

Eau et territoires

Enjeux locaux pour une gestion
transversale et résiliente

Elias Ganivet

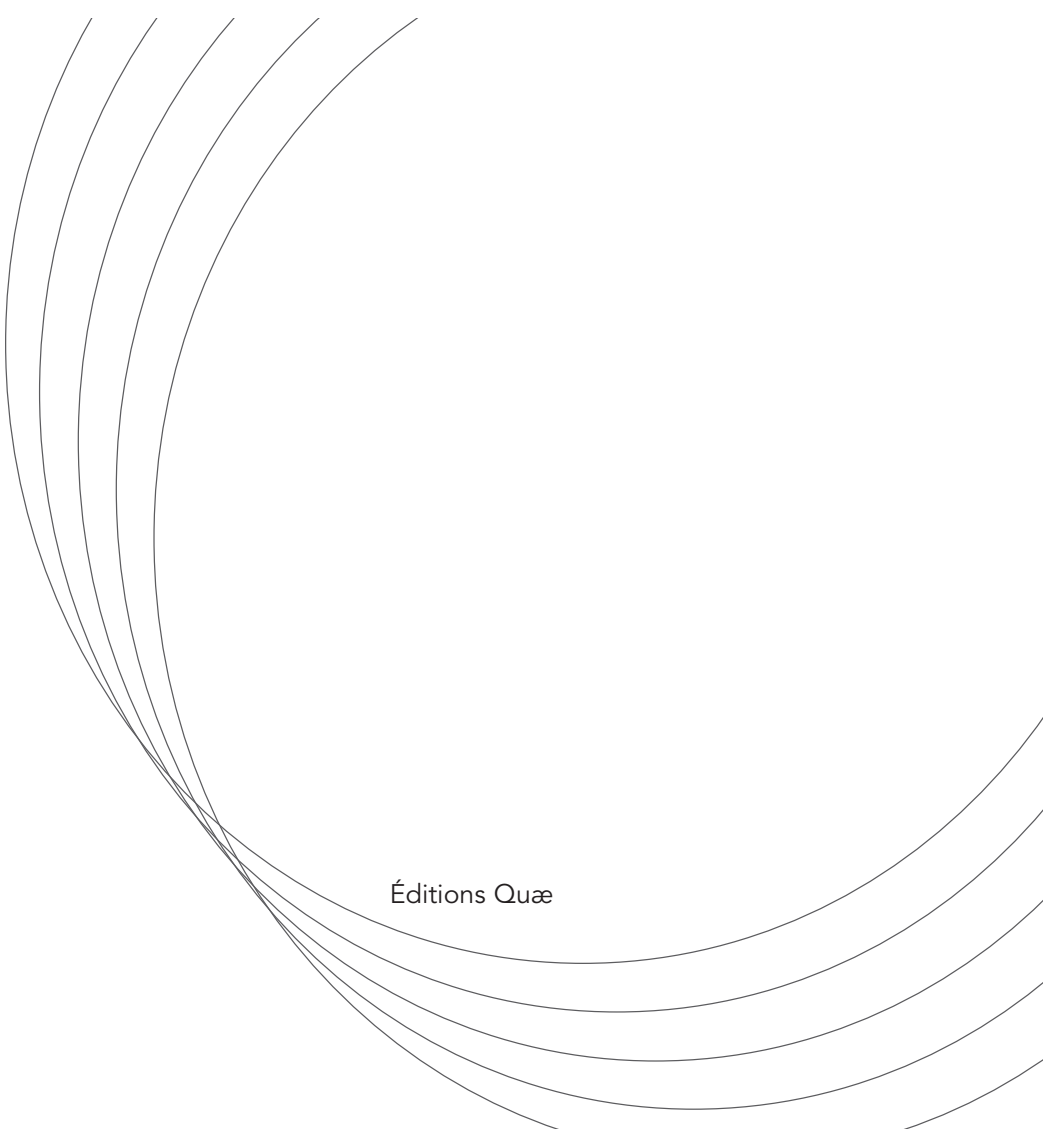


Eau et territoires

Enjeux locaux pour une gestion
transversale et résiliente

Elias Ganivet

Éditions Quæ

An abstract graphic consisting of several thin, curved lines that sweep across the lower half of the page. The lines originate from the left margin and curve towards the right, creating a sense of movement and flow. They are arranged in a series of parallel, slightly overlapping arcs.

Thématique eau / territoires dans la collection Matière à débattre et décider

Comment partager l'eau en France ? À l'ère de l'anthropocène
S. Bouarfa, M. Montginoul, T. Pelte, É. Sauquet, coord., 2025, 184 p.

Trajectoires de transition écologique
Vers une planification dynamique et adaptative des territoires
É. Briche, coord., 2023, 312 p.

Quelles agricultures irriguées demain ?
Répondre aux enjeux de sécurité alimentaire et du développement durable
S. Bouarfa, F. Brelle, C. Coulon, coord., 2020, 212 p.

L'eutrophisation. Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité
G. Pinay, C. Gascuel, A. Mènesguen, Y. Souchon, M. Le Moal, A. Levain, C. Etrillard,
F. Moatar, A. Pannard, P. Souchu, auteurs, 2018, 176 p.

Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal
F. Rey, auteur, 2018, 116 p.

Pour citer cet ouvrage

Ganivet E., 2025. *Eau et territoires. Enjeux locaux pour une gestion transversale et résiliente*, Versailles, éditions Quæ, 200 p. (coll. Matière à débattre et décider).
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4157-6>

Les éditions Quæ réalisent une évaluation scientifique des manuscrits avant publication. La procédure d'évaluation est décrite dans Prism. Le processus éditorial s'appuie également sur un logiciel de détection des similitudes et des textes potentiellement générés par IA.

La diffusion en accès ouvert de cet ouvrage a été soutenue par la Banque des territoires de la Caisse des dépôts, la Fondation CNRS et l'association Water Family – Du flocon à la vague.

Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)



Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex
www.quae.com / www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2025
ISBN (papier) : 978-2-7592-4156-9
ISBN (PDF) : 978-2-7592-4157-6
ISBN (ePub) : 978-2-7592-4158-3
ISSN : 2115-1229

Sommaire

Remerciements	5
Introduction	6
Partie 1. Comprendre les enjeux locaux de l'eau	11
1. Le cycle de l'eau	12
Le bassin versant : le territoire de l'eau	12
Les stocks et flux d'eau au sein du cycle hydrologique	14
Évapotranspiration, infiltration et ruissellement : trois chemins possibles pour les précipitations	17
La variabilité saisonnière des différents flux d'eau	21
Le cas particulier du manteau neigeux et des glaciers	24
Les eaux souterraines	25
Circulation des eaux souterraines et échanges avec la surface	26
Les différents types de sécheresse	30
2. Les facteurs affectant le cycle de l'eau	32
Les facteurs physiques	32
Les facteurs biologiques	41
3. Les impacts anthropiques et leurs conséquences physiques sur le cycle de l'eau	44
Les prélèvements d'eau	44
Les usages de l'eau	51
Le petit cycle de l'eau	58
Les changements de couverture et d'usage des sols	60
L'aménagement des cours d'eau	68
Le changement climatique	75
Les interactions entre pressions climatiques et anthropiques	79
4. Les conséquences sociales des pressions climatiques et anthropiques	81
Les conséquences sociales du changement climatique	82
Les conséquences sociales des autres pressions anthropiques	83
Vers un effet cumulé des pressions climatiques et anthropiques	85

Partie 2. Identifier des leviers d'action pour les territoires	86
5. Solutions sociales et politiques	88
Utiliser et faire respecter le cadre législatif et réglementaire	88
Adapter la gouvernance locale	90
Questionner la capacité d'accueil du territoire	107
Adapter les modes de vie	112
Leviers économiques et incitations	114
Sensibiliser aux enjeux de l'eau	120
6. Solutions fondées sur la nature	122
Adaptation de l'urbanisation	124
Préservation et restauration des écosystèmes	126
Adaptation de l'agriculture	129
7. Solutions techniques et technologiques	138
Réutilisation des eaux usées	139
Amélioration des réseaux	143
Transferts d'eau entre territoires	144
Retenues collinaires	145
Réserves de substitution	147
Recharge artificielle des nappes	154
Désalinisation d'eau de mer	157
 Partie 3. Partager les connaissances avec « Trajectoire eau et territoire »	 161
8. L'intégration des connaissances locales au sein de l'outil	163
Le plateau	164
Les cartes	165
Les cubes	167
9. Retours d'expérience des ateliers « Trajectoire eau et territoire »	169
Ce qui marque	170
Les principales vulnérabilités identifiées	171
Les principales solutions retenues	171
Conclusion	173
Liste des abréviations	174
Bibliographie	176
Crédits iconographiques	199

Remerciements

En premier lieu, je tiens à grandement remercier l'ensemble des partenaires financiers ayant contribué à l'aboutissement de ce travail de recherche : la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires (MITI) du CNRS au titre du projet 8o Prime, l'Agence nationale de la recherche (ANR) au titre du projet ANR-SAPS-RA-RP1 2022, l'Agence de l'eau Adour-Garonne au titre du projet Éduc'Eau, et CNRS Innovation au titre du projet PISE. La publication en accès ouvert de cet ouvrage, quant à elle, a bénéficié d'un soutien financier de la part de la Banque des territoires de la Caisse des dépôts, de la Fondation CNRS et de l'association Water Family – Du flocon à la vague.

Ensuite, je tiens à sincèrement remercier Laurent Longuevergne (CNRS) et Véronique Van Tilbeurgh (Université Rennes 2), pour leur accompagnement dans l'encadrement de mon travail de thèse ayant conduit à la rédaction de cet ouvrage. Je tiens aussi à remercier l'ensemble des membres du jury ayant évalué ce travail de thèse : Agathe Euzen (CNRS), Denis Salles (INRAE), Olivier Barreteau (INRAE), Pascal Goderniaux (Université de Mons), Régis Barraud (Université de Poitiers), Mélanie Congretel (Université Rennes 2) et Thomas Houet (CNRS). Merci aux personnes ayant, par leur relecture partielle, contribué à améliorer cet ouvrage : Alexandre Coche (CNRS), Ronan Abhervé (INRAE), François Gauchery (INRAE), Emmanuelle Hellier (Université Rennes 2). Je remercie également l'ensemble des personnes ayant participé à des ateliers « Trajectoire eau et territoire » et dont les questions, remarques et suggestions ont grandement contribué à faire évoluer l'outil et le contenu de cet ouvrage. De plus, je souhaite remercier les agents de Lorient Agglomération (où ce travail fut initié) — et tout particulièrement Olivier Priolet et Gwenvaël Le Guisquet — pour leur accueil et leur accompagnement nous ayant conduit au projet conjoint Interreg Blue Transition. Enfin, un grand merci aux trois relecteurs anonymes ayant accepté d'évaluer ce travail et dont les commentaires ont fortement concouru à améliorer la qualité de ce manuscrit.

Introduction

Nous vivons une époque où l'ampleur des bouleversements environnementaux impose à l'ensemble des territoires (faisant ici référence à une échelle locale) de faire face à de nouvelles responsabilités écologiques. Le changement climatique, en particulier, est une des pressions au centre de l'attention politique et médiatique depuis ces dernières années. Ses conséquences, et notamment l'accentuation (en intensité et en fréquence) d'événements extrêmes liés à l'eau, ont particulièrement mis en lumière la grande vulnérabilité des territoires. À titre d'exemple, en France métropolitaine, la sécheresse de 2022 a eu de lourds impacts sur l'alimentation en eau potable (ruptures d'approvisionnement^{1,2}), l'agriculture (pertes de rendement) (Insee, 2023) et les écosystèmes (assèchement des rivières et perte de biodiversité). Pourtant, cet épisode considéré comme extrême pourrait être un épisode moyen d'ici à 2050 (Météo-France, 2022). À l'opposé, de nombreuses régions françaises se sont ensuite retrouvées confrontées à des phénomènes d'inondations catastrophiques en 2023, 2024 et 2025.

De fait, il apparaît de plus en plus évident que le nouveau contexte hydroclimatique qui se met en place pourrait causer des impacts irréversibles, en poussant les activités humaines et les écosystèmes au-delà de leur limite d'adaptation (Arambourou *et al.*, 2025). Cette évolution questionne ainsi dès aujourd'hui les règles de gestion et de partage de l'eau (Salles, 2022 ; Bouarfa *et al.*, 2025) — l'approche actuelle s'appuyant sur des hypothèses de stabilité et d'abondance fortement compromises (Milly, 2008). En changeant de contexte (accentuation des périodes avec soit trop d'eau, soit pas assez d'eau), c'est le référentiel même de cette gestion quantitative qui est questionné. Le défi est donc vertigineux : il faut définir dès aujourd'hui des trajectoires plus résilientes (The Shift Project, 2022) — c'est-à-dire identifier des leviers locaux d'adaptation, afin de rendre les territoires plus robustes face aux changements (Hamant, 2023).

Cependant, s'il existe une certaine prise de conscience des bouleversements en cours, nos sociétés ont généralement tendance à considérer de manières indépendantes les unes des autres les questions que ces bouleversements posent. Par exemple, de nombreux discours politiques et médiatiques tendent à envisager ces pressions sous l'angle exclusivement climatique, réduisant par là même pour l'essentiel les activités humaines à des flux de gaz à effet de serre. Ce prisme conduit ainsi à une singularisation et une hiérarchisation des enjeux, excluant de fait d'autres enjeux environnementaux. Cela questionne les politiques d'adaptation à apporter, dans la mesure

1. <https://www.ouest-france.fr/bretagne/botmeur-29690/secheresse-ce-village-du-finistere-commande-des-camions-citernes-en-urgence-pour-ne-pas-etre-a-sec-86f5df82-18ba-11ed-9419-c6323ddb2580> (consulté le 18/08/2025).

2. <https://www.ledauphine.com/environnement/2022/07/21/haute-savoie-les-sources-a-sec-les-habitants-ravitailles-en-eau-potable-a-sappey-et-vovray-en-bornes> (consulté le 18/08/2025).

où le changement climatique ne représente qu'une pression additionnelle (bien que significative) sur des territoires déjà fortement impactés par l'ensemble des autres pressions d'origine anthropique (incluant, par exemple, les usages de l'eau, l'urbanisation, les pratiques agricoles...). Ce constat invite par conséquent à prendre du recul et changer de perspective, pour intégrer une vision d'ensemble des pressions climatiques et anthropiques affectant les territoires — c'est-à-dire adopter une approche plus systémique et transversale.

Une telle approche transversale semble ainsi indispensable pour dépasser une conception de toutes les pressions affectant les ressources en eau comme des sujets indépendants, pouvant se résoudre par des approches réductionnistes et appelant une réponse unique (généralement technique), au risque de maladaptations (c'est-à-dire que le remède pérennise, voire aggrave, le risque qu'il est supposé résoudre) (Bertana *et al.*, 2022). Si l'absence de transversalité pouvait ne pas poser de problème majeur dans un contexte d'abondance, cela semble en revanche relativement inadapté au nouveau contexte hydroclimatique — imposant de fait une transversalité sous contrainte. Ce manque de cohérence dans les politiques publiques était d'ailleurs également souligné par un rapport de la Cour des comptes datant de mars 2023 et qui relevait « une organisation inadaptée aux enjeux de la gestion quantitative de l'eau ».

L'adaptation des territoires est donc devenue un enjeu majeur à l'échelle nationale, donnant notamment lieu à l'élaboration de nombreux documents de planification. Cependant, une ambition de « Préparer la France à + 4 °C »³, comme le titre un de ces documents, n'informe pas précisément les acteurs locaux sur les changements attendus dans leur territoire. Chaque territoire possédant des caractéristiques biophysiques (climat, géologie, relief, sol...) et sociales (activités économiques, usages de l'eau et des sols...) différentes, il y a un besoin de recentrer les questions d'adaptation à une échelle plus locale (communes, intercommunalités, bassins de vie...). Adopter une approche plus systémique et transversale à l'échelle locale vise également à redonner aux acteurs locaux une capacité à agir en faveur de l'adaptation de leur territoire, là où la thématique du changement climatique seule (appelant une approche mondiale) peut parfois générer un sentiment d'impuissance sur place. En effet, de nombreux leviers d'action locaux (touchant à l'ensemble des autres pressions anthropiques mentionnées précédemment, telles qu'usages de l'eau, urbanisation, pratiques agricoles, modes de vie, attractivité du territoire...) existent dans le but de rendre les territoires plus résilients.

Les successions d'événements extrêmes de ces dernières années ont toutefois mis en lumière un important manque d'anticipation à l'échelle des territoires — constat partagé par un rapport interministériel dressant un retour d'expérience de la gestion de l'eau lors de la sécheresse 2022 (Bertrand *et al.*, 2023). Ce niveau d'impréparation

3. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20241025_DP_PNACC3.pdf (consulté le 18/08/2025).

face aux successions d'extrêmes renforce ainsi le constat que les décisions ont tendance à survenir principalement afin de répondre à l'urgence (politiques curatives plutôt que préventives)⁴. Il devient donc indispensable de mieux prendre en compte, dans l'action publique, les pressions futures (changement climatique, urbanisation, agriculture, prélèvements d'eau...). Pourtant, il ne semble désormais plus y avoir de problème de connaissances pour mettre en œuvre des politiques d'adaptation (Boyd *et al.*, 2015). C'est donc principalement une question de choix sociétaux et d'orientation de l'action publique.

Par ailleurs, l'absence de mise en action questionne également directement le rôle de la science, notamment du fait de la disponibilité d'outils et connaissances permettant de réduire les incertitudes dans les décisions publiques. Cependant, il s'agit d'approches généralement techniques, se prêtant difficilement au partage de connaissances auprès des acteurs des territoires. Dans ce contexte, le risque est que l'accumulation de connaissances scientifiques serve principalement à « la contemplation des désastres » plutôt qu'à permettre d'accompagner réellement les territoires dans une transition socioécologique. De ce fait, il apparaît aussi nécessaire de redéfinir la manière dont les connaissances et les résultats de la recherche peuvent contribuer à la construction de connaissances partagées et permettre de renforcer les décisions publiques locales.

Pour finir, les évolutions hydroclimatiques génèrent également de plus en plus de tensions dans l'espace public entre les différentes catégories d'usagers. Bien que ces tensions ne soient pas récentes, leurs fréquences et leurs intensités semblent s'accroître, comme en témoignent de récents conflits (« mégabassines », retenues collinaires...). Cela montre, tout d'abord, l'absence de consensus concernant les modalités de gestion de l'eau, ainsi que le besoin de dialogue et de concertation afin d'engager une réflexion démocratique sur son partage — là où l'approche actuelle a généralement tendance à exclure la société civile (Legros, 2024). Dans ce contexte, il apparaît également nécessaire de favoriser une mise en débat du sujet avec l'ensemble des acteurs composant chaque territoire. Tout le monde ayant besoin d'eau, cette thématique offre ainsi l'opportunité, à travers un objet unique, de croiser de nombreux enjeux associés (climat, biodiversité, activités humaines...) et de rassembler de nombreux acteurs locaux (décideurs, habitants, associations, agriculteurs, entreprises...).

Cet ouvrage s'insère ainsi dans le contexte d'un travail de recherche toujours en cours et visant à répondre en partie à tous ces enjeux. Il fut initié dans le cadre d'une thèse de doctorat (Ganivet, 2023) — menée de 2020 à 2023 — dont l'objectif était de concevoir une démarche et des outils permettant :

- d'aider à mieux comprendre les enjeux locaux de l'eau ;
- de se projeter sur l'état de la ressource et sa répartition future ;
- et de définir collectivement des trajectoires souhaitables pour les territoires.

4. https://www.lemonde.fr/idees/article/2024/04/08/le-deni-francais-face-aux-menaces-sur-l-eau_6226651_3232.html (consulté le 18/08/2025).

Appliquée en Bretagne — sur le territoire de Lorient Agglomération et des bassins versants du Scorff et du Blavet —, la méthodologie expérimentée était : interdisciplinaire par l'implication de chercheurs et d'approches issus des sciences naturelles et des sciences sociales ; participative par l'implication (lors d'ateliers) d'une diversité d'acteurs locaux (usagers, gestionnaires, élus...) ; et anticipative par l'usage d'outils de modélisation et de scénarios, afin de confronter ces acteurs à la possible situation future et d'identifier des leviers d'adaptation pour leur territoire (Ganivet *et al.*, 2024a).

Dans ce cadre, cet ouvrage propose une synthèse (et un approfondissement) de la thèse de doctorat dont ce travail est issu, afin de rendre plus facilement accessibles ces connaissances au plus grand nombre. Il s'adresse aux décideurs et, plus généralement, à toute personne souhaitant mieux comprendre les enjeux (quantitatifs) de l'eau à l'échelle de son territoire (en France métropolitaine). De fait, cette synthèse de connaissances offre une vision relativement systémique (ou transversale), en mobilisant à la fois les aspects biophysiques et sociaux associés à l'eau :

- le fonctionnement naturel du cycle de l'eau (bassin versant, stocks, flux...) ;
- les impacts des activités humaines (prélèvements et usages de l'eau, changements de couverture des sols...) et leurs conséquences physiques sur le cycle de l'eau ;
- leurs conséquences sociales ;
- et enfin les potentiels leviers d'action locaux pouvant être mobilisés afin de rendre les territoires plus résilients (solutions sociales, fondées sur la nature, et techniques).

Ce faisant, ce livre vise à rassembler au sein d'un ouvrage unique des connaissances qui sont généralement fragmentées au sein de multiples sources. Enfin, il vise également à mettre plus en lumière la dimension souterraine des ressources en eau — élément invisible qui est souvent très mal représenté (voire absent) dans l'imaginaire collectif et dans nombre d'ouvrages sur l'eau.

Il est néanmoins important de noter qu'il reste imparfait, et que la vision d'ensemble proposée ici ne prétend pas aborder tous les enjeux de l'eau de manière universelle — c'est-à-dire qui serait systématiquement adaptée au particularisme de chaque territoire. Cette synthèse de connaissances se voulant la plus compréhensive possible, certains éléments présentés sont également parfois simplifiés vis-à-vis de leur complexité et pourraient ne pas toujours correspondre à la situation de tous les territoires. Un traitement au cas par cas n'étant pas ici l'objectif, il appartient au lecteur de bien identifier les spécificités du territoire l'intéressant. De plus, cet ouvrage se concentre majoritairement sur les aspects quantitatifs de l'hydrologie et de la gestion de l'eau. Ce choix s'explique par le fait que, jusqu'à récemment, ces enjeux n'étaient que faiblement pris en compte dans de nombreux territoires de France métropolitaine — là où les aspects de qualité et de pollution de l'eau étaient historiquement plus mis en avant. En revanche, les enjeux de qualité d'eau et leurs conséquences — sujet tout aussi important — sont actuellement en cours de développement pour venir compléter cette démarche à l'avenir.

Enfin, au-delà de cet ouvrage, les connaissances mobilisées ici peuvent également être partagées sous forme d'ateliers participatifs à l'aide de l'outil de médiation « Trajectoire eau et territoire »⁵ (et d'un outil associé : le « Kit de sensibilisation des élus aux enjeux de l'eau »⁶). Dans ce contexte, cet ouvrage fournit ainsi quelques détails concernant la manière dont cet outil permet de faciliter la compréhension des enjeux locaux de l'eau — l'idée étant que ces ateliers participatifs s'organisent en suivant les différentes thématiques abordées tout au long de cet ouvrage. Il propose également une synthèse des retours d'expérience issus du déploiement de cet outil à l'échelle nationale. L'expérience issue de ces ateliers est d'ailleurs à l'origine de certaines thématiques abordées au sein de cet ouvrage — permettant de répondre à des questionnements courants des participants.

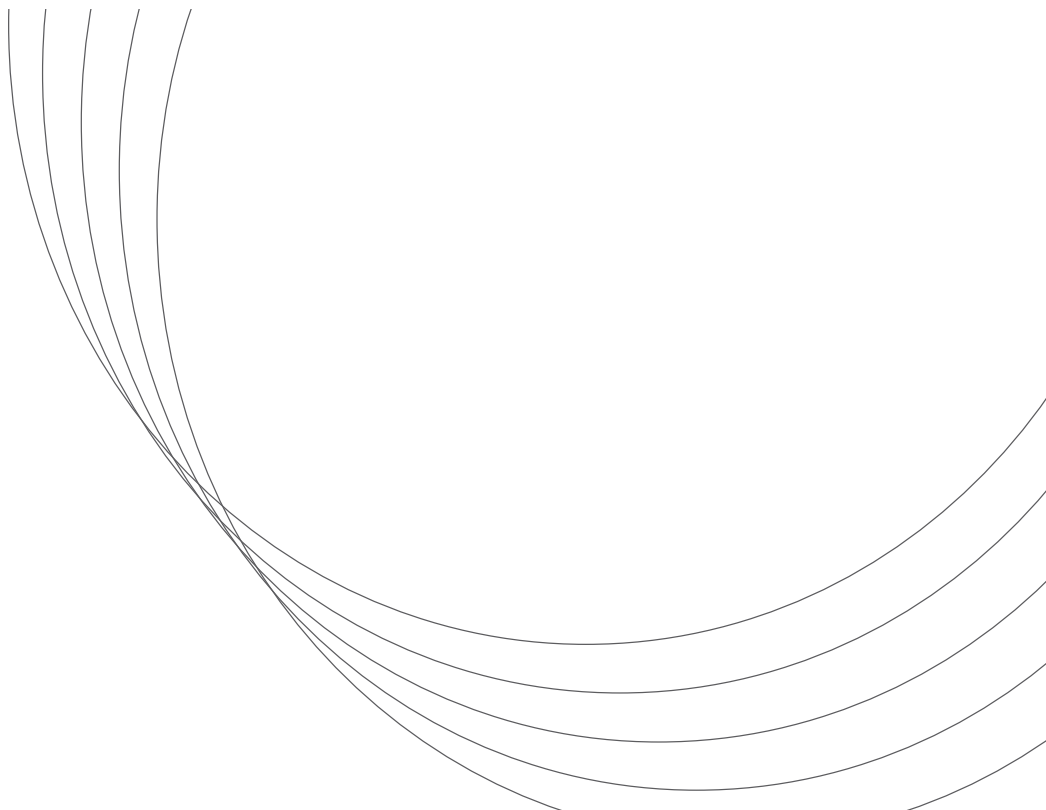
5. <https://eau-et-territoire.org/trajectoire> (consulté le 18/08/2025).

6. <https://aquagir.fr/tout-savoir-sur-leau/kit-sensibilisation-elus-enjeux-eau> (consulté le 18/08/2025).

Partie 1

Comprendre les enjeux locaux de l'eau

Aboutir à des territoires plus résilients nécessite au préalable de disposer d'une compréhension suffisamment bonne des processus affectant le cycle de l'eau à l'échelle locale. Dans ce but, cette partie synthétise, dans un premier temps, un ensemble de connaissances inhérentes au fonctionnement du cycle de l'eau au sein des contextes retrouvés en France métropolitaine. Dans un second temps, elle explore les conséquences, à la fois sur le cycle de l'eau puis sur la société, de différents impacts des activités humaines.



1. Le cycle de l'eau

Le bassin versant : le territoire de l'eau

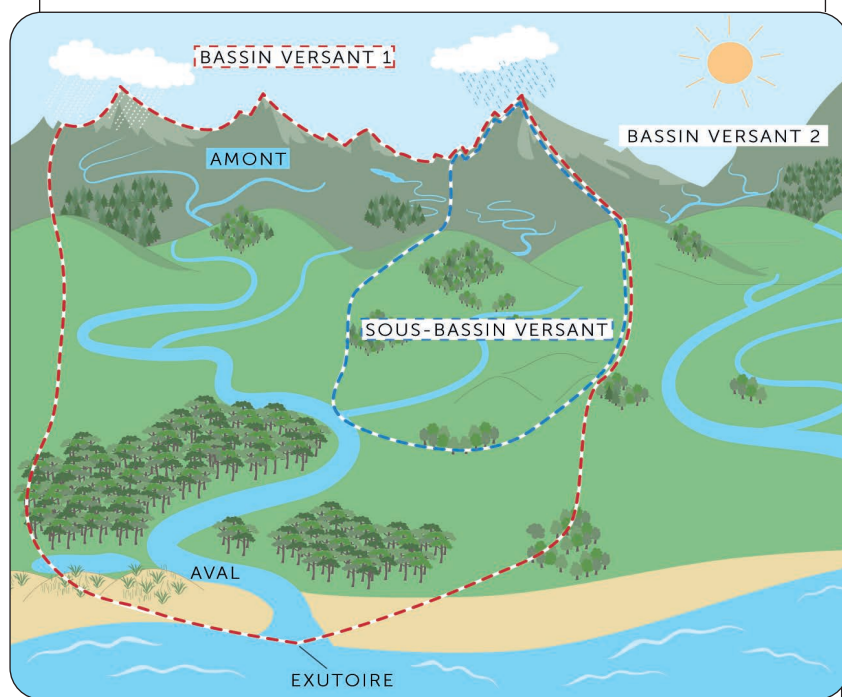
La notion de « bassin versant » constitue un des concepts fondamentaux du cycle de l'eau à l'échelle continentale (Brutsaert, 2005 ; Schaffner *et al.*, 2021). Un bassin versant correspond à une portion d'espace terrestre à l'intérieur de laquelle les eaux issues des précipitations s'écoulent naturellement (en surface et dans le milieu souterrain) vers un même point nommé « exutoire » (cours d'eau, lac ou océan) (Uereyen et Kuenzer, 2019). Chaque bassin versant est délimité par ce qu'on appelle des « lignes de partage des eaux » — frontières naturelles généralement dessinées par le relief et correspondant aux lignes de crête (fig. 1.1). Évidentes lorsque le relief est marqué, comme en montagne, elles sont en revanche plus difficiles à identifier dans les secteurs de plaine. Ainsi, les précipitations tombant d'un côté ou de l'autre de cette ligne de partage des eaux alimenteront deux bassins versants situés côte à côte. Pour des raisons de simplification (et par abus de langage), c'est généralement uniquement cette délimitation topographique qui est utilisée pour définir les « bassins versants ». En réalité, les conditions géologiques peuvent également parfois induire des transferts d'eau interbassins par des flux souterrains, modifiant de fait la ligne de partage des eaux. Ainsi, un bassin versant n'est, en pratique, pas toujours délimité strictement par sa topographie (ou alors on parle de « bassin versant topographique »), bien qu'il s'agisse d'une hypothèse simplificatrice courante.

Le bassin versant se compose ensuite d'une rivière principale prenant sa source généralement sur les hauteurs (à l'amont), au niveau de ce qui est appelé la « tête de bassin », puis s'écoulant (suivant le relief, dans le fond de la vallée) en collectant l'eau de ses affluents pour rejoindre l'océan ou se jeter dans un autre cours d'eau, au niveau de son exutoire (à l'aval). Les bassins versants de grandes tailles sont ainsi composés de l'assemblage des sous-bassins versants de leurs affluents. Selon un motif arborescent, les bassins versants forment des continuités hydrographiques reliant tous les écoulements jusqu'aux mers et aux océans. Par extension, ils constituent également des continuités écologiques (corridors biologiques) — distribuant les habitats d'une part importante des écosystèmes.

Cette vision « bassin versant » est indispensable, car chaque bassin présente des caractéristiques uniques (taille, orientation, réseau hydrographique, relief, climat, géologie, couverture des sols...). De plus, une problématique majeure est que les frontières politiques et administratives ne coïncident généralement jamais avec les limites hydrologiques des bassins versants (sauf éventuellement lorsque la ligne de frontière est également une ligne de crête). À titre d'exemple, dans la partie sud-ouest de la France,

les bassins côtiers basques sont situés à cheval entre deux pays, tandis que le bassin versant de l'Adour, en plus de déborder légèrement sur le territoire espagnol, recoupe les limites administratives de quatre départements (fig. 1.2). Aussi, les questions du partage de toutes les formes de ressources liées à l'eau peuvent générer des tensions (Unep-DHI, Unep, 2016) — notamment entre territoires en amont qui prélèvent (aménagements hydrauliques, irrigation...), voire polluent la ressource, et territoires tributaires en aval. Le partage des eaux souterraines entre limites administratives pose également des problèmes spécifiques⁷. Pour cette raison, il est indispensable, dans la gestion des ressources en eau, de prendre en compte cette échelle hydrologique du « bassin versant », là où les limites administratives (que ni les cours d'eau ni les eaux souterraines ne connaissent) sont beaucoup moins pertinentes.

Figure 1.1. Représentation schématique d'un bassin versant (topographique) et son sous-bassin versant délimités par leurs lignes de partage des eaux.

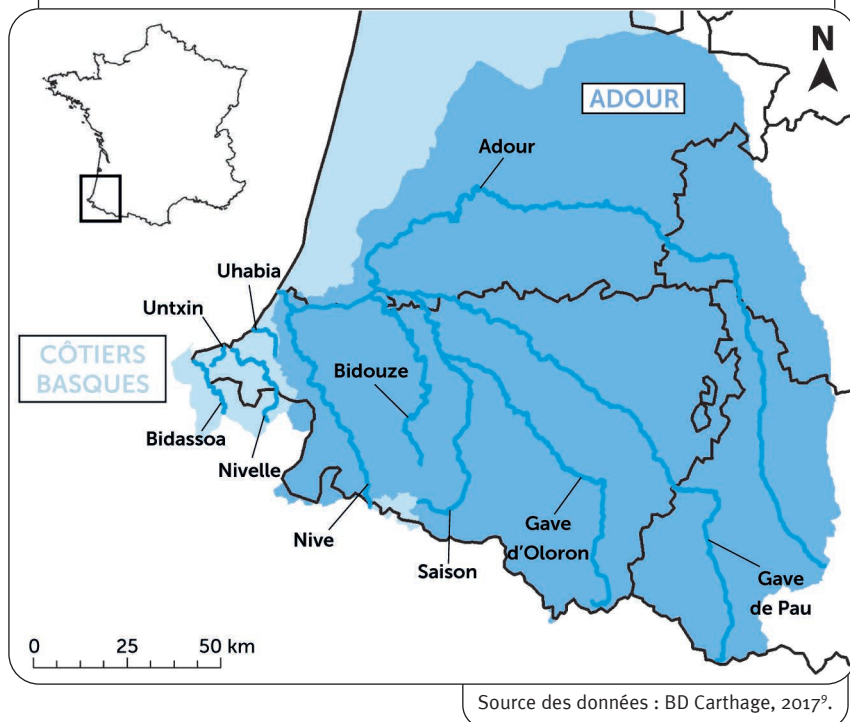


Source : © Water Family, adapté de l'Office français de la biodiversité (OFB) / Matthieu Nivesse (d'après OIEau)⁸.

7. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-world-map-2021> (consulté le 18/08/2025).

8. <https://www.eaufrance.fr/leau-et-les-milieux-aquatiques> (consulté le 18/08/2025).

Figure 1.2. Mise en perspective des limites hydrologiques du bassin versant de l'Adour et des bassins côtiers basques avec les limites administratives (traits noirs) des départements des Pyrénées-Atlantiques, des Hautes-Pyrénées, du Gers et des Landes (sud-ouest de la France).

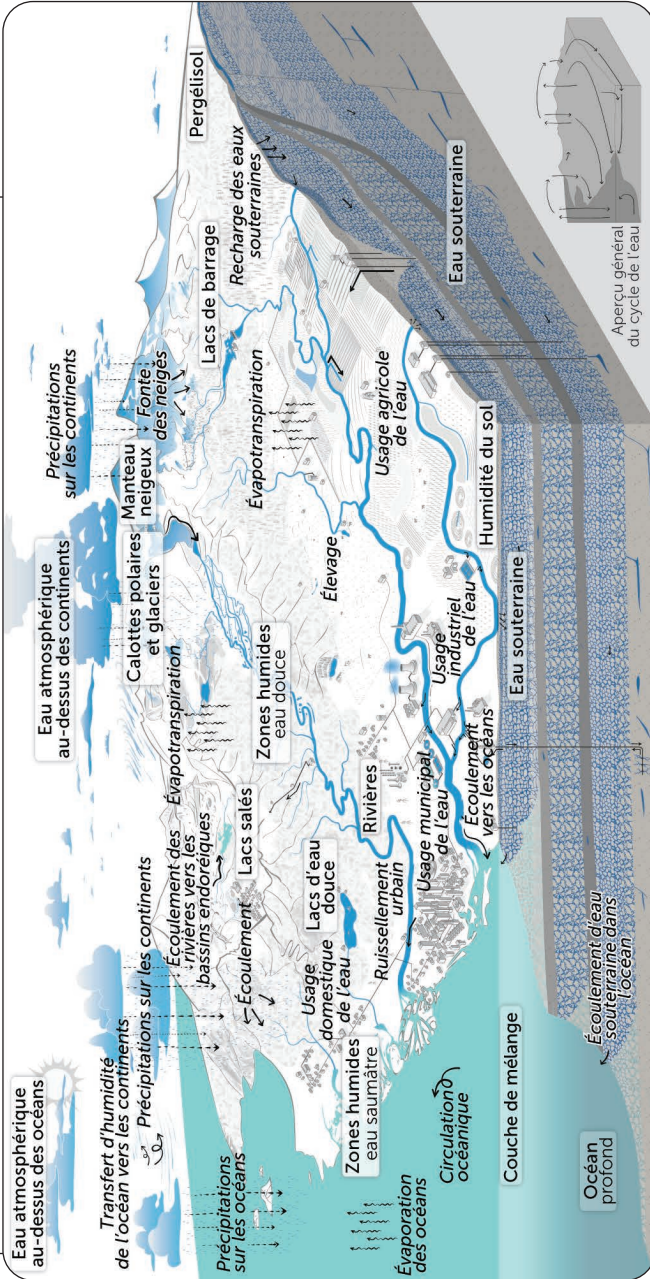


Les stocks et flux d'eau au sein du cycle hydrologique

L'eau existe sous trois états physiques : solide, liquide et gazeux. Elle circule et se transforme dans l'atmosphère, à la surface de la Terre et dans le milieu souterrain, suivant différents processus naturels qui constituent tous ensemble ce qu'on appelle le « cycle de l'eau ». Ce cycle de l'eau correspond ainsi à un ensemble des flux physiques (transferts) d'eau entre différents stocks (réservoirs) à l'échelle globale, comme représenté sur un diagramme proposé par l'Institut d'études géologiques des États-Unis (fig. 1.3).

9. <https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/deafc1b2-0d2e-4552-ad22-0227ffd77b3> (consulté le 18/08/2025).

Figure 1.3. Représentation du cycle de l'eau produit par l'Institut d'études géologiques des États-Unis (U.S. Geological Survey).



Source : Corson-Dosch et al., 2023, <https://pubs.usgs.gov/publication/gip221>.

Selon la littérature scientifique (Abbott *et al.*, 2019), un grand nombre de zones de stockage transitoire d'eau sont généralement renseignées parmi les diagrammes représentant le cycle de l'eau. Ils correspondent aux différents compartiments dans lesquels se retrouve l'eau sous toutes ses formes sur Terre. Parmi les principaux, nous retrouvons : l'atmosphère, comprenant de l'eau sous forme gazeuse ; l'océan, les cours d'eau, les plans d'eau, les zones humides, le sol (humidité du sol) et les eaux souterraines, comprenant de l'eau sous forme liquide ; et le manteau neigeux et les glaciers (ainsi que certains sols gelés en permanence, appelés pergélisols), comprenant de l'eau sous forme solide. Ces stocks peuvent en outre être variables d'un territoire à l'autre : par exemple, en France, le « manteau neigeux » concernera principalement des territoires de montagne.

Ces stocks sont ensuite reliés par des flux physiques d'eau. Pour des raisons de simplification, seulement une partie de ces flux est représentée ici, en opérant parfois certains regroupements. En particulier, l'objectif étant de représenter le cycle de l'eau dans les territoires (c'est-à-dire sur la partie terrestre), certains éléments de la partie océanique seront volontairement édulés. Ainsi, les principaux flux seront résumés ici par : les précipitations ; le ruissellement ; l'infiltration ; l'évapotranspiration ; et les échanges entre nappes et surface. Si différentes définitions peuvent parfois exister pour ces termes, nous nous référons ici à celles proposées par le « Glossaire sur l'eau, le milieu marin et la biodiversité »¹⁰ piloté et animé par l'Office international de l'eau (OiEau)¹¹. Par exemple, le ruissellement est défini ici comme l'eau s'écoulant à la surface du sol et des versants¹². L'infiltration, quant à elle, fait référence à l'eau franchissant la surface du sol et rechargeant les nappes souterraines¹³ : il s'agit donc ici de l'eau infiltrée n'étant pas captée par la végétation. Enfin, l'évapotranspiration est, comme son nom l'indique, le résultat de deux phénomènes : l'évaporation de l'eau en surface et dans les sols (comprenant également l'eau interceptée par les parties aériennes des végétaux puis évaporée) ; et la transpiration du vivant — surtout la végétation (ce flux intègre donc aussi la part d'eau infiltrée dans les sols, mais qui est captée puis transpirée par la végétation)¹⁴.

Les aspects généraux du cycle de l'eau (évaporation sur les océans, formation de nuages et précipitation sur les continents, puis écoulement des rivières jusqu'aux océans) étant généralement connus de tous, nous nous concentrerons ici sur des aspects souvent peu mis en avant, mais pourtant fondamentaux : les précipitations et leur partitionnement au sein de différents flux d'eau ; la variabilité saisonnière de ces différents flux ; le cas particulier du stockage sous forme de manteau neigeux ; les processus impliquant les eaux souterraines et leur contribution au soutien des rivières et au maintien de conditions humides en surface ; et les conséquences de la multiplicité de ces chemins de l'eau sur différents types de sécheresses.

10. <https://glossaire.eauetbiodiversite.fr> (consulté le 18/08/2025).

11. <https://www.oieau.org> (consulté le 18/08/2025).

12. <https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/concept/ruissellement> (consulté le 18/08/2025).

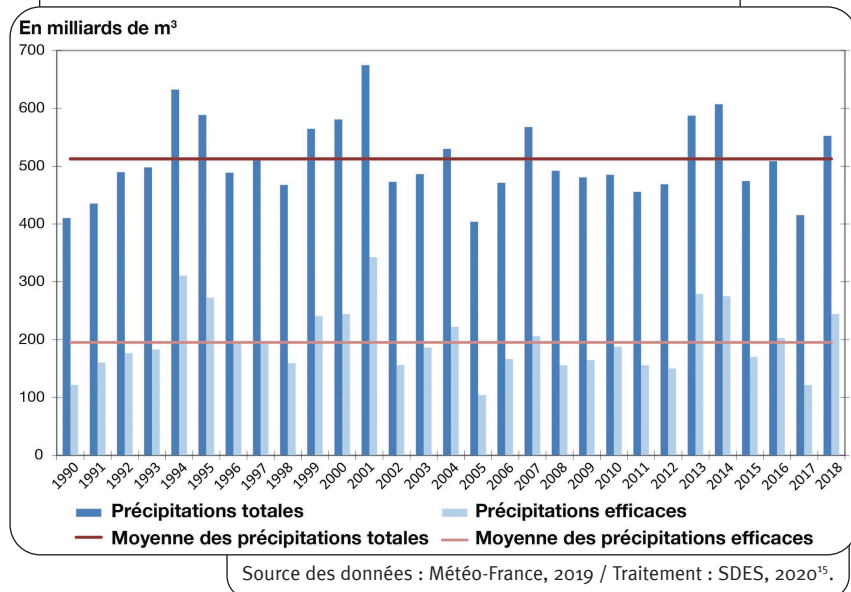
13. <https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/concept/infiltration> (consulté le 18/08/2025).

14. <https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/concept/evapotranspiration> (consulté le 18/08/2025).

Évapotranspiration, infiltration et ruissellement : trois chemins possibles pour les précipitations

Les précipitations sont un élément indispensable à l'approvisionnement en eau des territoires. À l'échelle nationale, un cumul moyen d'environ 900 mm (~ 503 milliards de mètres cubes) de précipitations (pluie et neige) est observé chaque année. Cependant, ces précipitations peuvent être extrêmement variables d'une année à l'autre (fig. 1.4) et d'un territoire à l'autre (fig. 1.5) — résultat de différents facteurs à la fois climatiques et géographiques. Par exemple, annuellement, il tombe en moyenne autour de 600 mm de précipitations à Perpignan, contre 1 500 mm à Biarritz (et jusqu'à plus de 2 000 mm dans certaines zones montagneuses). Une fois arrivée au sol, l'eau issue de ces précipitations se répartit au sein de trois chemins (flux) possibles : l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration (recharge des nappes). Ce partitionnement sera dépendant de nombreuses caractéristiques physiques locales (voir section « Les facteurs physiques affectant le cycle de l'eau ») et pourra être relativement variable en fonction de l'échelle temporelle étudiée (évènementielle, mensuelle, annuelle...).

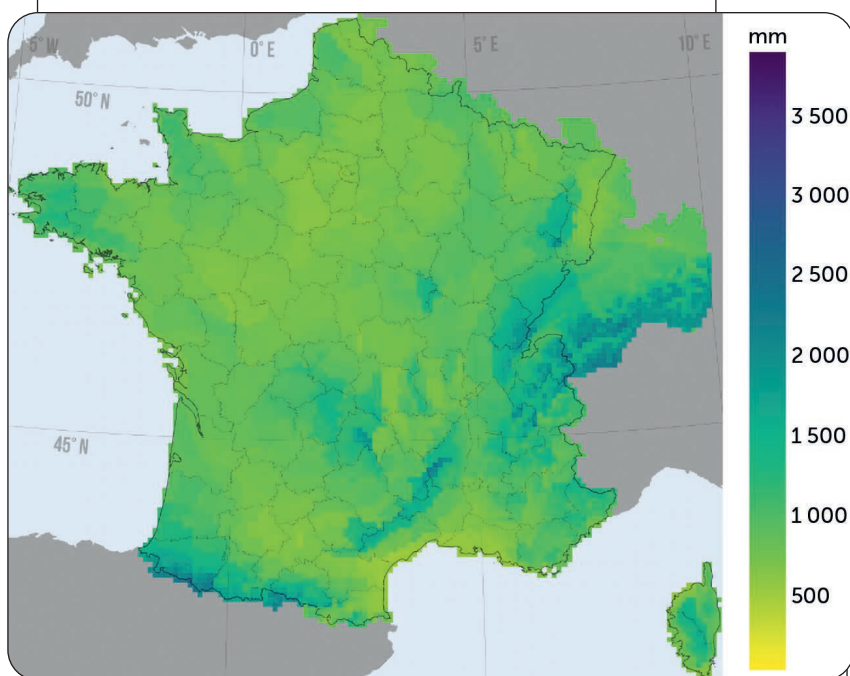
Figure 1.4. Évolution annuelle du volume des précipitations totales et des précipitations efficaces en France entre 1990 et 2018.



15. <https://www.notre-environnement.gouv.fr/rapport-sur-l-etat-de-l-environnement/themes-ree/pressions-exercees-par-les-modes-de-production-et-de-consommation/prelevements-de-ressources-naturelles/eau-douce/article/les-precipitations-et-l-eau-disponible> (consulté le 18/08/2025).

De manière simplifiée, ce partitionnement sera résumé ici sous forme de bilan d'évolution à l'échelle annuelle puis saisonnière (fig. 1.6) — un exercice connu sous le nom de « bilan hydrologique »¹⁶. Tout d'abord, une grande partie de l'eau tombant au sol retourne dans l'atmosphère par évapotranspiration : captée, puis transpirée par la végétation (ou évaporée dans les sols et en surface), cette eau ne bénéficie donc ni aux milieux aquatiques de surface ni aux nappes souterraines (et, *a fortiori*, ni aux besoins anthropiques). Au niveau national, ce flux (nécessaire à la végétation) mobilise environ 60 % des précipitations annuelles. La partie restante (c'est-à-dire environ 40 % des précipitations annuelles) ruisselle à la surface du sol ou s'infiltre au-delà et recharge les eaux souterraines : elle constitue ce qui est appelé « les précipitations (ou pluies) efficaces »¹⁷. Ainsi, à l'échelle nationale, seul un peu plus d'un tiers des précipitations est considéré comme « efficace » et alimente donc les cours d'eau et les nappes souterraines annuellement (voir fig. 1.4).

Figure 1.5. Carte des précipitations totales annuelles moyennes (en mm) en France sur la période 2010-2020.



Source des données : Météo-France, 2023¹⁸ / Infographie : © Alexandre Coche, 2024.

16. <https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/concept/bilan-hydrologique> (consulté le 18/08/2025).

17. <https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/concept/pluie-efficace> (consulté le 18/08/2025).

18. <https://meteo.data.gouv.fr> (consulté le 18/08/2025).