

Stratégie d'atténuation et d'adaptation au dérèglement climatique

**Avis du conseil
scientifique du
comité de bassin
Loire-Bretagne**

Table des matières

Préambule	4
Saisine SAADC	5
1. Contexte et enjeux du changement climatique	6
2. Un cadre réglementaire récent pour les sols	8
3. Propositions de grandes orientations par le conseil scientifique	9
4. Recomposer des paysages et des habitats aquatiques diversifiés	9
4.1. Reconnecter les milieux aquatiques entre eux et avec leur bassin-versant	9
4.2. Pérenniser/rétablir les processus hydromorphologiques moteurs de la diversité des paysages fluviaux, et des fonctions biogéochimiques	10
4.3. Restaurer les zones inondables	10
4.4. Reconnecter les écosystèmes aquatiques	10
4.5. Intégrer les dimensions sociales et favoriser la reconnexion des populations à l'environnement	10
5. Repenser les fonctionnalités des sols agricoles et urbains au regard du cycle de l'eau	11
5.1. Des sols agricoles sains	11
5.2. Limiter l'imperméabilisation, désimperméabiliser et renaturer les espaces urbains	12
6. Limiter l'empreinte eau quantitative et qualitative	12
6.1. Diminuer les prélèvements d'eau	12
6.2. Réduire les pollutions à la source	13
7. Réinterroger les solidarités territoriales pour l'usage de l'eau ...	14
7.1. Repenser des solidarités politiques institutionnelles et citoyennes entre l'amont et l'aval	14
7.2. Tenir compte des enjeux de santé liés aux usages de l'eau	14
7.3. Favoriser l'émergence d'une culture de bassin-versant	15
Favoriser l'émergence d'une culture de bassin-versant qui articule une plus grande solidarité entre communautés humaines et également une solidarité avec les formes de vie non-humaines, à l'échelle du bassin-versant et entre bassins-versants	15
8. Références bibliographiques	16

Préambule

La stratégie d'atténuation et d'adaptation au dérèglement climatique du bassin Loire-Bretagne a pour objectif de renforcer la prise en compte du dérèglement climatique dans les documents du bassin. La construction de la stratégie de bassin vient s'insérer dans le 4^e cycle de la directive cadre sur l'eau (DCE) 2028-2033.

La rédaction de cette stratégie est constituée de 3 parties ou « blocs ».

Le bloc de 2 de la stratégie a été présenté à la commission planification le 6 juin 2024 et adopté par le comité de bassin le 11 juillet 2024. Les 5 grands principes et les conditions de réussite de la stratégie ont été intégrés dans le document des enjeux du bassin (questions importantes) au travers de l'enjeu 1 « la politique de l'eau à la hauteur des enjeux d'atténuation et d'adaptation au dérèglement climatique ».

Le conseil scientifique du bassin Loire-Bretagne a été saisi pour la rédaction des grandes orientations opérationnelles qui seront intégrées dans le bloc 3 de la stratégie.

COMITÉ DE BASSIN

Séance plénière du 11 juillet 2024

SAISINE DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE

STRATÉGIE D'ATTÉNUATION ET D'ADAPTATION AU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE

Le comité de bassin a lancé en juillet 2023 l'élaboration, sous son autorité, d'une stratégie d'atténuation et d'adaptation au dérèglement climatique pour le bassin Loire-Bretagne. En juin 2024, la commission planification a examiné le bloc 2 qui définit les 5 grands principes et les 3 conditions de réussite de cette stratégie. Le bloc 3 de la stratégie doit décliner ces principes dans des orientations intégrant de grandes typologies d'actions, ayant vocation à être prises en compte dans les documents de planification et de programmation (tant à l'échelle du bassin qu'au niveau local), pour une meilleure prise en compte du dérèglement climatique dans les politiques de gestion de l'eau.

Le président du comité de bassin, sur proposition de la commission planification et après avis du Bureau saisit le conseil scientifique afin d'identifier des orientations et des typologies d'actions associées, intégrant l'ensemble des grands principes inscrits dans le bloc 2 de la stratégie.

Afin de rester dans l'esprit d'une stratégie concise, voulue par le comité de bassin, positionnée en amont des documents de planification et de programmation, il est suggéré que la contribution du conseil scientifique s'articule autour des 4 à 5 orientations qu'il jugera les plus fondamentales, chacune d'environ deux pages au maximum. Cette contribution a vocation à intégrer le bloc 3 de la stratégie, ou tout le moins à l'inspirer largement. Cette contribution est attendue pour la fin de l'année.

Le Président
du comité de bassin Loire-Bretagne

SIGNÉ

Thierry BURLLOT

Stratégie d'atténuation et d'adaptation au dérèglement climatique :

Note du conseil scientifique de l'agence de l'eau Loire-Bretagne

Florentina Moatar, Jérôme Belliard, Nathalie Carcaud, Olivier Cerdan, Laurence Chery, Alexandra Courtin, Pascal Da Costa, Thibault Datry, Johnny Gasperi, Emmanuelle Gautier, Marie-Anne Germaine, Sophie Gosselin, Cécile Klein, Jérôme Labanowski, S. Pellerin, Christophe Riocreux, Valérie Viaud, Jean-Philippe Vidal

4 mars 2025

1. Contexte et enjeux du changement climatique

L'eau est une composante majeure de tous les organismes vivants. Elle est présente partout (eaux de surface, tels que les cours d'eau, lacs, étangs, zones humides) mais n'est pas toujours visible. La majeure partie des ressources en eau est en effet contenue dans les sols et les aquifères souterrains. Le bassin Loire-Bretagne renferme de nombreux hydrosystèmes qui ont co-évolué avec les activités humaines pour façonner des paysages remarquables au cours des derniers millénaires. On peut parler de socio-hydrosystèmes où les spécificités physiques des milieux aquatiques ont été à la fois des opportunités et des contraintes pour les activités humaines qui s'y sont développées (Moatar et Dupont, 2016).

Parmi les paysages remarquables on peut citer le Val de Loire/Allier, les paysages d'étangs de Sologne, de la Brenne ou du Forez, les marais de Brière, les lacs d'Auvergne, la Loire et la Vilaine estuariennes, les prairies inondables de Redon, les marais côtiers poitevins. Tous ces paysages ont su garder un fort potentiel culturel et touristique du fait de leurs spécificités hydrologiques mais aussi de leur biodiversité remarquable. Ces zones emblématiques ne doivent cependant pas occulter la nécessité du maintien d'une ressource en eau en quantité et qualité suffisantes dans tous les autres types de paysages hydrologiquement moins remarquables mais tout aussi importants, comme les hauts plateaux du massif central, les coteaux de la Loire moyenne ou les bocages bretons et mayennais par exemple.

Les changements climatiques affectent d'ores et déjà la répartition spatio-temporelle des précipitations, ce qui impacte la disponibilité en eau pour les socio-écosystèmes du bassin Loire-Bretagne. Les usages anthropiques passés et présents, à savoir le drainage des sols et des zones humides, l'imperméabilisation et l'artificialisation des terres, la rectification des cours d'eau, les aménagements des cours d'eau comme les digues, la dégradation de la qualité des sols, la simplification des paysages et les besoins en eau toujours plus importants exacerbent les phénomènes de « trop » (crues et inondations) et de « pas assez » (étiages et sécheresses). Toutes ces actions anthropiques ont aujourd'hui fait perdre aux bassins-versants et leurs réseaux hydrographiques une grande partie de leurs capacités de stockage, et les mécanismes naturels de redistribution de l'eau. Cela a aussi entraîné une diminution des habitats, de leur dynamique et, par voie de conséquence, de la biodiversité qui leur était associée.

La ressource en eau, mesurée comme le débit moyen de bassins-versants faiblement anthropisés, a diminué de 30 % au cours des 50 dernières années sur l'amont du bassin de la Loire (Giuntoli et al, 2013, Vicente et al, 2019 ; Figure 1 ; Seyedhashemi et al, 2022). Cette diminution drastique s'inscrit dans l'assèchement généralisé de l'ensemble du bassin méditerranéen sous l'effet du changement climatique anthropique (IPCC, 2022). Les projections pour le XXI^e siècle, d'après Explore 2, se positionnent dans la continuité de cette diminution, avec une intensité qui dépendra des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, avec des changements beaucoup plus importants en été (Sauquet et al, 2022). Les simulations projettent une intensification des sécheresses du sol et hydrologiques, ainsi qu'une fréquence accrue de hauts niveaux de nappe en hiver. L'évolution possible des débits de crue est plus incertaine d'après les projections faites dans le cadre du projet national Explore 2 (Sauquet et al, 2022). Cependant, les scientifiques s'attendent, pour beaucoup de régions du monde, à une intensification des extrêmes pluviométriques et à une augmentation de l'intensité des crues.

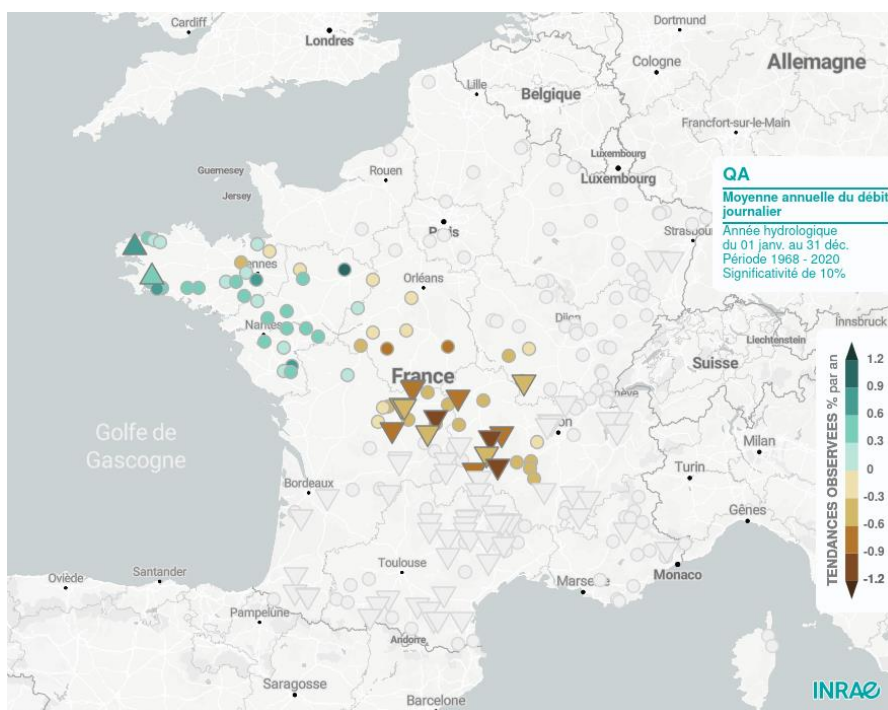


Figure 1. Tendances sur le débit moyen annuel de bassins-versants faiblement anthropisés, sur la période 1968-2020. Les triangles identifient un niveau de confiance de 90 %. Source : <https://makaho.sk8.inrae.fr/>

Le changement climatique bouleverse les cycles naturels et modifie la fréquence et l'intensité des sécheresses, des inondations, des submersions marines. Ces aléas s'amplifient, se combinent et créent de nouveaux risques pour les populations en fragilisant les activités humaines. Trois des quatre risques-clés pour l'Europe identifiés par le GIEC sont relatifs à l'eau : les stress hydriques et thermiques sur les cultures, les pénuries d'eau, les risques d'inondations et la montée du niveau de la mer (IPCC, 2022a, Chap. 13 : Europe, p. 1876-1878 ; IPCC 2022b). Parmi les nombreuses trajectoires d'adaptation éventuelles à la diminution de la ressource en eau, les options individuelles comme le stockage de l'eau conduisent à de la mal-adaptation sous niveau de réchauffement élevé (IPCC, 2022a, Figure 13.31 p. 1878). Seule la combinaison de multiples options permet de relever le défi de l'adaptation à cette diminution.

À l'échelle globale, depuis les années 1950, les rivières, les eaux souterraines et littorales ont subi d'importants changements environnementaux attribués aux impacts humains. Ils sont associés depuis les années 2000 par plusieurs scientifiques à une nouvelle ère géologique, l'Anthropocène, car il est admis que ces changements laisseront une trace dans l'histoire géologique et climatique de la planète. Une étude à l'échelle globale a montré d'après 80 articles scientifiques que les êtres humains prélèvent maintenant plus de la moitié de l'eau qui s'écoule dans les rivières du monde entier (Abbott et al, 2019). Les activités humaines, y compris la production végétale et animale, la fabrication des biens, de la production d'électricité et des activités domestiques, reposent sur la disponibilité de l'eau en quantité adéquate et en qualité acceptable pour l'usage prévu et le fonctionnement des écosystèmes (Jones et al, 2023).

Jones et al (2023) ont évalué l'exposition de la population à la pénurie d'eau actuelle et future (à la fois excluant et incluant la qualité de l'eau) en utilisant une approche globale couplée à un modèle hydrologique et de qualité des eaux de surface : ils constatent que 55 % de la population mondiale est actuellement exposée à une pénurie d'eau potable de bonne qualité pendant au moins un mois par an, contre 47 % en considérant uniquement les aspects liés à la quantité d'eau. L'exposition à la pénurie d'eau potable au moins un mois par an augmente jusqu'à 56 à 66 % d'ici la fin du siècle d'après les divers scénarios climatiques. Ils concluent que de fortes réductions de l'utilisation anthropique de l'eau et de la pollution sont nécessaires pour minimiser l'impact de la future pénurie d'eau potable sur les humains et l'environnement. Le bassin Loire-Bretagne suit cette tendance, mais l'analyse de l'évolution conjointe des pressions anthropiques et de ces milieux est rarement réalisée sur le long-terme (supérieur à 70 ans). Cependant quelques exemples montrent des évolutions toujours préoccupantes qui pourraient être exacerbées par le changement climatique. Les excédents d'azote d'origine agricole en Bretagne ont commencé à diminuer vers la fin des années 1990, mais cette diminution stagne ces dernières années (Poisvert et al, 2017). Les concentrations en nitrate dans les rivières commencent à diminuer, mais elles sont encore loin des seuils qui pourraient

limiter l'eutrophisation du littoral et l'accumulation des algues vertes dans certaines baies (Abbott et al, 2018). Même si beaucoup d'interrogations existent sur le rôle du climat sur les exportations d'azote et de phosphore, car cela dépend de l'interaction avec les usages des sols, l'effet sur les communautés biologiques fait l'objet de plus de consensus : l'élévation de la température de l'eau est clairement un facteur aggravant le développement de la biomasse végétale (ESCO Eutrophisation, 2017, Pinay et al, 2018).

Les sols interagissent directement avec l'hydrosphère. À l'échelle mondiale, les sols continentaux reçoivent en moyenne 800 mm de pluie par an. L'influence des activités anthropiques est déterminante sur le partage entre eau de pluie infiltrée et qui à terme pourra potentiellement être sujette à l'évapotranspiration, et eau qui ruisselle à la surface. Les sols ont une fonction de régulation quantitative de l'eau par leur capacité à infiltrer, stocker, transférer l'eau. Ils ont une fonction de régulation de la qualité de l'eau qui les traverse, en lien avec des processus de rétention ou de dégradation des composés contenus dans l'eau. Ces fonctions dépendent des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols et de leur usage. En Europe, 60 à 70 % des sols sont considérés dans un état dégradé (érosion, compaction, imperméabilisation, perte de fertilité) ne leur permettant pas d'assurer leurs multiples fonctions, bien que quelques instruments politiques et réglementaires concernant directement ou indirectement la protection des sols soient en place. Pour qualifier les rôles et les fonctions du sol, on a défini les services écosystémiques rendu par les sols. Parmi ces derniers, on retrouve les services de régulation au sein du cycle de l'eau à savoir, le partage de l'eau entre infiltration et ruissellement, régulateur des transferts entre eau atmosphérique, eau souterraine et eau de surface, la filtration et le stockage de l'eau (Dörfliger & Odoux, 2014). Pour assurer ces services, l'état de santé du sol est un concept clé. De nombreuses caractéristiques du sol sont considérées comme des indicateurs de la santé du sol, telles que la diversité génétique ou le taux de matière organique qui permet d'augmenter la capacité de rétention de l'eau et des éléments nutritifs, etc.

2. Un cadre réglementaire récent pour les sols

Face à l'enjeu majeur de limiter la dégradation des sols et de restaurer leurs fonctionnalités, et en l'absence de législation européenne spécifique aux sols, un projet de Directive européenne sur la surveillance et la résilience des sols (Directive on soil monitoring and resilience, COM, 2023) a été proposé aux instances européennes en 2023 et les principes de cette directive ont été adoptés par le Parlement en 2024. Cette directive établit des mesures pour la surveillance et l'évaluation de la santé des sols et promeut des pratiques pour la gestion durable des sols et pour la lutte contre les sites et sols contaminés. Les modalités de gestion devront être déclinées en fonction des contextes locaux.

En France, le Zéro Artificialisation Nette (ZAN), issu de la loi Climat et Résilience de 2021, est un instrument pour lutter contre l'artificialisation des sols et pour limiter le réchauffement climatique et ses conséquences environnementales. Le ZAN vise à ralentir et compenser l'artificialisation des sols en France en introduisant deux échéances majeures. D'abord à horizon 2030, l'objectif est de diviser par deux le rythme d'artificialisation (par rapport à la période de référence 2011-2021), puis d'arriver, avant 2050, à une artificialisation nette qui soit nulle. L'objectif du ZAN, contrairement aux idées reçues, n'est pas de mettre fin à l'artificialisation, mais plutôt de limiter son rythme et mettre en place des moyens de compensation. Ainsi, pour compenser l'artificialisation de certains espaces, il faut déconstruire, dépolluer, désimpermeabiliser, construire des technosols indispensables à la végétalisation et reconnecter fonctionnellement les écosystèmes naturels environnants. L'objectif est que pour chaque mètre carré (ou parcelle) artificialisé, soit rendu « à la Nature » l'équivalent en superficie et en biodiversité. Cette compensation s'inscrit dans la logique de la séquence éviter-réduire-compenser (ERC) adoptée par la loi française en 1976.

3. Propositions de grandes orientations par le conseil scientifique

Le conseil scientifique a identifié quatre grandes orientations stratégiques pour répondre aux défis du dérèglement climatique et ses conséquences écologiques et socio-économiques :

- **Recomposer des paysages et des habitats aquatiques diversifiés.**
- **Repenser les fonctionnalités des sols agricoles et urbains au regard du cycle de l'eau.**
- **Diminuer l'empreinte eau quantitative et qualitative.**
- **Réinterroger les solidarités territoriales pour l'usage de l'eau.**

4. Recomposer des paysages et des habitats aquatiques diversifiés

4.1. Reconnecter les milieux aquatiques entre eux et avec leur bassin-versant

La reconnexion des hydrosystèmes avec leurs bassins-versants (Hynes, 1975) permet de limiter les impacts quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau dans un contexte de climat à la fois plus extrême et plus incertain. Une reconnexion dans les trois dimensions, latérale, longitudinale et verticale de l'espace des milieux aquatiques permet de restaurer les interactions entre les sols, les aquifères et les eaux de surface qui, une fois rétablies, ménagent les habitats favorables à la biodiversité, réinitialisent les processus biogéochimiques qui contrôlent l'acquisition de la composition biochimique de l'eau et régulent ses transferts et sa disponibilité (Amoros-Petts, 1993, Figure 2). Les solutions sont multiples et dépendent des conditions locales, biophysiques et des parties prenantes. Un groupe d'experts du Réseau des zones ateliers françaises a fait le point sur l'état des connaissances scientifiques concernant la restauration de la continuité écologique (Alp et al, 2024). En s'appuyant sur les retours d'expérience des projets de restauration, les scientifiques proposent une démarche stratégique qui intègre dix points de vigilance à prendre en compte à différentes étapes pour la prise de décision, la co-construction et la mise en œuvre de projets de restauration, pour que ces projets soient soutenus par les différents acteurs et soient efficaces par rapport aux objectifs écologiques et sociaux définis.

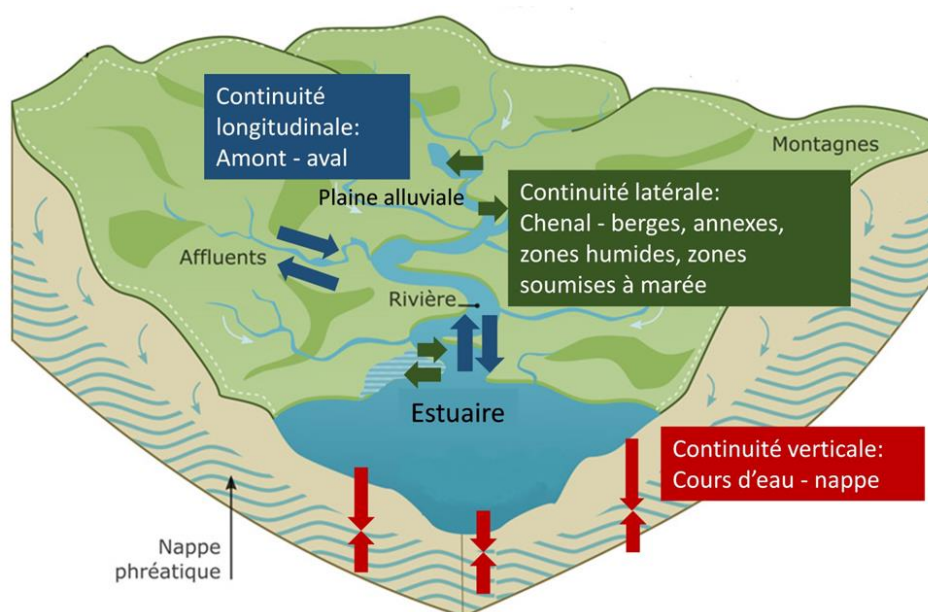


Figure 2. Les dimensions spatiales de la continuité au sein d'un hydrosystème (d'après Amoros-Petts, 1993)

4.2. Pérenniser/rétablir les processus hydromorphologiques moteurs de la diversité des paysages fluviaux, et des fonctions biogéochimiques

L'altération des variations naturelles des débits et de la charge sédimentaire par la création de barrages, ainsi que le corsetage des cours d'eau par des digues et/ou dragage dans un lit mineur de plus en plus étroit ont réduit, voir annihilé la dynamique hydraulique fluviale, moteur du fonctionnement des cours d'eau mais aussi de la création et de la dynamique des habitats nécessaires au maintien de la biodiversité. Les effets déjà notables du changement climatique sur l'érosion des sols et les glissements de terrain lors de périodes de pluies intenses augmentent et vont augmenter encore la charge solide des cours d'eau. Il s'agit là d'un enjeu notamment pour la gestion des barrages qui risquent de se remplir de sédiments plus rapidement, limitant d'autant leur capacité de stockage d'eau. Une réflexion sur la gestion de ces flux est donc nécessaire, pas seulement d'un point de vue quantitatif mais aussi qualitatif. Elle s'appuie sur trois grands leviers :

1. Limiter les apports sédimentaires par une meilleure maîtrise de l'érosion via des aménagements paysagers (haies, ripisylves, talus...) et des pratiques agricoles adaptées (éviter les sols nus, favoriser l'infiltration pour éviter le ruissellement et donc l'érosion, moins compacter les sols, accroître la teneur en carbone organique des sols pour améliorer leur stabilité structurale).
2. Gérer les sédiments dans les barrages de façon à simuler au mieux les dynamiques naturelles.
3. Restaurer autant que faire se peut des zones inondables dans les lits majeurs.

4.3. Restaurer les zones inondables

Cela nécessite de rendre son espace latéral aux cours d'eau, que ce soit de manière pérenne en interdisant toute activité humaine ou en la relocalisant hors du lit majeur, soit en maintenant des activités humaines compatibles avec les crues (voir le Val de Saône par exemple). Les zones inondables limitent les inondations en aval en permettant l'écrêtement des pics de crue, une diminution de la charge solide par sédimentation et une diminution de l'énergie cinétique dans les zones en aval. Les zones humides, en plus de leur contribution au soutien d'étiage et à la constitution de nombreux habitats pour la biodiversité, ont une fonction dans la limitation des inondations. Les zones humides recyclent les nutriments déposés lors des crues, augmentant la production primaire et l'agriculture le cas échéant (Pinay et al, 1995, 2000) mais limitent aussi les apports diffus d'azote provenant des versants adjacents en favorisant la dénitrification. La restauration de zones humides peut être initialisée par des aménagements, notamment dans les grands cours d'eau. En tête de bassin l'action d'une espèce ingénieure comme le castor, en pleine phase d'expansion sur le bassin Loire-Bretagne, constitue un allié puissant de reconquête de zones humides et de diversification des habitats présentant des potentiels importants en termes de reconstitution de services écosystémiques et de restauration de la biodiversité dans un contexte de changement climatique (Larsen et al, 2021, Fairfax-Westbrook, 2024, Morizot-Hursky, 2024).

4.4. Reconnecter les écosystèmes aquatiques

Les cours d'eau constituent des corridors de migration pour les organismes aquatiques (trame bleue ; Alp et al, 2024), mais aussi pour les insectes, oiseaux, batraciens et mammifères en connectant des paysages entre eux. L'effacement de seuils, la création de passes à poissons et la reconnexion de bras annexes contribuent à la continuité hydraulique et donc à la migration et au repeuplement naturel des espèces inféodées partiellement ou complètement aux milieux aquatiques. La plantation ou reprise naturelle de ripisylves contribue au renforcement de cet effet corridor et apporte aussi d'autres bénéfices comme, l'atténuation des pics de température de l'eau, l'effet filtre mécanique des transports solides, y compris des bois morts flottants durant les crues, ou la limitation des apports d'azote dissous depuis les versants adjacents en favorisant la dénitrification (Broadmeadow-Nisbet, 2004).

4.5. Intégrer les dimensions sociales et favoriser la reconnexion des populations à l'environnement

Pour garantir ses effets dans le temps, la restauration écologique se doit d'être holistique, en intégrant sa dimension sociale. Cela implique qu'elle ne vise pas seulement la réparation des écosystèmes mais bien qu'elle prenne également en charge les relations que les populations (habitants, agriculteurs, etc.) entretiennent avec l'environnement. La restauration écologique participe à la transformation des paysages, voire crée de nouveaux paysages et remet en cause des usages : elle peut alors susciter des résistances (blocages, controverses) mais elle peut aussi constituer une opportunité pour enrichir la relation sensible (histoire, expérience) aux lieux (Germaine-Lespez, 2023). Dès lors, il s'agit de ne pas envisager la

restauration seulement comme un projet technique mais bien au travers de son territoire hydro-social (Boelens et al, 2016).

5. Repenser les fonctionnalités des sols agricoles et urbains au regard du cycle de l'eau

5.1. Des sols agricoles sains

Les sols agricoles, de par les surfaces qu'ils représentent dans le bassin Loire-Bretagne, sont un compartiment clé du cycle de l'eau, en plus d'être un support pour la production végétale et animale, des habitats pour la biodiversité et un réservoir de carbone organique qui contribue à l'atténuation du changement climatique (Figure 3). En contexte de changement climatique, avec une fréquence accrue d'évènements extrêmes (pluies intenses, épisodes secs) et une augmentation de l'évapotranspiration en été, une attention particulière doit être portée aux pratiques favorisant l'infiltration plutôt que le ruissellement, au stockage de l'eau dans les sols et à la lutte contre l'érosion. Les systèmes agricoles jouent un rôle important dans la régulation et la modification des flux d'eau à l'échelle des territoires par les choix d'agencement du parcellaire agricole, de rotations culturales et des pratiques agricoles associées. Les pratiques et systèmes agroécologiques offrent des leviers pour améliorer les fonctions des sols de régulations de l'eau, c'est-à-dire favoriser l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol, réguler le transfert et drainage vers les nappes, limiter les transferts de N, P et pesticides en réduisant les apports.

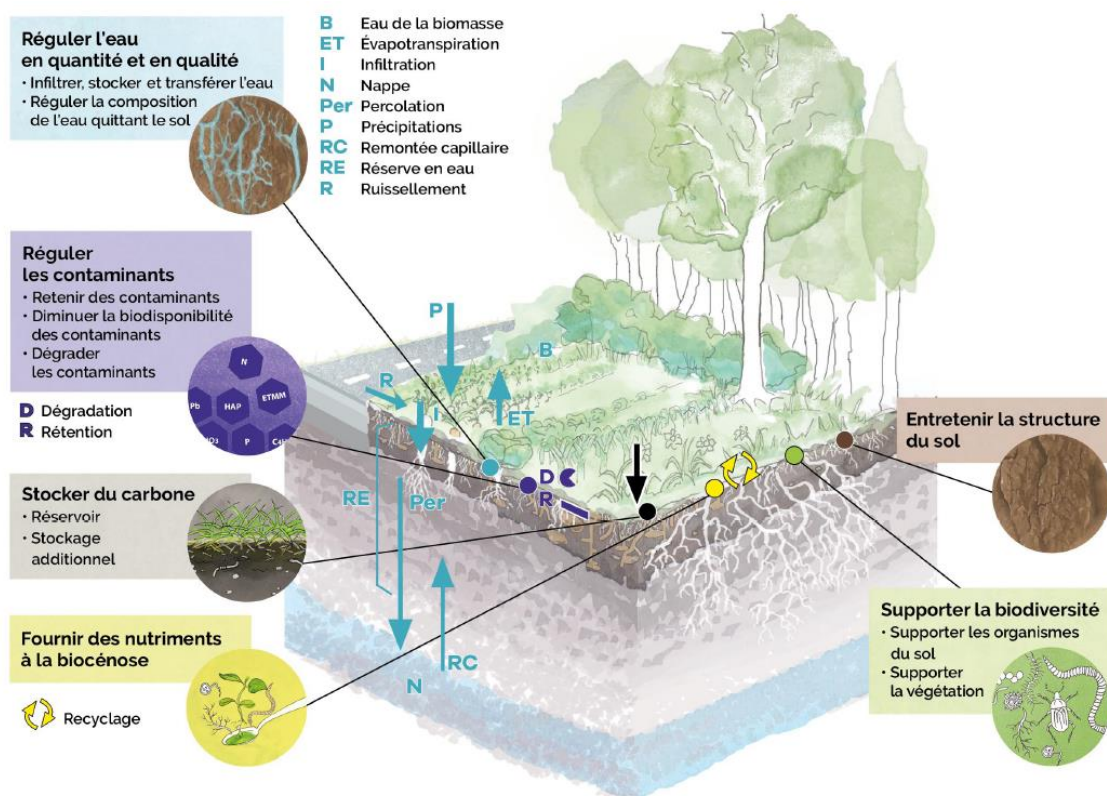


Figure 3. Les six fonctions du sol. Cousin et al (2024) Colloque restitution INRAE, Préserver la qualité des sols.

Dans un territoire marqué par la forte présence de l'élevage ruminant, la prairie, permanente ou temporaire, a un rôle important à jouer car elle contribue à la réduction du risque érosif par la couverture permanente du sol, et reçoit généralement moins d'intrants que les terres arables. Favoriser les systèmes d'élevage nourris à l'herbe plutôt qu'à base de maïs contribue ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau et a bien d'autres bénéfices. De même, les pratiques de diversification végétale et de maximisation de la présence d'une couverture végétale des sols (couverts intermédiaires, introduction de couverts dans les rangées de cultures pérennes comme la vigne) ont des conséquences positives sur les fonctions de régulation hydrique des sols. Cette couverture végétale améliore les capacités d'infiltration et réduisent le ruissellement, elle favorise la structuration du sol et peut participer à l'enrichissement du sol en matière organique. Par ailleurs, sur un territoire, la diversification des cultures peut permettre d'accroître la résilience de la production agricole face aux aléas climatiques. La diversification des cultures et la présence d'une couverture végétale permanente

peuvent toutefois augmenter la transpiration et ainsi diminuer la recharge des aquifères. Cependant cela reste mal quantifié aujourd'hui (Blanchi et al, 2023) parce que cela nécessite un bilan régional.

L'apport des matières organiques, via l'apport d'amendements organiques ou la restitution accrue de résidus de cultures, favorisent les fonctions de régulations de la quantité d'eau du sol, essentiellement en favorisant l'activité biologique et le développement de la porosité associée, en participant à la stabilisation de la structure des sols et des états de surface des sols, et en favorisant ainsi l'infiltration (Blanchi et al, 2023).

L'impact direct de l'augmentation de la teneur en matière organique des sols sur l'augmentation de leur réserve utile est moins clair : il est dépendant de la nature des sols et quand il est avéré, l'augmentation de réserve utile reste faible au regard des besoins en eau des cultures (Lal, 2020). Au-delà de la régulation en eau, l'augmentation de la teneur en matière organique des sols a des effets synergiques sur la qualité des sols et leur autres fonctions (biodiversité, stockage de C). L'apport nécessite une gestion adaptée pour limiter les risques de pertes de nutriments. Il subsiste des marges de manœuvre pour mieux tenir compte des apports de N et P par les effluents d'élevage, et ainsi réduire les apports d'engrais minéraux.

Les combinaisons de pratiques utilisées en agriculture de conservation et basées sur la réduction forte du travail du sol, la diversification des cultures et la couverture maximale des sols par des plantes vivantes ou des résidus maintenus en surface peuvent favoriser la rétention en eau et la circulation de l'eau dans les sols (Palm et al, 2014). Dans le contexte du sud-ouest de la France, Alleto et Bustillo (2023) montrent que si les pratiques d'agriculture de conservation ne modifient pas la réserve utile du sol, elles favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol par l'accroissement de la stabilité structurale des sols en surface et de la connectivité verticale de la porosité du sol, et l'exploration du sol par les racines et par là potentiellement une meilleure exploration de la réserve en eau du sol. Le point de vigilance relatif à l'agriculture de conservation est sa possible dépendance aux herbicides, notamment au glyphosate.

5.2. Limiter l'imperméabilisation, désimperméabiliser et renaturer les espaces urbains

L'aménagement des tissus urbains a stoppé la perméabilité des sols, limitant fortement les capacités d'infiltrations des eaux de pluie et de ruissellement. Il a par conséquent fortement impacté le rôle naturel d'éponge et les multifonctionnalités des sols urbains. Ainsi, l'étalement urbain observé en France et en Europe depuis les années 1970 a de nombreuses incidences sur le cycle de l'eau (risques accrus d'inondation ainsi que de pollution des nappes phréatiques et cours d'eau, augmentation des coûts d'assainissement). Si la réduction de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers et de l'artificialisation des sols demeurent les principaux enjeux d'un développement urbain durable, la maîtrise voire la réduction de l'imperméabilisation des sols dans les espaces déjà urbanisés devient elle aussi un objectif crucial pour réduire la vulnérabilité des milieux urbains aux effets des changements climatiques. Cet enjeu est à concilier et à articuler avec deux autres ambitions importantes en matière d'urbanisme :

1. La nécessité de « reconstruire la ville sur elle-même ».
2. Le renforcement de la présence de nature en ville, pour les bénéfices qu'elle y apporte.

La renaturation du milieu urbain fait partie de ce que l'on appelle aujourd'hui, les solutions fondées sur la nature. Prenant différentes formes (toitures et façades végétalisées, noues enherbées, squares et parcs urbains, abords de cours d'eau, végétalisation des cheminements modes actifs), cette renaturation apparaît comme un des leviers pour rendre la ville plus résiliente face aux conséquences du changement climatique. La renaturation des villes permet ainsi de diminuer les îlots de chaleur urbain et de limiter le ruissellement pluvial et les inondations qui en découlent. Renaturer la ville est aussi re-connecter les habitants à leur ville, mais aussi plus largement à leur territoire.

6. Limiter l'empreinte eau quantitative et qualitative

L'augmentation de la demande en eau pour les usages humains (eau potable, industrie, agriculture, refroidissement et production énergétique, tourisme) se heurte de plus en plus à une diminution des ressources disponibles sous l'effet du changement climatique. Il devient crucial de prendre des orientations stratégiques permettant de limiter l'empreinte quantitative et qualitative de l'eau afin de garantir la résilience des milieux aquatiques et la pérennité des activités/usages en dépendant.

6.1. Diminuer les prélèvements d'eau

Les sécheresses de 2022 et 2023 ont constitué un point d'alerte pour une nécessaire optimisation de la ressource en eau disponible et pour appliquer des objectifs de sobriété hydrique. Le colloque organisé par la Société hydrotechnique de France sur le retour d'expériences de la sécheresse 2022 a montré un

évènement particulièrement marquant à l'échelle nationale par son ampleur, sa durée et son intensité, qui a entraîné de nombreuses restrictions d'usages de l'eau et des tensions dans sa gestion. Cela nous incite à nous préparer aux sécheresses à venir, à adopter des stratégies d'économies et de gestion durables des ressources pour tous. Tout d'abord, il s'agit d'optimiser l'usage de l'eau en agriculture, secteur le plus consommateur en été, par des solutions agroécologiques et par des techniques d'irrigation efficaces. Une polyculture et un élevage intégrés permettent d'optimiser l'usage de l'eau et améliorer la qualité des sols en favorisant la rétention d'humidité, en limitant l'érosion et en augmentant la résilience des exploitations agricoles face aux aléas climatiques. L'intégration de pratiques telles que le paillage, la rotation des cultures et l'association de cultures complémentaires permet également de réduire les besoins en irrigation et de préserver les ressources hydriques locales. Les techniques culturales comme le travail du sol réduisant l'évaporation, le choix de cultures résilientes à la sécheresse ou l'agroforesterie sont à privilégier. L'amélioration des systèmes d'irrigation concerne l'irrigation de précision, le goutte-à-goutte, la gestion optimisée des besoins en eau par des outils numériques.

En parallèle, adapter la consommation d'eau des populations et des industries à une ressource moindre est une orientation à privilégier. Pour cela, plusieurs solutions peuvent être formulées :

1. Payer le juste prix de l'eau avec un tarif de base et une augmentation par pallier.
2. Mettre en œuvre des campagnes de sensibilisation auprès des citoyens et des entreprises pour promouvoir une gestion plus économe de l'eau, accompagnées d'une tarification progressive qui inclut des incitations financières pour réduire le gaspillage et encourager les bonnes pratiques.
3. Intégrer les coûts (ou dommages) environnementaux dans le prix de l'eau pour encourager des comportements plus responsables.
4. Mettre en place des mesures de transparence, de sensibilisation des citoyens et d'accompagnement, dans le but d'informer les usagers des impacts environnementaux et économiques de leur consommation.
5. Reconquérir et moderniser les réseaux d'adduction et de distribution pour réduire les fuites, notamment en milieu urbain.
6. Réduire les consommations en optimisant les procédés industriels et en recyclant l'eau.

6.2. Réduire les pollutions à la source

À sources de pollutions égales, le dérèglement climatique peut exacerber ses impacts sur les milieux en modifiant l'intensité des flux de pollution, la durée, l'occurrence et les connectivités entre les milieux terrestres et les milieux aquatiques. Les transferts de contaminants au sein des bassins-versants, leurs stockages temporaires et, ensuite, leur remobilisation par les sols et les sédiments lors des évènements exceptionnels, sont susceptibles d'être modifiés par les évolutions projetées du changement climatique et des changements des paysages terrestres. Les pluies plus intenses pourront augmenter l'érosion des sols, produire des débordements de réseaux d'assainissement en ville et ainsi conduire à des transferts des milieux terrestres vers les milieux aquatiques. À l'inverse, les périodes de sécheresse prolongées diminueront les débits d'étiage, leur capacité de dilution et augmenteront la contribution des eaux souterraines chargées en contaminants. Dans les milieux aquatiques (eau douce et zones littorales), les effets des pluies intenses et de sécheresse dépendront du taux de ces transferts, du temps de résidence dans le milieu récepteur, de la température, de la morphométrie et de l'état trophique initial évoluant lui-même en fonction de la récurrence des évènements. Ces modifications plus ou moins rapides des milieux aquatiques auront un impact sur la dynamique des communautés (notamment dans les premiers maillons de la chaîne alimentaire) qui pourrait amener à des déséquilibres/modifications des communautés, à des développements rapides d'espèces nuisibles, à des décalages temporels de développement entraînant des conséquences sur le développement du reste de la chaîne alimentaire d'une part et sur les activités sociales-économiques d'autre part.

Les actions de réduction des pollutions doivent être prises à la source car le préventif est plus efficace et moins onéreux que le curatif. Une réduction de l'usage des engrais minéraux de synthèse est possible pour réduire les apports de N et P au réseau hydrographique (ré-association agriculture-élevage, développement de la fertilisation raisonnée, meilleure prise en compte des apports de N et P par les effluents d'élevage, développement des légumineuses). De même l'effort de réduction de l'usage des produits phytosanitaires doit être poursuivi par le développement de pratiques agroécologiques (allongement des rotations, utilisation de produits de biocontrôle...). Beaucoup d'actions sont menées sur le bon état écologique et la continuité écologique, mais la dégradation de la qualité des milieux et de l'eau en particulier passe par la qualité des sédiments et la continuité sédimentaire. On peut aussi constater une évolution des substances suivies avec l'occurrence de polluants émergents inorganiques ou organiques (exemple des PFAS et micro-plastiques) qui implique une réactivité et une évolution dynamique des normes ou au moins des indicateurs.

7. Réinterroger les solidarités territoriales pour l'usage de l'eau

La création des agences de l'eau et des comités de bassin (lois sur l'eau de 1964 et 1992) a permis de mettre en place des structures de gouvernance plus adéquates à une prise en compte des cycles de l'eau à l'échelle des bassins-versants. Cependant, ces structures de gouvernance peinent encore à dépasser une approche planificatrice descendante, s'inscrivant dans une logique de décentralisation des politiques nationales, parfois en contradiction avec les spécificités socio-économiques et culturelles locales des territoires, ainsi qu'avec la diversité des milieux qui composent un bassin-versant aussi vaste que celui de la Loire-Bretagne. Un des enjeux majeurs de la gouvernance de l'eau sur les prochaines décennies consistera à accompagner l'émergence de nouvelles territorialités éco-sociales ou hydro-sociales favorisant la mise en place de solidarités territoriales autour des usages de l'eau. Cet enjeu se décline à plusieurs niveaux.

7.1. Repenser des solidarités politiques institutionnelles et citoyennes entre l'amont et l'aval

Repenser des solidarités politiques institutionnelles et citoyennes entre l'amont et l'aval et également entre le fleuve et ses affluents (PEPR OneWater, Sinaï, 2021, Gosselin-Bartoli, 2022 ; Rollot-Schaffner, 2021, Toledo, 2021, Aubert-Botta, 2022, Detry-da Costa, 2021).

Il s'agit de construire un concernement politique entre les collectivités territoriales du bassin (communes, communautés de communes et d'agglomération, régions, État) qui tienne compte des impacts des prélèvements en eau (en matière de services écosystémiques et de biodiversité par exemple) et des activités d'un territoire sur l'autre en imaginant des dispositifs nouveaux de type économiques, juridique, etc. voire de dons et contre-dons entre les territoires. Il s'agit aussi de tenir compte de l'émergence de parlements citoyens et habitants qui s'organisent pour porter les voix et droits des fleuves et rivières qu'ils habitent (Parlement de la Loire, Parlement de la Creuse, Parlement de la Vienne, etc.). Ces nouveaux acteurs socio-politiques peuvent devenir les nouveaux partenaires et alliés des collectivités territoriales et des agences de l'eau dans la construction d'une solidarité de bassin-versant qui soit ancrée dans les territoires et portée par les citoyens, dans une perspective de démocratie participative. Dans les diverses rencontres et événements scientifiques ou citoyens organisés autour des enjeux de gestion et de partage de l'eau ces dernières années émerge l'idée de prolonger le dispositif institutionnel des agences de l'eau, des comités de bassin ou des commissions locales de l'eau par la création de Conseils de bassin-versant locaux incluant une plus grande participation citoyenne à la gouvernance de l'eau (y compris des comités de pilotage citoyen, des enquêtes et consultations régulières sur l'attachement des populations locales à la restauration des services et de la biodiversité, etc.). Les agences de l'eau pourraient soutenir et accompagner la création de ces dispositifs de gouvernance participative.

7.2. Tenir compte des enjeux de santé liés aux usages de l'eau

Tenir compte des enjeux de santé liés aux usages de l'eau et en particulier les impacts des activités économiques industrielles sur la santé humaine ainsi que sur la santé des milieux. Dans une perspective *OneHealth*, qui tient compte des liens entre la santé des humains, des animaux et des milieux naturels (Morand, 2022), la question de la gestion de l'eau occupe une place centrale puisqu'elle fait le lien entre l'ensemble des vivants et qu'elle est la condition de régénération de l'ensemble des formes de vie. Or le modèle économique industriel, notamment la production agricole et énergétique, se révèle souvent plus coûteux que bénéficiaire sur le plan de la santé humaine et environnementale. La prise en compte de ces enjeux de santé implique de mettre en place des programmes politiques qui accompagnent les transformations des usages agricoles et énergétiques sur le long terme. Les solutions existent déjà mais rencontrent de nombreuses résistances à la fois structurelles (endettement des agriculteurs, dépendance aux fluctuations d'un marché global) et culturelles (corporatisme, habitus, formation).

Sur le plan de l'agriculture, les pratiques agro-écologiques (agro-foresterie, permaculture, etc.) ont montré leur pertinence et efficacité notamment du point de vue de la préservation de la qualité et de la quantité de l'eau (réduction de l'usage des pesticides, diversification des cultures moins consommatrices en eau, meilleure adaptation des cultures aux milieux, relocalisation de la production et de la distribution). Cependant, la transition d'une agriculture industrielle à des pratiques agro-écologiques ne pourra se faire sans un accompagnement et un soutien fort des politiques publiques (Collectivités locales, État) sur les plans financier, matériel, réglementaire, culturel et social.

Des exemples d'initiatives concrètes ont commencé à émerger qui vont dans le sens d'un accompagnement à la transition :

1. Exploitations d'insertion (comme dans le Loiret : <https://www.lesjardinsdelavoieromaine.com>), projet Alimentaires territoriaux (PAT) : salarisation / contractualisation des agriculteurs par les collectivités pour alimenter les restaurants collectifs ;
2. Sécurité sociale de l'alimentation : initiatives citoyennes soutenues par des Collectivités locales comme des communes qui permettent : i) une meilleure garantie financière pour les agriculteurs, ii) la mise en lien producteurs/consommateurs, iii) un lien plus fort entre ville et campagne, amont-aval, terre-côte, etc. iv) la lutte contre les inégalités économiques et sociales et la malbouffe (Paturel 2020).

Un projet de loi pour une sécurité sociale de l'alimentation est actuellement à l'état d'étude à l'Assemblée nationale.

Sur le plan de la production énergétique, de nombreuses recherches en sciences humaines et sociales (Fressoz, Lopez, Jarrige, Izoard, de Perthuis, etc.) ont montré l'impasse que représente une approche exclusivement technique de la question énergétique. Le développement de technologies « vertes » ou « propres » visant à produire, stocker et transmettre de l'énergie de manière durable en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles présente des risques à plusieurs niveaux :

1. Le développement de nouvelles technologies ne diminue pas forcément la production et la consommation énergétique, il peut y avoir, au contraire, un effet cumulatif des sources et formes de production et de consommation énergétique.
2. Il engendre des conséquences environnementales nouvelles, au-delà du seul carbone (poursuite voire accentuation de l'extractivisme minier et des pollutions corrélatives, mobilisation de territoires agricoles et forestiers au profit du photovoltaïque). Il apparaît aussi nécessaire de proposer une approche qui intègre la dimension sociale et le long terme, par exemple en favorisant l'émergence de « communautés énergétiques » et plus largement des modes d'organisation des acteurs économiques et sociaux autour de la production et de la consommation d'énergies renouvelables à l'échelle locale (Debizet-Pappalardo, 2021).

De manière plus générale, la prise en compte des enjeux de santé implique de mettre en œuvre une approche plus systémique et holistique des hydro-éco-socio-systèmes en favorisant un repositionnement des activités et usages économiques dans le tissu économique et social des territoires : en développant des activités de production qui s'appuient de manière prioritaire sur les ressources (matérielles, humaines) du ou des territoires (en évitant l'exportation/importation à grande distance), en favorisant une plus grande hétérogénéité des activités de production des territoires (voire en imaginant un remembrement écologique des terres en faveur de la polyculture) et en intégrant des considérations à la fois environnementales et de long terme dans les décisions et les modèles économiques.

7.3. Favoriser l'émergence d'une culture de bassin-versant

Favoriser l'émergence d'une culture de bassin-versant qui articule une plus grande solidarité entre communautés humaines et également une solidarité avec les formes de vie non-humaines, à l'échelle du bassin-versant et entre bassins-versants.

Il s'agit d'accompagner une transition sociale et culturelle qui permette aux habitants et usagers des territoires de prendre conscience des interdépendances qui les relient et conditionnent leurs modes de vie. De nombreuses initiatives émergent déjà dans ce sens (exemple : conseil de développement du territoire de Lannion-Trégor), lesquelles exigent un soutien des politiques publiques visant à :

1. Développer l'éducation et la recherche citoyenne pour favoriser une meilleure connaissance du territoire et de ses cycles hydro-socio-écologiques : grâce i) au soutien de projets d'éducation à l'environnement, ii) à l'intégration à plus grande échelle de la formation à l'agro-écologie dans les écoles agricoles, iii) au soutien de projets de recherche-action ou de recherche-création participative impliquant les communautés, usagers et habitants des territoires (par exemple, les projets de recherche-action du réseau Eaux et Rivières de Bretagne ainsi que le projet OFB Rivières sauvages et ses restitutions vers les territoires : da Costa, 2022, Detry et al, 2023), iv) avec la mise en place de parcours de formation inter et trans-disciplinaires associant chercheurs, étudiants, écoles, citoyens (par exemple, le projet d'École-territoire de Loire porté par la Mission Val de Loire Unesco), v) en incitant les structures d'enseignement à travailler en articulation avec les acteurs de la société civile (dispositif Science avec et pour la société de l'Université, Living labs...) et vi) au travers de la création d'un Institut Écocitoyen pour accompagner la réappropriation citoyenne des enjeux écologiques du territoire (<https://www.iecsea.org/>)

2. Développer des projets culturels contribuant i) à une plus grande sensibilisation aux enjeux écologiques liés à l'eau (exemple des atlas socio-culturels de Bretagne : <https://atlas-rivieres.bzh/>), ii) à la construction de récits fédérateurs autour des usages de l'eau et iii) à une plus grande sensibilisation aux espèces et aux milieux aquatiques (comme le programme et les actions de sensibilisation de l'Association du réseau des rivières sauvages : <https://rivieres-sauvages.fr/graines-de-rivieres-sauvages-le-programme-pedagogique/>).

8. Références bibliographiques

Abbott, B. W., Moatar F., Gauthier O., Fovet O., Antoine V., Ragueneau O. (2018). Trends and seasonality of river nutrients in agricultural catchments: 18 years of weekly citizen science in France. *Science of the Total Environment*, 624, 845-858, <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.176>

Abbott, B.W., Bishop, K., Zarnetske, J.P. *et al.* Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat. Geosci.* 12, 533–540 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>

Alp, M., F. Arnaud, C. Barthélémy, I. Bernez, A. Clemens, M. Cottet, S. Dufour, M-A. Germaine, Christelle Gramaglia, Stéphane Grivel, Céline Le Pichon, Laurent Lespez, Marie Lusson, Oldrich Navratil, Hervé Piégay, Jérôme G. Prunier, Anne-Julia Rollet, Evelyne Tales et Nicolas Lamouroux, « Restaurer la continuité écologique des cours d'eau : que sait-on et comment passer collectivement à l'action ? », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], 24-2 | Septembre 2024, mis en ligne le 20 novembre 2024, consulté le 13 décembre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/46093> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/12ppa>

Amoros, C., G.E. Petts, 1993. Hydrosystèmes fluviaux, Masson, Paris, 300 p.

Alleto, L., Bustillo, V. 2023. Fonctionnement hydrique des sols en agriculture de conservation. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2023, 13 (1), pp.1-25. doi.org/10.54800/vbl896

Aubert Sigrid, Aurélie Botta (coord. Scient.), Les communs, un autre récit pour la coopération territoriale, éd. Quae, 2022.

Blanchy, G., Bragato, G., Di Bene, C., Jarvis, N. Larsbo, M., Meurer, K. and Garré, S. 2023. Soil and crop management practices and the water regulation functions of soils: a qualitative synthesis of meta-analyses relevant to European agriculture. *Soil* 9, 1-20. <https://doi.org/10.5194/soil-9-1-2023>.

Boelens, R., Escobar, A., Bakker, K., Hommes, L., Swyngedouw, E., Hogenboom, B., ... & Wantzen, K. M. (2023). Riverhood: Political ecologies of socionature commoning and translocal struggles for water justice. *The Journal of Peasant Studies*, 50(3), 1125-1156.

Broadmeadow, S. & T. R. Nisbet (2004) The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8, 286–305.

CRIIRAD, <https://www.criirad.org/tritium-zones-geographiques-les-plus-touchees/#Loire-Vienne>

da Costa, P. Estimer la nature ; Valorisation des écosystèmes. Conférence – Débat Estimer la nature ; Valorisation des écosystèmes, Apr 2022, Lannion, France. (hal-03632585)

De Perthuis, C., « Carbone fossile, carbone vivant. Vers une nouvelle économie du climat », Gallimard, 2023.

de Toledo, C. (dir.) Le fleuve qui voulait écrire, éd. Les Liens qui Libèrent, 2021.

Debizet, G. & M. Pappalardo, « Communautés énergétiques locales, coopératives citoyennes et autoconsommation collective : formes et trajectoires en France », Flux n° 126 Octobre – Décembre 2021 pp. 1-13.

Detry, P., J. Gauthey , P. da Costa, S. Jouon , A. Vivier, Une évaluation de services écosystémiques sélectionnés par les acteurs locaux du Léguer (22) et de l'Estéron (06), labellisées "sites rivières sauvages", TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural, 2023, 6.

Detry, P. & P. da Costa. Webinaire : Quels services rendus par les rivières sauvages ?. Office français de la biodiversité (OFB), 5 allée Félix Nadar, 94300 Vincennes; Cerema - Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. 2021, <https://professionnels.ofb.fr/fr/restitution/replay-webinaire-quels-services-rendus-rivieres-sauvages>. (hal-04330568)

Dörfli, N., & Odoux, G. (2014). L'eau et le sol, un couple: Connaître et gérer les sols pour préserver l'eau . Geosciences.

ESCO Eutrophisation : Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité CNRS, INRA, Irstea, Ifremer, <https://www.inee.cnrs.fr/fr/restitution-de-lesco-eutrophisation>

Etude Sinonvirgule, OOneHealth, Une seule santé, plusieurs mondes, 2024 (<https://www.sinonvirgule.fr/projets/2024-02-01-ooonehealth/>)

Fresso, J.-B., Sans transition. Une nouvelle histoire de l'énergie, éd. Seuil, 2024.

Germaine, M. A., & Lespez, L. (2023). Why does geography matter in big dam removal projects? Lessons from a comparison between the Sélune and Elwha River cases. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1250857.

Giuntoli, I., Renard, B., Vidal, J.-P. & Bard, A. (2013) Low flows in France and their relationship to large-scale climate indices. *Journal of Hydrology*, 482, 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.038>

Gosselin, S. & D. gé Bartoli, La condition terrestre, habiter la Terre en communs, éd. Seuil, 2022.

IPCC (2022a) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

IPCC (2022b) IPCC Fact sheet : Europe. 2 p. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGII_FactSheet_Europe.pdf

ISF-Agrista Revue Sesame N°6, UMR SADAPT, <https://hal.inrae.fr/SADAPT>.

Fairfax E., & Westbrook C. (2024). The ecology and evolution of beavers: ecosystem engineers that ameliorate climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 55: 323–45.

Hynes, H. B. N. (1975). The stream and its valley: With 4 figures and 2 tables in the text. *SIL Proceedings, 1922-2010*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/03680770.1974.11896033>

Jones, E., Bierkens M.F.P., Van Vliet M.T.H. 2023. Current and future global scarcity intensifies when accounting for surface water quality. *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02007-0>

Lal, R. 2020. Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112, 3265-3277. <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>

Larsen A., Larsen J. R., Lane Stuart N. (2021) Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 218: 103623.

Lopez, F., L'ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires, MétisPresses, 2019.

Moatar F., Dupont N. (2016). *La Loire fluviale et estuarienne. un milieu en évolution*. Éditions Quae, <https://hal.science/hal-02404091>

Morand, S., Sortir des crises, One Health en pratiques, éd. Quae, 2022.

Morizot B. et Hursky S. 2024. Rendre l'eau à la terre. Actes sud 335 p.

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., and Grace, P. 2013. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 187, 87–105.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>, 2014

Paturel Dominique, Patrice Ndiaye, Le droit à l'alimentation durable en démocratie, éd. Champ Social, 2020.
(https://umr-innovation.cirad.fr/content/download/133975/748324/version/1/file/2020_Paturel%20Ndiaye_Extrait.pdf)

PEPR OneWater, <https://www.brgm.fr/fr/programme/pepr-onewater-eau-bien-commun-programme-national-recherche-innovation-eau>; Agnès Sinaï, Biorégion 2050. L'Île-de-France après l'effondrement, avec Yves Cochet et Benoît Thévard, Institut Momentum, 2019.

Pinay G., Gascuel C., Alain M., Souchon Y., Le Moal M., Levain A., Etrillard C., Moatar F., Pannard A., Souchu P. (2018). *L'eutrophisation: manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*. Editions Quae, 175 p.

Pinay, G., Ruffinoni, C., Fabre, A. Nitrogen cycling in two riparian forest soils under different geomorphic conditions. *Biogeochemistry* **30**, 9–29 (1995). <https://doi.org/10.1007/BF02181038>

Pinay, G., Black, V., Planty-Tabacchi, A. et al. Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils. *Biogeochemistry* **50**, 163–182 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1006317004639>

Poisvert, C., Curie F., Moatar F. (2017). Annual agricultural N surplus in France over a 70-year period. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107 (1), 63--78, <https://dx.doi.org/10.1007/s10705-016-9814-x>.

Rollot, M. & M. Schaffner, Qu'est-ce qu'une biorégion, éd. Wild project, 2021.

Sauquet, É., Evin, G., Siauve, S., Bornancin-Plantier, A., Jacquin, N., Arnaud, P., Bérel, M., Bernus, S., Bonneau, J., Branger, F., Caballero, Y., Colléoni, F., Collet, L., Corre, L., Drouin, A., Ducharne, A., Fournier, M., Gailhard, J., Habets, F., Hendrickx, F., Héraud, L., Hingray, B., Huang, P., Jaouen, T., Jeantet, A., Lanini, S., Le Lay, M., Loudin, S., Magand, C., Marson, P., Mimeau, L., Monteil, C., Munier, S., Perrin, C., Robin, Y., Rousset, F., Soubeyrou, J.-M., Strohmenger, L., Thirel, G., Tocquer, F., Trambly, Y., Vergnes, J.-P., Vidal, J.-P., Vrac, M. (2024) Messages et enseignements du projet Explore2, 24 p.
<https://doi.org/10.57745/J3XIPW>, Recherche Data Gouv, V7.

Syedhashemi, H., Vidal J.-P., Diamond J., Thiéry D., Monteil C., Hendrickx F., Maire A., Moatar F. (2022). Regional, multi-decadal analysis on the Loire River basin reveals that stream temperature increases faster than air temperature. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26 (9), 2583-2603.

Sinaï Agnès (dir.), Politiques de l'Anthropocène, Tome1. Penser la décroissance, Tome 2. Économie de l'après-croissance, Tome 3. Gouverner la décroissance. Presses de Sciences Po, 2021

Vicente-Serrano, S., Hannaford, J., Murphy, C., Peña-Gallardo, M., Lorenzo-Lacruz, J., Domínguez-Castro, F., López Moreno, J. I., Beguería, S., Noguear, I., Harrigan, S. & Vidal, J.-P. (2019) Climate, irrigation, and land-cover change explain streamflow trends in countries bordering the Northeast Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 46, 10821-10833 <https://doi.org/10.1029/2019GL084084>.