

Réponse aux questions restantes à l'issue de la conférence scientifique : « les plans d'eau : enjeux et réponses » du 15 septembre 2021

Thème de la question	Participant(e)	Questions	Rappel des éléments présentés par Florence Habets lors de la conférence du 15/09/2021 en lien avec la question	Éléments complémentaires de réponse, scientifiques et techniques, élaborés par Florence Habets et la DREAL
1) Questions sur les impacts des plans d'eau				
Méthodologie et données globales sur l'impact des plans d'eau	Stéphanie HERAULT	Votre présentation a fait ressortir que la configuration et l'usage des plans d'eau a un rôle majeur dans ses interactions avec le milieu environnant. Existe-t-il des méthodes permettant d'évaluer l'impact positif et négatif des plans d'eau pour un territoire ?		Suite à l'expertise collective sur l'impact cumulé des retenues commandée par le ministère chargé de l'écologie, une proposition de méthode a été faite pour analyser cet impact cumulé. La méthode est actuellement mise en œuvre sur des bassins tests.. Cette étude se focalise sur les impacts des retenues d'eau sur les milieux aquatiques et ne traite donc pas des impacts sur le milieu terrestre, ni des aspects de sécurité des biens et des personnes, ni des aspects socio-économiques. Voir la documentation de l'OFB qui propose une démarche et des outils opérationnels à destination des gestionnaires de bassins versants, des services instructeurs et des bureaux d'études : https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/projets/2017_Rapport_ICRA.pdf
	trintignac	Avez vous des données de mesures sur l'impact cumulé des plans d'eau dans les Pays de la Loire ?		L'Office français de la biodiversité (OFB) a lancé un appel à projets pour obtenir des retours d'expérience sur la mise en œuvre d'une méthode d'évaluation des impacts cumulés des retenues sur des bassins versants. https://professionnels.ofb.fr/index.php/fr/node/556 En Pays de la Loire, deux bassins ont été retenus pour la mise en œuvre de cette méthode : sur le territoire du SAGE Sarthe aval et sur le bassin versant du Vicoïn (SAGE Mayenne). Des actions d'inventaire et d'amélioration de la connaissance des impacts cumulés des plans d'eau sont également menées dans le cadre du projet européen LIFE Revers'eau porté par la région Pays de la Loire (bassin versant du Gué Chatenay en Vendée). La collecte de ces données est également l'un des enjeux des études HMUC (hydrologie, milieux, usages, climat) préconisées dans le SDAGE Loire Bretagne et engagées par plusieurs structures porteuses de SAGE de la région.
Evaporation	DLINARD Nantes métropole	« la Loire et ses terroirs », n°107 (juillet 2021) et rédigé par les enseignants et chercheurs (plutôt en géographie) Pascal Bartout et Laurent Touchart. Ils remettent en cause les doctrines actuelles sur les impacts des plans d'eau. Il serait intéressant de confronter leurs arguments qui peuvent être réutilisés par des associations pro ouvrages.	Ces recherches comparent l'évaporation d'un plan d'eau et l'évapotranspiration sur une zone humide (ZH). L'estimation de l'évaporation sur les plans d'eau semble très cohérente avec la littérature scientifique. Toutefois, l'estimation de l'évapotranspiration de la ZH a été effectuée selon une méthode plus critiquable.	Les études disponibles montrent que l'évaporation d'un réservoir est au moins de l'ordre de l'évapotranspiration, c'est-à-dire, de l'évapotranspiration d'un gazon dense bien fourni en eau. En été, cela est certainement supérieur à l'évapotranspiration d'une prairie car la prairie évapotranspire moins du fait du stress hydrique, même modéré. De plus, l'évapotranspiration d'une prairie n'impacte pas directement le débit d'un cours d'eau, mais la restitution par la nappe. A l'inverse, pour un plan d'eau connecté, l'évaporation sera immédiatement compensée par un prélèvement équivalent dans le cours d'eau. Plusieurs études scientifiques ont utilisé cette relation en calant les paramètres Kc sur des retenues où ils pouvaient faire le bilan d'eau. Les résultats sont cependant assez variables selon le mois et le type de retenue. Il n'y a donc pas de réel consensus. Cette méthodologie permet toutefois une première approche de l'impact de l'évaporation sur l'hydrologie, indispensable dans les études HMUC. L'amélioration de la connaissance des plans d'eau (modes d'alimentation, de restitution, volumes, etc.) permet d'affiner les résultats.
	orhon I	Avez vous des données comparatives entre l'évaporation sur les plans d'eau à l'été et l'évaporation sur une prairie ?	Très souvent, on constate que l'évaporation est proche de l'évapotranspiration. Facteurs de l'évaporation dans les plans d'eau : l'évaporation dépend de la température de l'eau. Les facteurs aggravants sont : peu d'obstacles au vent, peu d'ombre portée, faible circulation de l'eau.	
	Julien COLIN Animateur SAGE Cher aval	Concernant la question des pertes par évaporation des plans d'eau, existe-t-il un consensus scientifique sur l'utilisation de la méthode Penman et l'utilisation de certains Kc (<i>coefficient cultural</i>) pour la définition de la sur-évaporation lors des études quantitatives ?		
Impact sur le débit	trintignac	Dans vos graphiques, je n'ai pas vu le cas où le débit restitué peut être parfois largement supérieur au débit amont.	Peu de plans d'eau sont équipés de dispositifs permettant la restitution du débit réservé.	En complément, même lorsqu'un plan d'eau est équipé d'un dispositif de restitution du débit réservé, ce débit est limité par le débit entrant (si le débit entrant est nul ou inférieur à la valeur du débit réservé, ce dernier est réduit au débit entrant). En Pays de la Loire, cette limitation est souvent observée. Pour rappel, l'obligation de débit réservé est prévue par le code de l'environnement (L. 214-18 du code de l'environnement : « <i>débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage [...]</i> Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau [...] ») Selon leurs règlements d'eau, certaines retenues dédiées à des usages en particulier peuvent délivrer un débit supérieur au débit entrant, dans l'objectif de satisfaire des usages à l'aval. Ces retenues sont minoritaires en Pays de la Loire, et les débits restitués sont généralement prélevés pour les usages identifiés.

	Participant anonyme	Les retenues d'eau ne sont-elles pas situées dans les zones où les échanges avec la nappe sont réduits pour justement bénéficier d'eau disponible ?		<p>En France, beaucoup de retenues sont localisées sur des sources ou des zones humides qui peuvent être une forme d'apport de la nappe. Le cas le plus commun en France est que les plans d'eau captent en partie un écoulement de nappe. Cela influe forcément au moins un peu sur l'étiage.</p> <p>À l'étranger, notamment dans les régions avec des régimes de pluie de type mousson, les retenues ont pour objectif de capter l'eau pour faciliter son infiltration vers la nappe et ainsi pouvoir la préserver dans le temps et pomper là où sont les champs. C'est le cas tout particulièrement de l'Inde.</p> <p>En Pays de la Loire, il est régulièrement constaté par les services de police de l'eau que des retenues se re-remplissent sans prélèvement dans le cours d'eau (particulièrement en fin de période d'étiage). Ces cas de figure mettent en avant la connexion des plans d'eau concernés aux cours d'eau par la nappe d'accompagnement.</p> <p>Pour rappel, en période de sécheresse, l'autorisation de prélever est conditionnée à la démonstration par le préleveur de l'étanchéité de la retenue, y compris par rapport à la nappe d'accompagnement.</p>
Continuité	alain.parizy (DDTM 44)	Attention aux retenues en dérivation, car il y a souvent un impact sur la continuité (présence d'un barrage pour dériver l'eau)	<p>On estime que 90 % des sédiments sont piégés dans une retenue sur cours d'eau.</p> <p>Les barrages sont un obstacle à la dispersion des organismes pour les espèces qui exploitent les habitats de part et d'autre de la retenue. Notamment il y a un risque d'extinction sur le bassin en amont de la retenue.</p>	<p>Sur les 40 000 plans d'eau de plus de 1000 m² en Pays de la Loire, on estime à plus de 15 000 le nombre de retenues sur cours d'eau ou en dérivation.</p> <p>La présence d'un barrage pour dériver l'eau produit en effet des impacts sur la continuité, mais également sur le débit et les paramètres physico-chimiques du cours d'eau.</p> <p>Le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux prévoit notamment que toute nouvelle retenue (ou régularisation) doit être isolée du réseau hydrographique et qu'en-dehors du volume et de la période de prélèvement autorisée « <i>toutes les eaux arrivant en amont de l'ouvrage ou à la prise d'eau [...] soient transmises à l'aval sans retard et sans altération</i> » (1E3 du SDAGE). En outre, l'ouvrage ne doit pas constituer un nouvel obstacle à la continuité pour des cours d'eau visés à l'article L. 214-17 du code de l'environnement.</p>
Biodiversité	trintignac	82% des hydrophytes identifiés dans les Pays de la Loire sont présentes dans les étangs des Pays de la Loire	<p>La retenue est souvent présentée comme un nouvel habitat support de biodiversité. Ce n'est pas faux mais pas non plus exact car il faut considérer qu'on a détruit un milieu préexistant (nombreuses retenues collinaires implantées en ZH).</p> <p>Le nouvel habitat est favorable essentiellement aux espèces lenticules (propres aux eaux calmes à renouvellement lent). Il va constituer un habitat pour des espèces patrimoniales (Odonates, Batraciens) mais également favoriser des espèces exotiques envahissantes.</p> <p>Plus généralement, les retenues modifient le milieu avec un impact sur l'hydrologie, les flux sédimentaires et la qualité physico-chimique qui vont avoir un impact sur les communautés biologiques. Les modifications du régime hydrologique vont perturber la reproduction, favoriser les espèces exotiques. Le colmatage sédimentaire va avoir un impact négatif sur certaines espèces. Le réchauffement va conduire à la disparition des espèces d'eau froide.</p> <p>Vient s'ajouter un effet « stepping stone » (effet tremplin) qui va favoriser la colonisation des espèces favorisées par le plan d'eau dans le cours d'eau et avoir un impact sur la biodiversité de l'ensemble du cours d'eau.</p> <p>En conclusion, on constate que plus il y a de retenues, moins il y a d'espèces.</p>	<p>Nous ne disposons pas de la source de cette donnée. En outre, elle ne permet pas de rendre compte de l'ensemble des impacts d'une retenue sur la biodiversité. Beaucoup de macrophytes propres à des milieux lotiques sont signes d'une bonne qualité de l'eau et disparaissent dès que les vitesses diminuent, que l'eau se réchauffe...</p>
Impacts sur la qualité physico-chimique	trintignac	Le mode de gestion du plan d'eau est un facteur important sur l'effet du plan d'eau sur la qualité physico-chimique de l'eau. Exemple de plusieurs publications mettant en avant les pratiques de la pisciculture en étangs (N, P et pesticides..)	<p>Une retenue agit comme un réacteur biogéochimique qui stocke un grand nombre de particules et transforme les flux entrants en flux sortants. Cela modifie la chimie du plan d'eau mais aussi à l'aval.</p> <p>Des processus de dénitrification ont effectivement lieu dans certaines retenues. En parallèle de la dénitrification, il se</p>	

			<p>produit également une eutrophisation et un réchauffement estival avec une augmentation de l'hypoxie et de l'anoxie.</p> <p>Si on s'intéresse aux impacts cumulés, même si une retenue peut avoir cet effet, l'efficacité de la dénitrification diminue avec l'augmentation du nombre de retenues. À l'inverse, l'impact cumulé sur le stockage du phosphore ne devient efficace qu'à partir d'un nombre élevé de retenues.</p>	
Impact climatique	trintignac	Pourquoi êtes vous partagée sur la notion de puits à carbone pour les plans d'eau ? Peut-être que cet état pourrait dépendre aussi du mode de gestion ?	Les retenues permettent une rétention d'éléments mais qui peuvent être remobilisés lors d'événements. Notamment, le stock de carbone dans les plans d'eau est libéré dans l'atmosphère lorsque les retenues sont asséchées.	Plus précisément, lorsque le niveau du réservoir baisse, il laisse une partie asséchée qui ré-émet du carbone. Le bilan global serait négatif selon une étude récente (P. S. Keller, R. Marcé, B. Obrador, and M. Koschorreck, "Global carbon budget of reservoirs is overturned by the quantification of drawdown areas," <i>Nat. Geosci.</i> , vol. 14, no. 6, pp. 402–408, 2021.)
2) Questions sur les solutions à envisager				
ntActions sur l'agriculture	COTTREL	Une politique agricole imposant des changements pour cultiver des cultures moins consommatrices en eau et la baisse de l'élevage peut-elle favoriser les problèmes climatiques ?		<p>La maîtrise des prélèvements d'eau constitue un enjeu important pour rétablir l'équilibre quantitatif en tenant compte des enjeux liés au changement climatique. C'est l'objet du chapitre 7 du SDAGE Loire Bretagne. En période d'étiage, l'irrigation constitue la principale source de prélèvements.</p> <p>Il faudrait des cultures adaptées au pédoclimat, et donc effectivement moins consommatrices d'eau s'il en manque déjà... La baisse de la consommation et donc de la production de viande est une solution possible. Les élevages intensifs sont plus impactants que les élevages extensifs sur le milieu. Pour le climat comme pour l'eau, limiter les intrants chimiques fait également partie de la solution.</p>
	Bernier Gerard	<p>Comment un maraîcher qui produit des légumes en Pays de la Loire pourra-t-il continuer à faire son métier s'il ne peut plus prélever de l'eau dans son étang ?</p> <p>Qui va décider pour l'usage de l'eau en agriculture ?</p>	<p>Les évolutions climatiques incitent à une réflexion sur l'usage de la ressource en eau, dans tous les domaines et donc notamment l'agriculture.</p> <p>Présentation d'une carte qui montre que la quantité d'eau disponible à l'écoulement (une fois l'évaporation soustraite) sur certaines zones équivaut aujourd'hui au volume demandé pour l'irrigation, y compris en PDL.</p> <p>Présentation d'une carte montrant l'augmentation de la durée des sécheresses de 30 à 40 % dans les Pays de la Loire d'ici 2050.</p> <p>Conclusion d'études internationales : « <i>il est nécessaire de donner des limites de consommation soutenables à l'actuelle et dans le futur</i> » (Yu et al., Can water productivity improvements save us from global water scarcity ? FAO , 2021). Il ne suffit pas d'améliorer les techniques, il faut fixer la limite maximale de consommation possible.</p>	<p>L'eau est un bien commun et son usage doit être réfléchi collectivement. La gestion durable de l'eau implique de connaître la part prélevable sur un territoire pour les différents usages tout en sauvegardant le bon fonctionnement des milieux aquatiques. Cette connaissance permet de faire évoluer le cadre dans lequel les autorisations de prélèvement sont délivrées (zonages 7B du SDAGE).</p> <p>Des démarches territoriales peuvent être menées, notamment dans le cadre de PTGE (projet de territoire pour la gestion de l'eau). Ces démarches de co-construction entre tous les représentants des usagers de l'eau doivent permettre d'atteindre, dans la durée, un équilibre entre besoin, ressources et bonne fonctionnalité des écosystèmes aquatiques.</p> <p>La réalisation d'études hydrologie, milieux, usages, climat (HMUC) est un élément primordial du diagnostic.</p> <p>Les actions doivent obligatoirement s'inscrire dans la recherche de sobriété et d'optimisation des usages. Au-delà de l'optimisation des ouvrages et techniques existantes, les solutions de l'agro-écologie doivent être mobilisées, afin de réduire la dépendance à l'eau. Parmi les usages adaptés pour répondre aux différents objectifs liés au climat, à la biodiversité, à l'eau, il semble important d'inclure le développement d'une alimentation locale, minimisant les intrants.</p>
Actions sur les plans d'eau existants	SCHAUVIGNE	Votre présentation montre des impacts significatifs des plans d'eau sur la ressource en eau. Quelle est votre position pour réduire ces impacts ? (effacement d'ouvrage, aménagement d'ouvrage, respect du débit réservé...?).		<p>En fonction des caractéristiques des plans d'eau, l'ensemble de ces solutions peuvent être envisagées.</p> <p>Dans certaines situations et dans le respect de la réglementation, l'effacement d'ouvrage est une solution efficace pour réduire les impacts et doit donc être privilégiée (par exemple dans le cas de plans d'eau sans usages ou de plan d'eau à fort impact sur le cours d'eau, avec le cas échéant une substitution).</p> <p>Les solutions permettant la restauration effective d'une continuité piscicole et sédimentaire du cours d'eau sont également à privilégier, comme les bras de contournement à ciel ouvert. Les dispositifs permettant le respect du débit réservé doivent également être étudiés en fonction du plan d'eau en privilégiant les moins impactants (ex : moines).</p>

max	La majorité des cas exposés concernent les plans d'eau sur cours d'eau. La déconnexion n'a-t-elle pas un intérêt majeur ?		<p>La déconnexion des plans d'eau sur cours d'eau doit privilégier les bras de contournement à ciel ouvert, permettant de redonner un cours naturel à la rivière et d'assurer la continuité piscicole et sédimentaire. L'effacement peut aussi être envisagé dans le respect du cadre fixé par l'article L.214-17 du code de l'environnement.</p> <p>De plus, au-delà de la question de la connexion, les impacts d'un plan d'eau vont aussi dépendre des prélèvements. Donc, la maîtrise des prélèvements reste un enjeu majeur.</p>
Adrien LAUNAY (Région PDL)	De quel ordre de grandeur peut-être l'impact de l'interception de volumes supplémentaires par la création de nouvelles retenues sur la recharge des nappes (et donc indirectement sur le soutien des débits d'étiage) ?		<p>L'impact des prélèvements hivernaux en nappe sur les débits l'été sera d'autant plus marqué que le niveau maximal atteint par la nappe sera faible. L'impact va varier en fonction des caractéristiques de la nappe, et de la durée de l'étiage.</p> <p>À titre d'illustration (exemple fictif) : si on considère que le prélèvement réduit la nappe de 1m en moyenne sur un rayon de 300 m, et une perméabilité médiane à 1×10^{-5} m/s, le débit du cours d'eau à l'étiage serait réduit de 10 l/s, pour chaque prélèvement de ce type exercé sur la nappe.</p>
Youenn Fenard (Edenn)	Comment peut-on articuler ces éléments avec le projet de SDAGE qui décrit comme "solution souhaitable" la création de retenues de stockage hivernal (disposition 7D) ?	<p>Les barrages ne doivent pas être considérés comme une « solution miracle ».</p> <p>D'une part, cette hypothèse ne prend pas en compte tous les impacts sur le milieu qui ont été décrits, et l'impact sur la recharge des nappes (la construction de nouvelles retenues présente les limites rappelées ci-dessus).</p> <p>Certaines solutions sont à privilégier car elles vont avoir des effets bénéfiques à la fois sur les effets sécheresse et inondations :</p> <ul style="list-style-type: none"> - avoir un sol en meilleure santé capable de stocker plus d'eau et de mieux infiltrer l'eau ; - favoriser la présence de haies et de prairies/ bandes enherbées, éviter les sols nus, agroforesterie ; - préserver et développer les ZH. 	<p>Pour rappel, <u>en période d'étiage</u>, le développement de nouveaux prélèvements est plafonné au niveau actuel ou à un niveau maximal en fonction du zonage du SDAGE, prenant en compte la situation hydrologique du territoire (dispositions 7B). Sur les territoires classés en zones de répartition des eaux (ZRE), caractérisés par un déficit chronique de la ressource par rapport aux besoins, les prélèvements doivent être réduits pour atteindre les volumes prélevables.</p> <p><u>En période hivernale</u>, le SDAGE prévoit en effet qu' « <i>Après que des programmes d'économies d'eau ont été mis en place, les stockages hivernaux alimentés par nappe, cours d'eau ou eaux de ruissellement constituent une solution souhaitable pour substituer des prélèvements estivaux ou pour développer de nouveaux usages, y compris dans les bassins en déficit quantitatif.</i> » (7D).</p> <p>Pour toutes les réserves à remplissage hivernale, le SDAGE recommande l'encadrement des conditions de prélèvements en période hivernale et l'impose en ZRE, notamment par le respect d'un débit minimal dans le cours d'eau etc.(7D-5 à 7)</p> <p>La création de nouveaux plans d'eau est également encadrée par la disposition 1E du SDAGE.</p> <p>S'agissant spécifiquement des retenues de substitution, ces dernières sont encadrées par la disposition 7D-3. Le projet de Programme de mesures 2022-2027 prévoit en outre que « <i>La mise en place de réserves de substitution peut être une réponse à la nécessaire adaptation des territoires aux évolutions climatiques, permettant de réduire l'impact des prélèvements à l'étiage. Ces projets s'inscrivent dans le cadre de projets de territoire pour la gestion de l'eau (PTGE)</i> »</p>

Bibliographie

Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. Expertise scientifique collective auprès d'Irstea, en partenariat avec l'Inra, commandée par le ministère chargé de l'écologie, avec l'appui de l'Onema (maintenant Office français pour la biodiversité)
<https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/impact-cumule-des-retenues-d-eau-sur-le-milieu-aquatique-expertise-scientifique-collective0>
<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/impact-cumule-retenues-deau-milieu-aquatique-expertise-scientifique-collective>

Retour d'expériences sur les opérations de suppressions de plan d'eau à l'échelle du territoire Bretagne, Pays de la Loire, 2018. JEANNEAU G., LE BIHAN M. AGENCE FRANCAISE POUR LA BIODIVERSITE
<https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/00000000166a5167ec615e8271e0f21>

- [1] J. Terasmaa *et al.*, "A quantitative assessment of the contribution of small standing water bodies to the European waterscapes – case of Estonia and France," *Heliyon*, vol. 5, no. 9, 2019.
- [2] X. Yang *et al.*, "Monthly estimation of the surface water extent in France at a 10-m resolution using Sentinel-2 data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 244, no. October 2019, p. 111803, 2020.
- [3] G. Bergkamp *et al.*, "WCD Thematic Review Environmental Issues II.1 Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration Based on contributions from," *IUCN Environ. Law Cent.*
- [4] F. Habets, J. Molénat, N. Carluier, O. Douez, and D. Leenhardt, "The cumulative impacts of small reservoirs on hydrology: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 643, pp. 850–867, 2018.
- [5] J. Tanny *et al.*, "Evaporation from a reservoir with fluctuating water level: Correcting for limited fetch," *J. Hydrol.*, vol. 404, no. 3–4, pp. 146–156, 2011.
- [6] G. Di Baldassarre, F. Martinez, Z. Kalantari, and A. Viglione, "Drought and flood in the Anthropocene: Feedback mechanisms in reservoir operation," *Earth Syst. Dyn.*, vol. 8, no. 1, pp. 225–233, 2017.
- [7] C. Nadine, "Identification et caractérisation des retenues à usage irrigation sur le bassin Adour-Garonne," p. 59, 2013.
- [8] A. F. Van Loon *et al.*, "Drought in the Anthropocene," *Nat. Geosci.*, vol. 9, no. 2, pp. 89–91, 2016.
- [9] P. P. Micklin, "Desiccation of the Aral Sea : A Water mangement disaster in the Soviet Union," *Science (80-.)*, vol. 241, no. 4870, pp. 1170–1176, 1987.
- [10] A. AghaKouchak *et al.*, "Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action," *Journal of Great Lakes Research*, vol. 41, no. 1. International Association for Great Lakes Research., pp. 307–311, 2015.
- [11] H. Gao, T. J. Bohn, E. Podest, K. C. McDonald, and D. P. Lettenmaier, "On the causes of the shrinking of Lake Chad," *Environ. Res. Lett.*, vol. 6, no. 3, 2011.
- [12] M. L. Wine and J. B. Laronne, "In water-limited landscapes, an Anthropocene exchange: Trading lakes for irrigated agriculture," *Earth's Futur.*, pp. 1–15, 2020.
- [13] P. Passy, J. Garnier, G. Billen, C. Fesneau, and J. Tournebize, "Restoration of ponds in rural landscapes: Modelling the effect on nitrate contamination of surface water (the Seine River Basin, France)," *Sci. Total Environ.*, vol. 430, pp. 280–290, 2012.
- [14] A. Dauta, Y. Lapaquellerie, and N. Maillet, "Role of the dams on the River Lot on two types of pollution: Point-sources (cadmium) and non-point sources (phosphorus)," *Hydrobiologia*, vol. 410, pp. 325–329, 1999.
- [15] W. Aeschbach-Hertig and T. Gleeson, "Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion," *Nature Geoscience*, vol. 5, no. 12. Nature Publishing Group, pp. 853–861, 2012.
- [16] W. Yuan *et al.*, "Increased atmospheric vapor pressure deficit reduces global vegetation growth," *Sci. Adv.*, vol. 5, no. 8, p. eaax1396, 2019.
- [17] J. Ringard, M. Chiriaco, S. Bastin, and F. Habets, "Recent trends in climate variability at the local scale using 40 years of observations: The case of the Paris region of France," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 19, no. 20, 2019.
- [18] A. Ribes *et al.*, "Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean," *Clim. Dyn.*, vol. 52, no. 1–2, pp. 1095–1114, 2019.
- [19] B. C. O'Neill *et al.*, "The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6," *Geosci. Model Dev.*, vol. 9, no. 9, pp. 3461–3482, 2016.
- [20] F. Habets *et al.*, "The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 113, no. 6, 2008.
- [21] P. Le Moigne *et al.*, "The latest improvements with SURFEX v8.0 of the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological model for France," *Geosci. Model Dev.*, vol. 13, no. 9, pp. 3925–3946, 2020.
- [22] P. Jean-Louis, "Les prélèvements d'eau douce en France : les grands usages en 2013 et leur évolution depuis 20 ans," 2017.
- [23] G. Dayon, J. Boé, É. Martin, and J. Gailhard, "Impacts of climate change on the hydrological cycle over France and associated uncertainties," *Comptes Rendus - Geosci.*, vol. 350, no. 4, pp. 141–153, 2018.
- [24] J. Boé, M. Radojevic, R. Bonnet, and G. Dayon, "Scénarios sécheresse sur le bassin Seine-Normandie," 2018.
- [25] L. Samaniego *et al.*, "Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 8, no. 5, pp. 421–426, 2018.
- [26] G. Di Baldassarre *et al.*, "Water shortages worsened by reservoir effects," *Nat. Sustain.*, vol. 1, no. 11, pp. 617–622, 2018.
- [27] C. Perry, P. Steduto, and F. Karajeh, *DOES IMPROVED IRRIGATION TECHNOLOGY SAVE WATER? Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa Regional Initiative on Water Scarcity for the Near East and North Africa*, Fao Rome I. .
- [28] W. Yu, S. Uhlenbrook, R. von Gnechten, and J. van der Bliek, "CAN WATER PRODUCTIVITY IMPROVEMENTS SAVE US FROM GLOBAL WATER SCARCITY ?," *White Pap. 1 .FAO*, 2021.
- [29] H. Forbes, K. Ball, and F. McLay, *Natural Flood Management Handbook*. 2015.