresse-en-france-metropolitaine-en-2023>

⁴⁷ VigiEau. (s-d). Données Sécheresse. https://www.data.gouv.fr/datasets/donnee-secheresse-vigieau/?resource_id=4322064e-cfb4-4c8a-8200-7620f491ccdb

⁴⁸ Etablissement Public Loire. (2019). Soutien d'étiage. <https://www.eptb-loire.fr/nos-missions/exploitation-des-ouvrages-de-naussac-et-villerest/soutien-detiage/>

^{49, 50} IGRESTE. (2020). Teruti Lucas. <https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/comprendre-et-sensibiliser/bases donnees/teruti-lucas>

⁵¹ Notre Environnement. (2019). L'occupation des sols en France. <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/biodiversite/les-sols-et-sous-sols/article/l-occupation-des-sols-en-france?lien-retour=https%253A%252F%252Fwww.notre-environnement.gouv.fr%252Frecherche%253Frecherche%253Dcarbone%2526amp%253Bpagination%253D150%2526amp%253Bsysteme%253D0mbel&lien-ressource=recherche>

⁵² AGRESTE. (2020). Recensement Agricole 2010. <https://stats.agriculture.gouv.fr/cartostat/#c=indicator&i=cult1.saudrai10&t=A02&view=map1>

⁵³ AGRESTE. (2010). Part de la superficie drainée dans la superficie agricole utilisée (SAU) en 2010. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Carte-RA-saudrai10/detail/>

⁵⁴ CIE. (2018). Qualité et paramètres physico-chimiques de l'eau. https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/117319/mod_resource/content/1/qualit%C3%A9%20de%20l'eau.pdf

⁵⁵ CIE. (2018). Réchauffement climatique : quelles conséquences sur l'eau ? <https://www.cieau.com/eau-transition-ecologique/enjeux/rechauffement-climatique-les-consequences-sur-leau/>

⁵⁶ Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2019). Data visualisation – Statistiques. <https://datavisu.eau-loire-bretagne.fr/statistiques>

⁵⁷ Fédérations départementales de la pêche en Pays de la Loire. (2013). Liste Rouge des poissons et macro-crustacés d'eau douce des Pays de la Loire. https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Gerard_Mouren_Liste-rouge-poissons- -macro-crustaces-eau-douce-PDL_Fede-peche_2013.pdf

⁵⁸ OFB. (s-d). L'OFB en Pays de la Loire. https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/Fichiers/Plaquettes%20et%20rapports%20instit/OFB_INSTIT_Pays_de_la_Loire_A5_3V_WEB_Pages.pdf

⁵⁹ Fédérations départementales de la pêche en Pays de la Loire. (2013). Liste Rouge des poissons et macro-crustacés d'eau douce des Pays de la Loire. https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Gerard_Mouren_Liste-rouge-poissons- -macro-crustaces-eau-douce-PDL_Fede-peche_2013.pdf

⁶⁰ Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2024). Le territoire naturel du bassin Loire-Bretagne. <https://agence.eau-loire-bretagne.fr/home/bassin-loire-bretagne/le-territoire-naturel-de-loire-bretagne.html85e803bc738e?i=1612803258307>

^{61, 62} Agence de l'eau Loire Bretagne. (s-d). SAGE et SDAGE en Loire-Bretagne. <https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/home.html>

⁶³ GEST'Eau. (2022). Analyses Hydrologie-Milieux-Usages-Climat (HMUC) : Guide et recommandations méthodologiques. <https://www.gestea.fr/document/analyses-hydrologie-milieux-usages-climat-hmuc-guide-et-recommandations-methodologiques>

⁶⁴ DREAL des Pays de la Loire. (2025). Compte rendu public – Rencontre entre les associations de développement durable et la DREAL du 12 septembre 2025. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/rencontre-entre-les-associations-de-developpement-a6716.html>

^{65, 66} GEST'Eau. (2022). Analyses Hydrologie-Milieux-Usages-Climat (HMUC) : Guide et recommandations méthodologiques. <https://www.gestea.fr/document/analyses-hydrologie-milieux-usages-climat-hmuc-guide-et-recommandations-methodologiques>

⁶⁷ INRAE. (2024). Messages et enseignements du projet Explore 2. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/projetexplore2-synthese.pdf>

^{68, 69, 70} Météo-France. (2025). Données climatologiques de base. <https://meteo.data.gouv.fr/datasets/6569b51ae64326786e4e8e1a>.

⁷¹ Météo-France. (2024). Dangers météorologiques : les crues <https://vigilance.meteofrance.fr/en/node/140>

⁷² Open Data Pays de la Loire. (2025). Les territoires à risque important d'inondation en Pays de la Loire. https://data.paysdeloire.fr/explore/dataset/234400034_tri-territoires-a-risque-importent-dinondation-en-pays-de-la-loire/table/

⁷³ Géorisques. (2020). Zonages inondations – rapportage 2020. <https://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives/#/>

⁷⁴ Météo-France. (2025). Climat HD. <https://meteofrance.com/climathd>

⁷⁵ Météo-France. (s-d). Méthode AURELHY – Normales pluviométriques annuelles.

⁷⁶ Louis Amiot, Vincent Dubreuil, Valérie Bonnardot. (2024). Les cahiers nantais : cartographie des changements climatiques en Pays de la Loire. <https://cahiers-nantais.fr/index.php?id=1795&lang=fr>

⁷⁷ Météo-France. (s-d). Méthode AURELHY – Normales pluviométriques annuelles.

^{78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85} INRAE. (2024). Makaho. <https://makaho.sk8.inrae.fr>

⁸⁶ Eau France. (2025). Hydro Portail. <https://hydro.eaufrance.fr/>

^{87, 88, 89} OFB. (2025). Observatoire National des Etiages (ONDE). <https://www.data.gouv.fr/datasets/observatoire-national-des-etiages-onde/>

⁹⁰ OFB. (2023). Portail technique – Dataviz : l'assèchement estival des cours d'eau de la métropole. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-dataviz/dataviz-lassechement-estival-cours-deau-metropole>

⁹¹ TEO. 2025. L'étiage en Pays de la Loire : <https://teo-paysdeloire.fr/tableau-de-bord/etiage/> À partir des données de l'Observatoire National des Etiages (ONDE) 2025. <https://www.data.gouv.fr/datasets/observatoire-national-des-etiages-onde>

⁹² INRAE. (2024). Explore 2. <https://webgr.inrae.fr/recherches/projets/explore2>

⁹³ OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

⁹⁴ Météo-France. (2025). Climat HD. <https://meteofrance.com/climathd>

⁹⁵ OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

^{96, 97} INRAE. (2024). Portail MEANDRE. <https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

^{98, 99, 100} OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

¹⁰¹ En se basant sur la valeur du VCN10 de période de retour de 5 ans calculé entre 1976 et 2005.

^{102, 103} OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

¹⁰⁴ MINRAE. (2024). Portail MEANDRE. <https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

^{105, 106} OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

^{107, 108} INRAE. (2024). Portail MEANDRE.

¹⁰⁹ OFB. (2024). Explore 2 – Les futurs de l'eau. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

^{110, 111, 112, 113} INRAE. (2024). Portail MEANDRE. <https://meandre.explore2.inrae.fr/plus-d-eau-ou-moins-d-eau/nord-et-sud>

¹¹⁴ Géorisques. (2020). Zonages inondations – rapportage 2020. <https://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives/#/>

¹¹⁵ cf. Glossaire

¹¹⁶ CCR. (2025). Sinistralité moyenne actuelle et modélisée à 2050 par EPCI.

¹¹⁷ CCR. (2020). La prévention des catastrophes naturelles par le fonds de prévention des risques naturels majeurs : bilan 1995 – 2019. https://www.ccr.fr/wp-content/uploads/2025/07/Rapport-national_Prevention_FPRNM.pdf

¹¹⁸ Géo Littoral. (s-d). Le portail de planification de la Mer et du Littoral – Élevation du niveau de la mer. <https://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/elevation-du-niveau-de-la-mer-a1439.html>

^{119, 120} Selon le percentile P95

¹²¹ Géo Littoral. (s-d). Le portail de planification de la Mer et du Littoral – Elévation du niveau de la mer. <https://www.geolittoral developpement-durable.gouv.fr/elevation-du-niveau-de-la-mer-a1439.html>

¹²² DREAL des Pays de la Loire. (2022). Les submersions marines. [Les submersions marines | DREAL Pays de la Loire](#)

^{123, 124, 125} GIP Loire Estuaire. (2021). La salinité de l'eau. <https://www.loire-estuaire.org/accueil/suivis-environnementaux/cahier-indicateurs/1783-102316/l1b1--la-salinite-de-leau-2021>

¹²⁶ Tableau de bord économique des Pays de la Loire. (2025). Une région à la croissance démographique parmi les plus fortes de France métropolitaine. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/demographie/evolution-demographique/>

^{127, 128} Tableau de bord économique des Pays de la Loire. (2025). Répartition de la population. <https://www.paysdelaloire-eco.fr/ressources-analyses/demographie/repartition/>

¹²⁹ AGRESTE. (2020). Recensement agricole 2020 - L'irrigation dans les Pays de la Loire. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/R52Et2310/detail/>

¹³⁰ Gaïa Bonnet, Sylvie Clarimont. (2022). Perception de la ressource en eau et adaptation au changement climatique en territoires touristiques ruraux : le cas des vallées de la Dronne et de la Vézère. <https://journals.openedition.org/geocarrefour/18204#octo2n2>

¹³¹ Commissariat Général au Développement Durable. (2022). Les prélevements d'eau douce par usages et par ressources. <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/eco-nomie/l-utilisation-des-ressources-naturelles-ressources/article/les-prelevements-d-eau-douce-par-usages-et-par-ressources?type-ressource=liens&ancreretour=ancrere-tour213&lien-ressource=5202&theme-ressource=439>

^{132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140} Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan. (2025). Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ? <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/quelle-evolution-de-la-demande-en-eau-dici-2050>

¹⁴¹ cf. Exposé méthodologique.

^{142, 143, 144} Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan. (2025). Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ? <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/quelle-evolution-de-la-demande-en-eau-dici-2050>

¹⁴⁵ Etablissement Public Loire. (2022). Températures des eaux du bassin de la Loire et ses affluents : état des lieux des connaissances. <https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/livret-n11-temperature-pageweb.pdf>

¹⁴⁶ Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2019). Etat des lieux 2019. <https://www.calameo.com/agence-de-leau-loire-bretagne/books/00397878583a71cb9b5b7>

¹⁴⁷ GIEC Normand. (2022). L'eau : disponibilité, qualité et risques naturels. <https://drive.google.com/file/d/13CaM1Q-Z6aQh8-94xKRD58LzLkf9FUWJe/view>

¹⁴⁸ Etablissement Public Loire. (2022). Températures des eaux du bassin de la Loire et ses affluents : état des lieux des connaissances. <https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/livret-n11-temperature-pageweb.pdf>

¹⁴⁹ ONEMA. (2015). Températures des cours d'eau : analyse des données et modélisations - application au bassin de la Loire. https://www.eaufrance.fr/sites/default/files/documents/pdf/Rapport_UnivTours_Temperature.pdf

^{150, 151, 152, 153, 154, 155} Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan. (2025). L'eau en 2050 : graves tensions sur les écosystèmes et les usages. <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/leau-en-2050-graves-tensions-sur-les-ecosystemes-et-les-usages>

¹⁵⁶ P-A. Roche, J. Miquel, E. Gaume. (2012). Hydrologie quantitative. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-2-8178-0106-3>

¹⁵⁷ V.Viaud, C.Grimaldi, P.Mérot. (2009). Impact des haies sur la ressource en eau et en sol à partir de l'exemple de la Bretagne : résultats récents et perspectives. <https://hal.science/hal-01460916/document>

¹⁵⁸ Andréassian V. (2002). Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants - Thèse de doctorat de l'université Paris 6. <https://webgr.inrae.fr/content/download/851/8241?version=1>

¹⁵⁹ Préfecture de la Sarthe. (2023). Le bocage dans la région des Pays de la Loire. [Le bocage dans la Région des Pays de la Loire - Importance du bocage et des haies - Point info bocage / Haies - Agriculture, forêt et développement rural - Actions de l'État - Les services de l'État en Sarthe](#)

¹⁶⁰ AFB. (2012). Expertise scientifique collective, impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. <https://ofb.gouv.fr/doc/impact-cumule-des-retenues-eau-sur-le-milieu-aquatique-expertise-scientifique-collective>

¹⁶¹ Eau France. (2022). Les impacts de l'artificialisation sur l'eau et les milieux aquatiques. <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-l-artificialisation-sur-leau-et-les-milieux-aquatiques#:~:text=Ces%20modifications%20ne%20sont%20pas%20sans%20impact%20sur,d%E2%80%99C3%A9rosion.%20La%20qualit%C3%A9%20de%20l%E2%80%99eau%20est%20aussi%20affect%C3%A9e.>

¹⁶² TEO. (2025). Occupation et artificialisation des sols. <https://teo-paysdelaloire.fr/tableau-de-bord/occupation-et-artificialisation-des-sols/>

¹⁶³ NSEE. (2020). L'artificialisation des sols : un enjeu fort pour la région des Pays de la Loire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4770409?sommaire=4770677>

¹⁶⁴ Eau France. (2022). Les impacts de l'artificialisation sur l'eau et les milieux aquatiques. <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-lartificialisation-sur-leau-et-les-milieux-aquatiques#:~:text=Ces%20modifications%20ne%20sont%20pas%20sans%20impact%20sur,d%E2%80%99C3%A9rosion.%20La%20qualit%C3%A9%20de%20l%20eau%20est%20aussi%20affect%C3%A9e.>

¹⁶⁵ Sénat. (2024). Le défi de l'adaptation des territoires face aux risques d'inondation. <https://www.senat.fr/rap/r23-775/r23-775.html>

¹⁶⁶ Eau France. (2022). Les impacts de l'artificialisation sur l'eau et les milieux aquatiques. <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-l-artificialisation-sur-leau-et-les-milieux-aquatiques#:~:text=Ces%20modifications%20ne%20sont%20pas%20sans%20impact%20sur,d%2E2%80%99%C3%A9rosion.%20La%20qualit%C3%A9%20de%20l%21%C3%A9au%20est%20aussi%20affect%C3%A9e.>

¹⁶⁷ INRAE. (2024). Les Solutions Fondées sur la Nature. <https://www.inrae.fr/dossiers/solutions-fondees-nature>

¹⁶⁸ Ministère de la Transition Ecologique, de l'aménagement du territoire, du transport, de la ville et du logement. (2025). Les Solutions Fondées sur la Nature. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/solutions-fondees-nature>

¹⁶⁹ UICN France. (s-d). Les Solutions Fondées sur la Nature <https://uicn.fr/solutions-fondees-sur-la-nature/>

¹⁷⁰ V.Viaud, Z.Thomas. (2019). Une réflexion sur l'état des connaissances des fonctions du bocage pour l'eau dans une perspective de mobilisation de l'action. <https://stm.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2019-4-page-32?lang=fr>

¹⁷¹ V.Viaud, C.Grimaldi, P.Mérot. (2009). Impact des haies sur la ressource en eau et en sol à partir de l'exemple de la Bretagne résultats récents et perspectives. <https://hal.science/hal-01460916/document>

¹⁷² DREAL des Pays de la Loire. (2016). SIGLOIRE – Cartes des unités paysagères en Pays de la Loire. https://carto.sigloire.fr/1/r_at-las_paysage_r52.map

^{173, 174} Ministère des Territoires, de l'Ecologie et du Logement. (2024). Chiffres clés du Climat en France, en Europe et dans le Monde – Edition 2024. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/fr/4-scenarios-et-projections-climatiques>

¹⁷⁵ V.Schwarz, J-M.Soubeyroux. (2022). Quel climat en France en 2050 et en 2100 ? <https://www.annales.org/re/2022/re106/2022-04-07.pdf>

¹⁷⁶ R package. (s-d). R functions to support statistical methods in water resources. <https://rdrr.io/github/USGS-R/smwrStats/>

^{177, 178} INRAE. (2024). Messages et enseignements du projet Explore 2. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/projetexplore2-synthese.pdf>

¹⁷⁹ Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan. (2025). Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ? <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/quelle-evolution-de-la-demande-en-eau-dici-2050>

¹⁸⁰ Pour de plus amples détails, le GIEC-PL invite le lecteur à se référer au rapport du Haut-Commissariat à la Stratégie et au Plan. (2025). Quelle évolution de la demande en eau d'ici 2050 ? <https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/quelle-evolution-de-la-demande-en-eau-dici-2050>

181, 182, 183, 184 CCR. (2018). Conséquences des changements climatiques sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050. <https://www.ccr.fr/documents/148935/368905/Etude+climat+2018.pdf/5beb4ecf-874c-dc54-7e4f-2dd47db-893d6?t=1635425478598>

Avec le soutien de nos partenaires

Collectivités :



Partenaires techniques :





Les tensions sur l'eau s'aggravent en Pays de la Loire

En Pays de la Loire, les évolutions climatiques transforment profondément le cycle de l'eau. La hausse des températures, l'augmentation de l'évapotranspiration et la modification du régime des précipitations accentuent les déficits estivaux, fragilisent la recharge des nappes et renforcent les tensions sur les cours d'eau. Dans le même temps, les risques d'inondation et de submersion demeurent, tandis que la qualité de l'eau reste un défi majeur pour les milieux et l'alimentation en eau potable.

Ces effets ne s'expriment pas de manière homogène sur le territoire régional. Selon les bassins versants, les caractéristiques géologiques, l'occupation des sols et l'intensité des usages, la disponibilité de la ressource et les marges d'adaptation varient fortement. Derrière une apparente abondance, des déséquilibres structurels s'installent, rendant certains territoires plus exposés aux pénuries, aux conflits d'usages et aux dégradations écologiques. Une question centrale s'impose alors : comment adapter la gestion de l'eau sans aggraver les vulnérabilités existantes ?

Ce rapport du GIEC des Pays de la Loire propose une analyse scientifique de l'avenir de la ressource en eau dans la région. Il éclaire les mécanismes à l'œuvre, documente les vulnérabilités territoriales et identifie les leviers d'action mobilisables. Il rappelle que l'adaptation ne peut se limiter à des réponses ponctuelles, mais qu'elle suppose une transformation durable des pratiques, fondée sur la sobriété, la protection des milieux et une gouvernance capable d'anticiper les évolutions à venir.

