

L'HYDROÉLECTRICITÉ : UNE ÉNERGIE RÉSILIENTE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

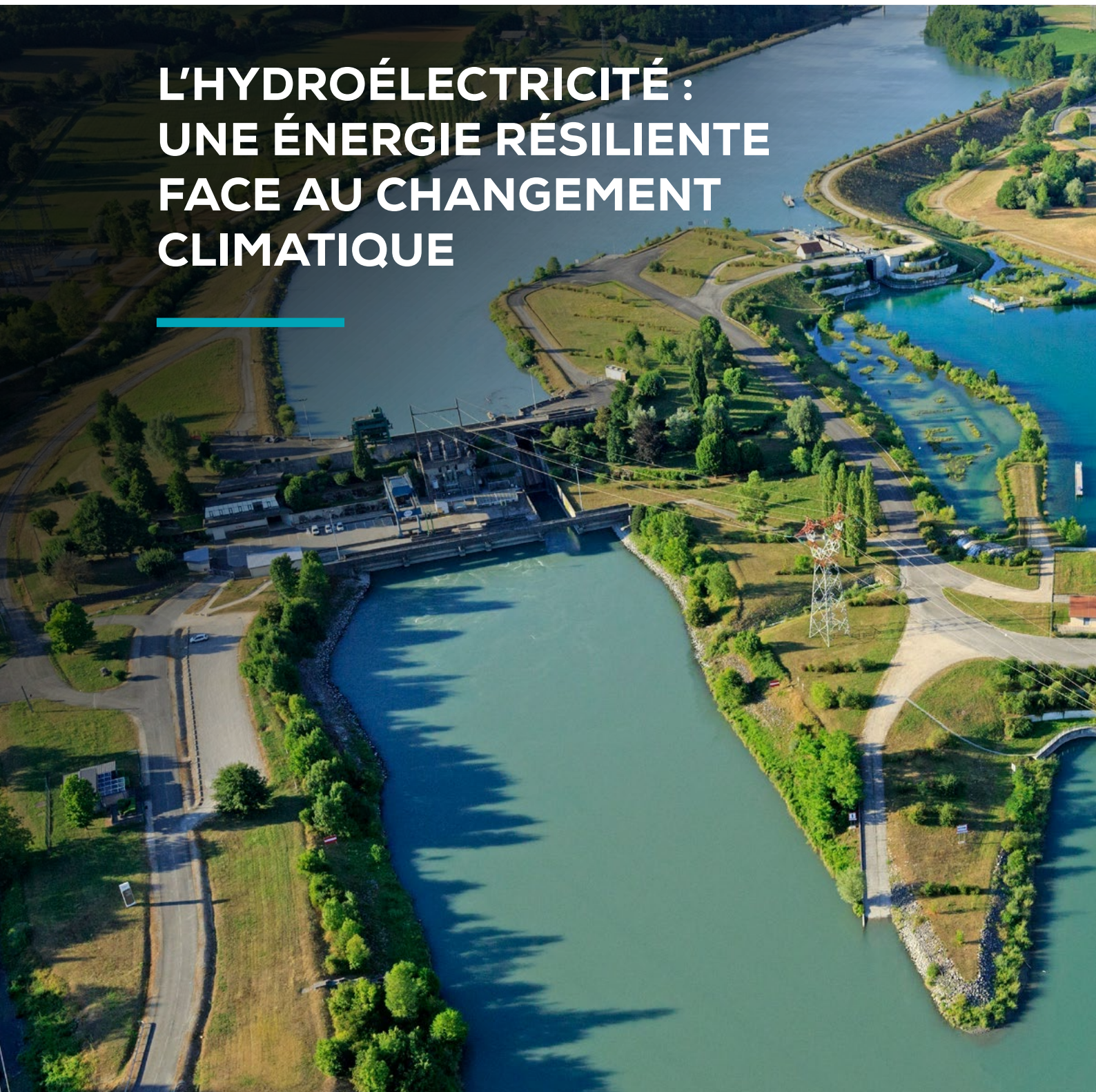


TABLE DES MATIÈRES

ÉDITOS.....	2
INTRODUCTION	4
1. COMMENT FONCTIONNE UNE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE ?	6
2. QUELS EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'HYDROLOGIE DES COURS D'EAU ET LA BIODIVERSITÉ ?	8
1. Évolution du climat, des précipitations et des régimes hydrologiques	8
2. Évolutions des précipitations	9
3. Des effets variant d'une zone géographique à l'autre	10
4. Impact sur les débits des cours d'eau	11
5. Des effets du changement climatique également sur la biodiversité des cours d'eau	13
3. L'HYDROÉLECTRICITÉ, UNE FILIÈRE RÉSILIENTE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	14
1. L'hydroélectricité, une production saisonnalisée	14
2. Comment expliquer la baisse de production de ces dernières années ?	15
3. Les aménagements hydrauliques continueront à produire de l'électricité	16
4. Des leviers d'adaptation à l'évolution de l'hydrologie des cours d'eau	17
5. Hydroélectricité, biodiversité et gestion de la ressource en eau sont étroitement liées	17
CONCLUSION : FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, QUELS ENJEUX POUR LA FILIÈRE HYDROÉLECTRIQUE ?.....	19
REMERCIEMENTS ET CRÉDITS.....	20

ÉDITOS

Une énergie clé pour la stabilité de notre système électrique

Pour répondre à la demande d'électricité décarbonée à horizon 2050, la France aura besoin de tous les gisements de production d'énergie disponibles, quelle que soit la part du nucléaire et quel que soit le scénario prospectif retenu.

Grâce à sa production en continu, modulable sur la journée, la semaine ou la saison et mobilisable rapidement en cas de nécessité, l'hydroélectricité est également une énergie clé pour la stabilité de notre système électrique.

Enfin, l'hydroélectricité, profondément ancrée dans nos territoires, rend des services à la navigation, à l'irrigation agricole, à la desserte en eau potable, et plus globalement à la gestion de la ressource.

Néanmoins, avec des événements climatiques extrêmes de plus en plus fréquents et intenses, la maîtrise de cette ressource représente un enjeu plus complexe que par le passé, et il est normal de s'interroger sur la capacité de la filière hydroélectrique à intégrer ces nouveaux paramètres pour assurer ses différentes missions, et en premier lieu la production électrique.

C'est pourquoi le Syndicat des énergies renouvelables souhaite partager les connaissances actuelles sur le sujet grâce à des données objectives tout en y intégrant les retours d'expérience de la filière.

Bonne lecture !

Jules NYSSSEN

Président du Syndicat des énergies renouvelables

Hydroélectricité : un rôle essentiel à jouer

Une année 2022 désespérément sèche, avec des ruptures d'alimentation en eau potable et des assecs de cours d'eau d'une ampleur jamais connue ; une année 2024 dramatiquement pluvieuse, avec des inondations catastrophiques à répétition ; chutes de neige devenues plus aléatoires ; nappes phréatiques sous surveillance... Les conséquences du dérèglement climatique sont une réalité que chacun de nous peut aisément percevoir dans ses dimensions les plus extrêmes, mais dont les tendances de fond sont parfois moins aisément lisibles.

Au-delà de notre quotidien, cette réalité s'impose également à un grand nombre d'activités économiques.

L'hydroélectricité n'échappe ainsi pas aux questionnements quant à la nature et à l'ampleur qu'auront les effets du changement climatique sur sa production, et plus généralement sur son rôle futur tant pour le système électrique que pour la gestion de la ressource en eau.

Le Syndicat des énergies renouvelables (SER) se devait donc d'y apporter des éléments de réponse, et c'est l'objet de cette publication, que nous avons voulue aussi complète et pédagogique que possible, car les choses ne sont pas aussi simples qu'il peut y paraître de prime abord.

Jean-Charles GALLAND,

Président de la Commission Hydroélectricité du Syndicat des énergies renouvelables

INTRODUCTION

L'hydroélectricité utilise une ressource renouvelable fondamentale : l'énergie de l'eau.

Avec plus de 2 500 centrales sur le territoire français, l'hydroélectricité est la deuxième source de production d'électricité en France après le nucléaire et la première source d'électricité renouvelable, devant l'éolien terrestre. En 2024, l'hydroélectricité a ainsi fourni 75,1TWh, soit 15,2% de l'électricité produite en France.

L'hydroélectricité constitue l'un des piliers d'un mix énergétique français bas-carbone. Renouvelable, stockable et flexible, elle joue un rôle essentiel dans la stabilisation du réseau électrique et facilite l'intégration de nouvelles capacités de production d'énergie renouvelable.

En plus de la production d'électricité, de nombreuses centrales hydroélectriques permettent des usages multiples de l'eau tels que l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole, le soutien aux écosystèmes, la navigation ou encore le tourisme.

En contribuant à l'électrification d'usages carbonés comme le transport, le chauffage ou encore les procédés industriels, la filière hydroélectrique est un levier de la transition énergétique et climatique, et de préservation de la biodiversité à l'échelle globale.



Barrage du Chevril sur l'Isère, Tignes (Savoie)

LE RÔLE DE L'HYDROÉLECTRICITÉ DANS L'ATTÉNUATION ET L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique se traduit par l'augmentation rapide de la température moyenne à la surface de la Terre au cours des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles. Ce phénomène s'explique par l'accumulation de gaz à effet de serre (GES) d'origine humaine dans l'atmosphère. Le changement climatique a de nombreuses conséquences : multiplication et intensification des événements météorologiques extrêmes, perturbation des écosystèmes, risques sanitaires...

L'atténuation consiste à limiter l'ampleur du changement climatique en prévenant ou en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. **L'hydroélectricité, en se substituant aux énergies fossiles, permet de diminuer les émissions de GES et contribue donc à atténuer les effets du changement climatique.**

L'adaptation consiste à anticiper les effets négatifs du changement climatique et à prendre des mesures appropriées pour prévenir ou réduire au maximum les impacts qu'ils peuvent entraîner, ou à exploiter les possibilités qui se présentent. **L'hydroélectricité, en soutenant les étiages (périodes de plus faible débit des cours d'eau) pour permettre les autres usages et la préservation de la biodiversité, joue un rôle important dans l'adaptation au changement climatique.**

Mais quel est l'impact du changement climatique sur la ressource en eau ? Et quels sont les effets du changement climatique sur les centrales hydroélectriques ? Sur leur production ? Les ouvrages sont-ils adaptés aux conséquences du changement climatique ? Par cette publication, le Syndicat des énergies renouvelables (SER) souhaite apporter des éléments de réponse sur le sujet.

1. COMMENT FONCTIONNE UNE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE ?

Pour évaluer les effets potentiels du dérèglement climatique sur la production des centrales hydroélectriques, il convient de distinguer les grands types d'ouvrages hydrauliques existant en France et d'en comprendre le fonctionnement.

Pour produire de l'électricité, les centrales hydroélectriques exploitent l'énergie potentielle gravitaire de l'eau créée par deux facteurs : la hauteur de chute, à savoir la différence d'altitude entre le niveau de l'eau en amont et en aval de l'ouvrage, et le débit du cours d'eau. La production d'hydroélectricité consiste à convertir cette énergie grâce à une turbine et à un alternateur. Nous pouvons distinguer quatre grands types d'ouvrages hydroélectriques : les centrales de lacs, les centrales d'éclusée, les centrales au fil de l'eau, et enfin les Stations de Transfert d'Énergie par Pompes (STEP).

► **Les centrales de lacs** sont caractérisées simultanément par une forte capacité de stockage de l'eau, dans un réservoir créé par un barrage, et par une forte hauteur de chute. Ce sont des centrales dotées d'une capacité de stockage en amont de la centrale supérieure à 400 heures¹ de fonctionnement à pleine puissance. Les lacs réservoirs permettent un stockage saisonnier de l'eau issue notamment de la fonte des neiges et des pluies hivernales. Les centrales de lacs ont un rôle déterminant dans le système électrique, car elles permettent de répondre aux pics de consommation saisonniers en électricité, particulièrement en période hivernale.

► **Les centrales d'éclusée** disposent également d'un réservoir mais de capacité moindre : celle-ci est comprise entre 2 et 400 heures¹ de turbinage à pleine puissance. Ces centrales permettent de répondre aux fluctuations journalières et hebdomadaires de la demande en électricité. Comme les centrales de lacs, elles jouent donc un rôle déterminant pour l'équilibrage du système électrique.

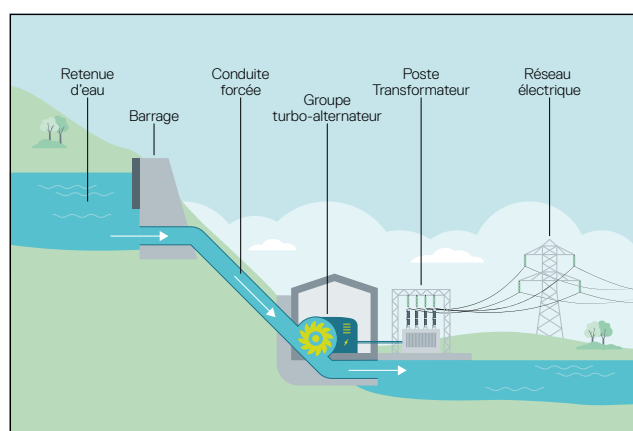


Figure 1 – Schéma d'une centrale de lac [SER]

1 Selon la nomenclature retenue par RTE, qui se fonde sur le type de service rendu au système électrique.

► **Les centrales au fil de l'eau** se caractérisent par un réservoir dont la capacité de stockage est inférieure à 2 heures, c'est-à-dire qu'elles turbinent l'eau au fur et à mesure que celle-ci arrive, d'où leur nom. L'eau n'étant pas stockée, la quantité d'énergie produite à un instant donné dépend directement du débit du cours d'eau à cet instant. C'est une énergie dite « fatale », au sens où il n'est pas possible de choisir le moment de sa production, au contraire des centrales de lacs et d'éclusées.

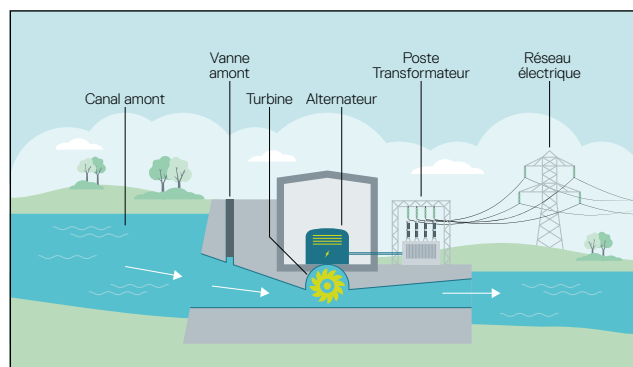


Figure 2 – Schéma d'une centrale au fil de l'eau [SER]

► **Les STEP** sont des centrales hydroélectriques particulières. Dotées de deux réservoirs, un bassin supérieur et un bassin inférieur, elles peuvent pomper l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur pour reconstituer son stock et ainsi turbiner à l'infini une même eau. Elles permettent de stocker de l'énergie dans le bassin supérieur lorsque celle-ci est abondante, pour produire de l'électricité lorsque le réseau en a besoin : ce sont de véritables « batteries liquides ».

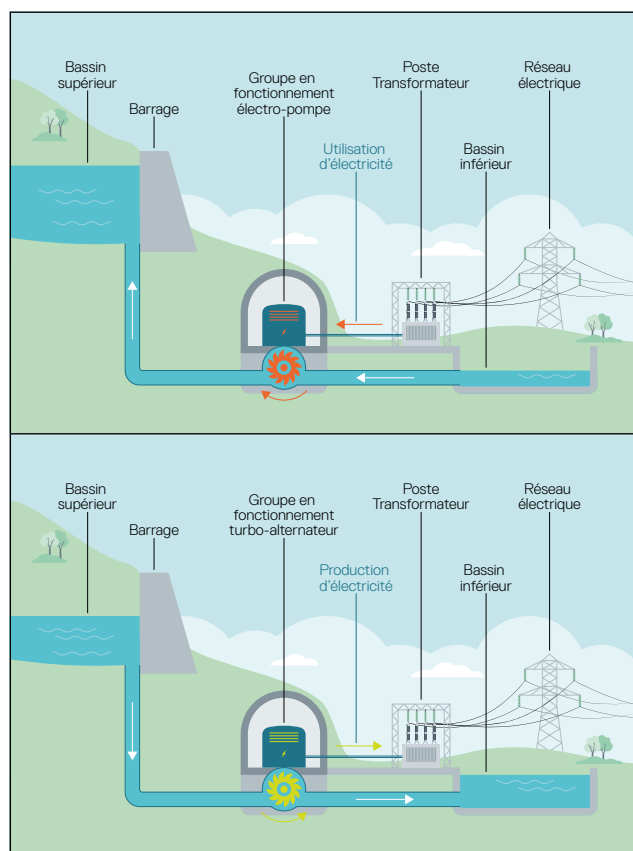


Figure 3 – Schéma d'une Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) en phase de stockage (en haut) et de production (en bas) [SER]

Quel que soit le type d'installations hydroélectriques, ces dernières ne consomment pas d'eau : celle-ci est toujours restituée en intégralité dans le cours d'eau en aval de l'installation après avoir été utilisée pour produire de l'électricité.

2. QUELS EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'HYDROLOGIE DES COURS D'EAU ET LA BIODIVERSITÉ ?

1. ÉVOLUTION DU CLIMAT, DES PRÉCIPITATIONS ET DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES

La prospective en matière de dynamique hydrologique² à l'échelle de la France métropolitaine met en œuvre un processus complexe, fondé sur « l'emboîtement » d'une succession de modélisations numériques (cf. Figure 4).

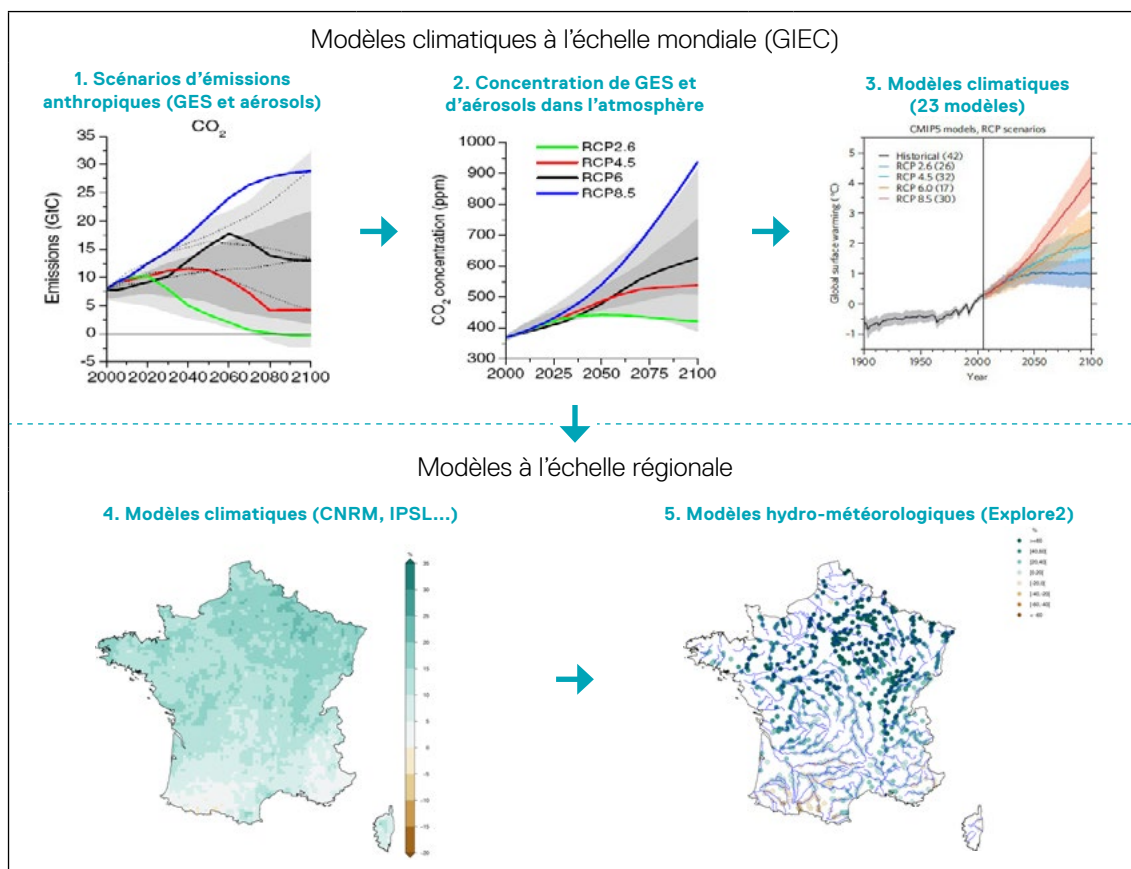


Figure 4 – Processus d'élaboration des modèles de prévision climatique et hydrométéorologique à l'échelle mondiale et régionale [Données issues en partie des modèles du GIEC et du projet Explore 2]

2 Science qui s'intéresse à tous les aspects du cycle de l'eau et contribue à la connaissance des ressources en eau.

Des simulations prospectives climatiques sont dans un premier temps réalisées à l'échelle mondiale par le GIEC³, selon les modalités suivantes :

1. Le GIEC construit tout d'abord différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en fonction de la vision prospective des politiques publiques susceptibles de se mettre en place et qui auront pour conséquence la réduction, le maintien ou la poursuite de l'augmentation des émissions de GES.
2. Ces scénarios permettent de tracer les trajectoires de concentrations futures de GES dans l'atmosphère, qui sont déterminantes pour l'évolution du climat.
3. Ces trajectoires constituent les données d'entrée de plus d'une vingtaine de modèles climatiques de simulation des températures et des précipitations à l'échelle du globe.

Les résultats de ces modèles mondiaux constituent dans un second temps les données d'entrée pour des modèles climatiques régionaux, qui sont à une échelle géographique suffisamment petite pour pouvoir ensuite simuler le régime hydrologique à l'échelle du bassin versant des cours d'eau, à l'aide d'une troisième série de modèles.

2. ÉVOLUTIONS DES PRÉCIPITATIONS

Les simulations régionales réalisées à l'échelle de la France montrent des évolutions contrastées pour les températures et les précipitations. Ainsi, la Figure 5 présente les résultats d'une série de simulations de l'évolution moyenne sur l'année du climat en France dans le cas d'un scénario sans réduction des GES, selon deux dimensions : la variation de la température (en ordonnée) et la variation des précipitations (en abscisse).

Si les résultats concernant la température sont sans ambiguïté, puisque l'ensemble des simulations prédisent une élévation de la température moyenne en France comprise entre 3,2 °C et 5 °C, ils ne sont pas aussi tranchés pour les précipitations. **En effet, un tiers des simulations prédisent leur baisse (d'environ 5 %) et les deux tiers prédisent leur hausse (de l'ordre de 5 %, mais aussi jusqu'à plus de 10 %).**

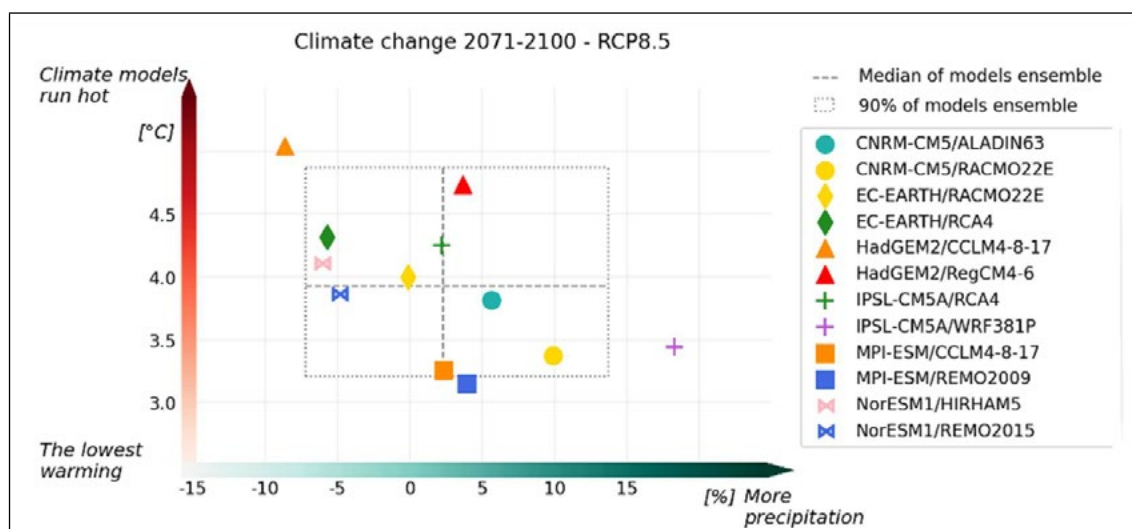


Figure 5 – Résultats des modèles de prévisions climatiques en France pour la température et les précipitations à 2071-2100.⁴ [DRIAS Les futurs du climat]

3 GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

4 Il s'agit du scénario « RCP8.5 », qui prévoit des fortes émissions de GES (cf. Figures 5 et 6).

3. DES EFFETS VARIANT D'UNE ZONE GÉOGRAPHIQUE À L'AUTRE

Le régime hydrologique en France va connaître des évolutions fortes, qui dépendront du scénario climatique (niveau annuel d'émissions de GES) qui se réalisera. **Globalement, une hausse des précipitations annuelles peut être anticipée dans le Nord-Est de la France, tandis que le Sud-Est et le pourtour méditerranéen en général, seront marqués par une baisse de ces précipitations.**

Toutefois, les résultats sont également très variables suivant les saisons et suivant les régions considérées. Les analyses conduites dans le cadre **du projet Explore2⁵** donnent une image plus précise de la situation. Ainsi, la France verra :

► **Une hausse de la pluviométrie en hiver.** À la fin du XXI^{ème} siècle, la hausse des précipitations moyennes hivernales en France se situera autour de +20% (entre +10% et +45%). Elle est plus importante dans le Nord et faible, voire incertaine, dans le Sud. La variabilité d'une année à l'autre reste forte : des hivers secs ou très humides sont toujours possibles.

► **Une diminution des précipitations en été.** Cette diminution est particulièrement prononcée dans le Sud-Ouest. À l'échelle de la France elles pourraient atteindre près de -25% (entre -50% et +5%). La variabilité des cumuls estivaux est importante d'une année à l'autre : des étés très secs ou humides sont toujours possibles.

Explore2 précise également que les évolutions des cumuls annuels de précipitation en France hexagonale présentent d'importantes incertitudes et que les différentes projections s'accordent uniquement sur une hausse des cumuls dans le Nord-Est de la France et sur une baisse des cumuls dans le Sud-Est et près des Pyrénées.

Enfin, en raison d'une saison froide plus courte et d'une perte d'épaisseur du manteau neigeux (limite pluie-neige plus élevée), le régime hydrologique des massifs montagneux est également perturbée (cf. 4. Impact sur les débits des cours d'eau). Les Alpes et les Pyrénées connaissent une diminution des débits estivaux.

La carte ci-dessous, établie dans le cadre du projet Explore2, donne une vision à l'échelle de la France des évolutions anticipées.

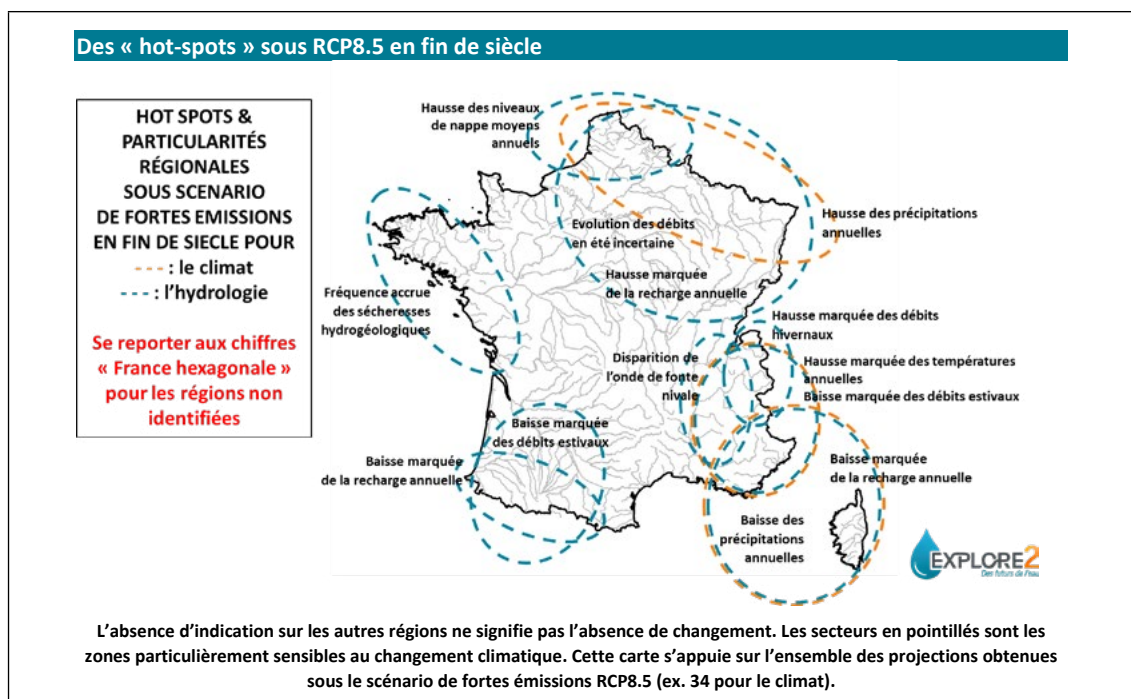


Figure 6 – Résumé des principales tendances climatiques et hydrologiques en France à la fin du siècle sous le scénario de fortes émissions RCP8.5 [Explore2, 2024]

5 Le projet Explore2, porté par l'INRAE et l'Office International de l'eau (OIEau) a pour objectif d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des publications du GIEC, mais aussi d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau. Pour aller plus loin : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

Les projections d'Explore2 sont également disponibles sur la plateforme DRIAS-EAU⁶, où elles sont restituées sur les stations hydrologiques existantes, ce qui présente l'avantage de disposer ainsi d'une spatialisation des résultats correspondant aux différents cours d'eau français.

4. IMPACT SUR LES DÉBITS DES COURS D'EAU

Dans le contexte explicité ci-dessus concernant les précipitations, un premier phénomène va influencer fortement sur les débits des cours d'eau : **l'évapotranspiration**. L'évapotranspiration désigne la part des précipitations qui retourne directement à l'atmosphère par évaporation au niveau des sols et des surfaces d'eau, ainsi que par transpiration de la végétation. Des températures plus élevées conduisent à une augmentation tant de l'évaporation que de la transpiration, donc de l'évapotranspiration. Ainsi, pour un volume de précipitations (pluies) identique, une évapotranspiration plus intense va induire **une baisse de la quantité d'eau « disponible » pour l'alimentation des nappes et des cours d'eau**. L'effet de ce phénomène sera particulièrement sensible en été et va contribuer à amplifier l'effet de la baisse des précipitations estivales sur les débits.

La prévision des débits en montagne nécessite quant à elle de prendre également en compte d'autres phénomènes, qui vont être soit modifiés, soit amplifiés par le changement climatique. C'est le cas en particulier de **la fonte des glaciers**, qui s'accélère et contribue à augmenter les débits de certains cours d'eau pour décroître à terme avec la disparition progressive des glaciers.

En synthèse, les études prospectives concluent que le débit moyen annuel des cours d'eau reste globalement stable sur la majeure partie de la France, mais diminue dans le Sud-Ouest. En revanche, les modélisations prévoient une baisse des débits d'été⁷, avec des niveaux bas sur de plus longues durées, une hausse du nombre de cours d'eau en assec⁸ en période estivale et des débits de crue plus élevés et moins prévisibles au cours de l'année⁹.



Cascades et centrale hydroélectrique des Pertes de l'Ain à Bourg-de-Sirod (Jura).

6 DRIAS-eau, «Des futurs de l'eau» [consulté le 24 octobre 2024].

7 Période de faible débit d'un cours d'eau.

8 Assèchement temporaire d'un cours d'eau.

9 Source : Données Explore2.

La Figure 7 ci-dessous présente le cas modélisé de la rivière de l'Arve (73), affluent du Rhône : une augmentation constante du débit moyen annuel est attendue jusque dans les années 2040, avant que celui-ci ne décroisse progressivement pour revenir à un niveau proche de celui du début des années 1980.

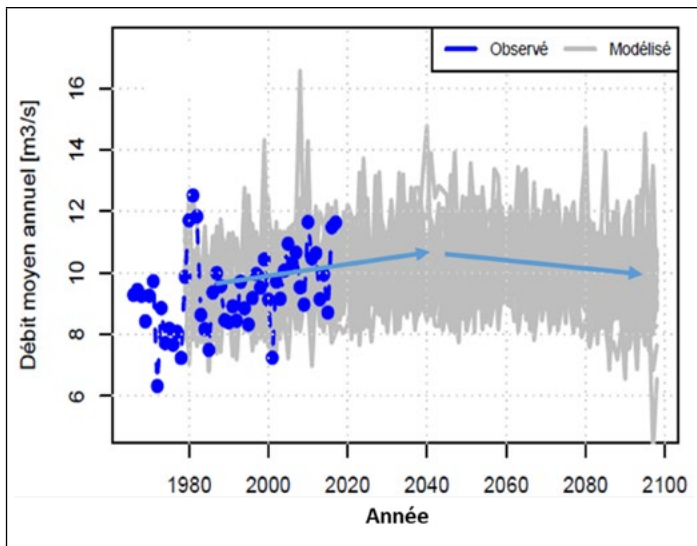


Figure 7 - Influence de la fonte glaciaire sur l'évolution du débit de l'Arve [EDF]

Toujours en zone de montagne, un second phénomène va significativement modifier le profil annuel du débit des cours d'eau. Il s'agit de **la fonte de la neige** (dite fonte nivale), qui débute plus tôt sous l'influence de températures plus élevées. Les pics de débit ont lieu plus tôt dans l'année et sont également plus faibles sous un effet d'étalement, comme le montre la Figure 8 sur le cas de l'Arly (73) suivante :

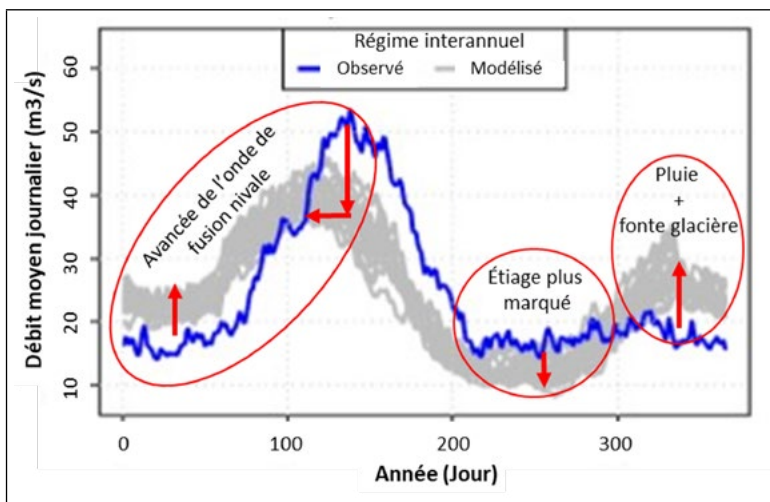


Figure 8 - Préviction de l'évolution du débit de l'Arly à l'horizon 2100 [EDF]

Les impacts du changement climatique sur le débit des cours d'eau sont donc multiples, variables dans l'espace et dans le temps.

5. DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ÉGALEMENT SUR LA BIODIVERSITÉ DES COURS D'EAU

Le changement climatique constitue aujourd'hui la 3^{ème} cause d'érosion de la biodiversité¹⁰, après les changements d'usages des milieux terrestres et marins et l'exploitation directe des organismes vivants, mais avant les pollutions induites par les activités humaines.

Les impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques ont des répercussions sur la biodiversité qu'ils abritent : le cycle de vie des espèces ainsi que leur mode de vie (phase de développement, reproduction...) sont perturbés¹¹.

► En accentuant **le risque de sécheresse**, le changement climatique peut conduire à **l'assèchement partiel voire total de certains cours d'eau**, induisant une mortalité importante sur différentes espèces (poissons, végétation aquatique, etc.) et à **la concentration des pollutions** modifiant l'équilibre biologique et physico-chimique de l'eau.

► À l'inverse, dans le cas de **l'intensification et de la multiplication des épisodes de pluies extrêmes**, le changement climatique augmente **le risque de crue**, qui constitue une forte perturbation pour les écosystèmes aquatiques. Les fortes crues et inondations provoquent ainsi des déplacements de la faune aquatique et une hausse de la mortalité, conduisent à une modification des habitats, de la qualité de l'eau (pollution) ou encore de la disponibilité en dioxygène. Les milieux affectés peuvent mettre plusieurs années à retrouver leur équilibre.



Centrale hydroélectrique du Moulin de Saint-Thibéry sur l'Hérault (Hérault).

10 IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

11 Pour aller plus loin : Eau France. Les impacts du changement climatique sur l'eau. <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-du-changement-climatique-sur-leau>

3. L'HYDROÉLECTRICITÉ, UNE FILIÈRE RÉSILIENTE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1. L'HYDROÉLECTRICITÉ, UNE PRODUCTION SAISONNALISÉE

L'hydroélectricité se caractérise par un profil-type annuel de production marqué par une saisonnalité significative. La Figure 9 ci-dessous montre le profil type de la production d'électricité globale des centrales hydrauliques suivant les mois de l'année : un pic de production à partir de novembre et ce jusqu'à la fin de l'hiver, quand la consommation d'électricité est la plus forte, puis une diminution progressive jusqu'au début de l'automne. Malgré les variabilités interannuelles, ce profil de production est identique d'année en année, entre autres du fait de la capacité de stockage des grands barrages et de leur gestion par les hydro-électriciens. **Ce profil de production répond au régime de consommation actuel des Français** (cf. Figure 10).

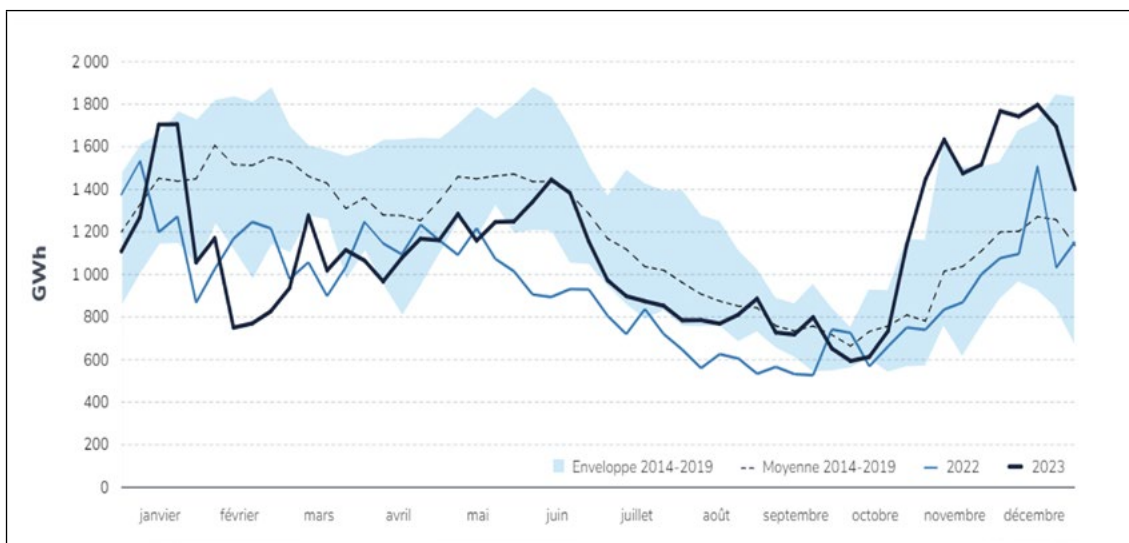


Figure 9 – Évolution de la production hebdomadaire des centrales hydrauliques au cours de l'année 2023 et comparaison avec les années précédentes [RTE, 2023]

LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE FRANÇAISE, UNE CONSOMMATION SAISONNIÈRE

La consommation électrique française se caractérise par une forte saisonnalité. Le schéma ci-dessous représente la consommation hebdomadaire moyenne d'électricité. Les mois de janvier, février, novembre et décembre sont les mois où la consommation est la plus élevée, notamment en raison du recours aux moyens de chauffage électrique par les ménages. À l'inverse, les mois estivaux se caractérisent par une consommation d'électricité plus faible. En d'autres termes, **les centrales hydrauliques produisent le plus d'électricité pendant les périodes de fortes consommations.**

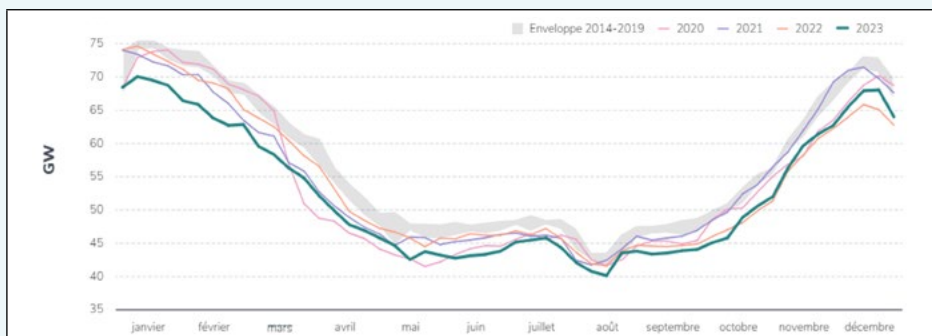


Figure 10 – Consommation hebdomadaire moyenne corrigée des aléas météorologiques (sur les jours ouvrés uniquement) [RTE, Bilan électrique 2023]

2. COMMENT EXPLIQUER LA BAISSÉ DE PRODUCTION DE CES DERNIÈRES ANNÉES ?

La chronique de la production hydroélectrique des 30 dernières années (cf. Figure 11) montre une forte variabilité interannuelle de celle-ci, de l'ordre de 20 % autour de la valeur moyenne.

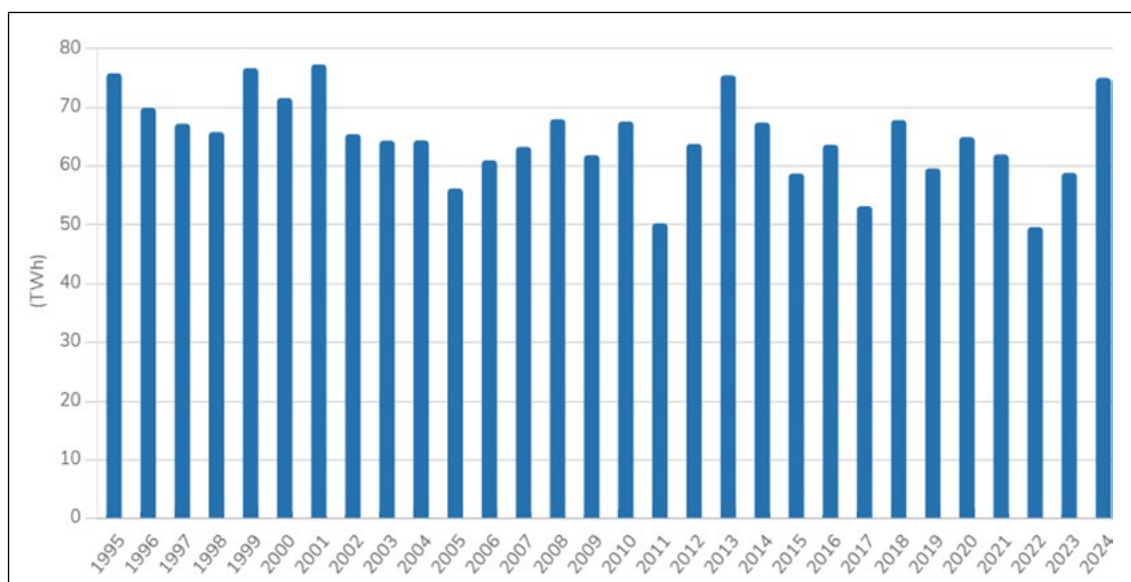


Figure 11 – Évolution de la production hydraulique en France entre 1995 et 2024 [RTE, 2025]

Par ailleurs, si l'analyse indique une baisse tendancielle significative de la production à l'échelle de l'ensemble des 30 années passées, une analyse plus fine montre que cette baisse a très majoritairement eu lieu sur la 1^{ère} décennie de la chronique et qu'elle s'est ensuite très fortement réduite. La production hydroélectrique ne montre d'ailleurs pas d'évolution tendancielle sur la dernière décennie.

Enfin, il convient de noter que **l'évolution du cadre réglementaire** (en particulier l'augmentation du débit réservé à partir de 2006¹² ou le cadrage des continuités écologiques en 2014¹³), **de même que le développement des usages de l'eau sont les facteurs déterminants expliquant les baisses de production constatées**. Ainsi, la filière estime que l'effet des seules évolutions réglementaires représente une perte de l'ordre de 2 % de la production hydroélectrique annuelle totale.

L'HYDROÉLECTRICITÉ, UNE PRODUCTION D'ÉNERGIE FLEXIBLE ET PRÉVISIBLE¹⁴

L'hydroélectricité joue un rôle crucial dans la flexibilité¹⁵ du système électrique, en particulier face aux besoins croissants de régulation et d'adaptation des réseaux. L'un des principaux atouts de l'hydroélectricité réside dans sa capacité à moduler rapidement sa production, essentiellement grâce aux installations avec réservoirs et aux stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), qui peuvent répondre aux variations de la demande en quelques minutes. **Même la production au fil de l'eau, qui semble a priori moins flexible, apporte une contribution essentielle au système électrique grâce à sa prévisibilité et sa régularité**. Elle permet de stabiliser le réseau lors des fluctuations de production ou de consommation. Ce rôle devient d'autant plus stratégique dans un mix énergétique comportant de plus en plus de sources de production variables.

3. LES AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES CONTINUERONT À PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ

Pour appréhender les évolutions de la production hydroélectrique sous l'influence du changement climatique, il faut également savoir que les centrales ne turbinent pas les très faibles débits, d'une part parce que leurs turbines doivent disposer d'un débit minimum pour fonctionner, mais également parce qu'elles doivent laisser passer un débit minimum dans les cours d'eau pour permettre la vie aquatique (le débit réservé). Ainsi, de nombreuses centrales sont à l'arrêt durant la période estivale.

Dans ces conditions, **la baisse des débits d'étiage, dont nous avons vu qu'elle est le marqueur le plus important du changement climatique, a donc une incidence relativement faible sur la production hydroélectrique**.

Ainsi, dans les régions de plaine et du Sud de la France, où les débits vont baisser toute l'année, quelle que soit la saison, la production hydroélectrique va baisser, mais dans une proportion nettement moindre que la baisse des débits.

En montagne, la production va augmenter sur environ deux décennies du fait de la fonte glaciaire, avant de décroître avec la disparition progressive des glaciers (étant convenu que chaque cas présente des particularités).

Ainsi, si la production hydroélectrique devrait baisser dans le futur, cette baisse devrait être relativement limitée. Cette tendance baissière sera observable sur le long terme, tout en présentant de fortes variations interannuelles (et régionales) comme actuellement, certaines années étant plus humides et d'autres plus sèches.

À titre d'exemple, EDF estime qu'à l'échelle de son parc hydroélectrique, **la perte de production moyenne due au changement climatique sur la prochaine décennie sera seulement de l'ordre de 2 % par rapport à la situation actuelle (soit une perte moyenne de 0,2 % par an)**.

12 Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques.

13 Décret n° 2014-45 du 20 janvier 2014 portant adoption des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques.

14 RTE. Futurs énergétiques 2050, 2021. RTE. Bilan Prévisionnel 2023-2035, 2024.

15 Capacité à moduler volontairement sa production électrique, à la hausse ou à la baisse, afin d'éviter un déséquilibre sur le réseau électrique.

4. DES LEVIERS D'ADAPTATION À L'ÉVOLUTION DE L'HYDROLOGIE DES COURS D'EAU

L'hydroélectricité est une filière résiliente face aux effets du changement climatique. Des outils existent déjà pour accompagner les acteurs dans l'adaptation de leurs ouvrages¹⁶.

Plusieurs types d'adaptation sont possibles et réalisés sur les installations existantes :

- ▶ Augmenter la flexibilité de fonctionnement des turbines ou ajouter des groupes de plus faible puissance, pour turbiner des débits plus faibles à l'étiage ;
- ▶ Augmenter les capacités des retenues pour stocker les précipitations d'évènements extrêmes plus marqués : des sites peuvent se prêter à une réhausse des barrages, ou à une augmentation de leur fréquence de remplissage par le biais d'un pompage de l'eau ;
- ▶ Améliorer le rendement (rapport entre l'énergie électrique produite et l'énergie de l'eau disponible) des installations ;
- ▶ Suréquiper les sites dont le potentiel n'est pas entièrement exploité (hauteur de chute et/ou débit).

Ces actions permettront **d'améliorer la production des sites existants**, et donc de limiter les effets du changement climatique. La construction de nouvelles centrales pleinement adaptées aux nouvelles conditions climatiques participera également au maintien du niveau de production de la filière.

5. HYDROÉLECTRICITÉ, BIODIVERSITÉ ET GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU SONT ÉTROITEMENT LIÉES

Le développement de la filière hydroélectrique contribue à la lutte contre le changement climatique, qui constitue l'un des principaux facteurs d'effondrement de la biodiversité¹⁷. Ainsi, l'hydroélectricité, même si elle peut présenter des impacts, joue également un rôle dans la préservation de la biodiversité.

Par ailleurs, de nombreux aménagements hydroélectriques contribuent à mitiger les effets du changement climatique, en permettant de lisser les fortes variations de débits liées aux événements extrêmes (inondations, sécheresses) et ainsi de gérer les flux d'eau en aval des installations en fonction des enjeux et des besoins.

L'hydroélectricité est un outil majeur de gestion de l'eau face aux conséquences du changement climatique.

En période de crue, les aménagements hydroélectriques peuvent stocker de l'eau pour réduire les débits à l'aval et contribuer ainsi à limiter les impacts sur les biens et les personnes. Suivant les vallées et les équipements présents, ces effets peuvent être très significatifs et ils prendront d'autant plus d'importance avec l'augmentation potentielle des débits extrêmes sous l'effet du changement climatique.

En stockant de l'eau lorsque les apports sont importants, les retenues hydroélectriques permettent de la restituer en période de sécheresse et d'assurer ainsi un débit minimum dans les cours d'eau. Ceci est déterminant pour maintenir la biodiversité, mais également pour assurer la continuité d'usages anthropiques importants comme l'alimentation en eau potable, l'irrigation, le refroidissement de sites industriels ou encore les activités de loisirs.

Toujours en période d'étiage, lorsque les rivières s'échauffent fortement, des lâchers d'eaux depuis les réservoirs peuvent contribuer à faire baisser la thermie des cours d'eau et à préserver ainsi les écosystèmes.

Enfin, les aménagements (canaux, retenues ou réservoirs) peuvent servir de refuge à la faune en période d'extrême sécheresse estivale, ainsi qu'il a par exemple été constaté en 2022, année durant laquelle de très nombreux cours d'eau ont été totalement à sec. En parallèle, la filière hydroélectrique

¹⁶ International Hydropower Association, 2019. Hydropower Sector Climate Resilience Guide. London, United Kingdom. Disponible sur : www.hydropower.org

¹⁷ IPBES (2019) : Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

optimise ses installations en mettant en place des mesures favorables à la biodiversité (ex. passes à poissons, amélioration de la qualité de l'eau).

Ces différents services que peuvent rendre les aménagements hydroélectriques au bénéfice des autres usages de l'eau peuvent néanmoins être antagonistes avec leur finalité énergétique première et peser sur ce qui fait une part importante de leur valeur pour le système électrique français, à savoir leur flexibilité.

En effet, le lissage des crues implique des retenues « creusées » en périodes de forts apports et le soutien d'étiage nécessite de déstocker de l'eau en été. Or, la valeur de l'hydroélectricité pour le système électrique est de disposer de stocks importants (donc des retenues pleines) pour produire lors des pointes de consommation, généralement observées en hiver, évitant ainsi d'appeler des moyens de production thermiques fossiles, ce qui conduit schématiquement à avoir des retenues pleines en début d'hiver et vides en début d'été.

Enfin, une part significative de l'intérêt de l'hydroélectricité pour le système électrique est de pouvoir démarrer très vite, pour injecter des centaines de MW en quelques minutes sur le réseau afin de couvrir des aléas (incidents sur le réseau lui-même ou sur d'autres moyens de production, variation non anticipée de la production d'autres ENR...). Il est donc indispensable de maintenir cette flexibilité de l'hydroélectricité, sachant que les besoins en matière de flexibilité croissent^{18,19}, notamment du fait de l'augmentation de la part des énergies renouvelables variables dans le mix énergétique français.

Ainsi, si la plupart des aménagements hydroélectriques permettent des usages multiples de l'eau, autres que la production d'électricité, **une approche intégrée des besoins et des usages est nécessaire** pour assurer un bon équilibre dans la gestion de l'eau au regard de tous ces enjeux (climatiques, environnementaux, énergétiques, agricoles, industriels...)²⁰.

L'ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE A ENCORE DU POTENTIEL !

La Stratégie française énergie climat (SFEC) propose de développer à l'horizon 2035 les capacités de la filière à hauteur de 2 800 MW de puissance installée par rapport à 2022.

Si ces développements se feront pour une bonne part sur les installations existantes, il ne faut pas négliger le potentiel d'installations nouvelles. Ainsi, dans le cadre des travaux de planification énergétique, le Ministère de la transition énergétique a actualisé en 2022 l'étude sur le potentiel hydroélectrique des cours d'eau français et identifié près de 11 TWh supplémentaires, soit l'équivalent de la consommation de 5 millions de Français, qui pourraient être produits grâce à la construction de nouvelles centrales hydroélectriques.

Enfin, la problématique générale de disponibilité de la ressource en eau doit conduire à réfléchir au développement de projets multi-usages, combinant la production d'électricité et d'autres usages, tels que l'alimentation en eau potable, le soutien d'étiage, etc. C'est d'ailleurs une piste de réflexion identifiée dans la SFEC.

18 Responsabilité & Environnement - N° 112 - Octobre 2023 - L'eau et le changement climatique (annales.org)

19 https://cdn.eurelectric.org/media/7085/2024-05-15_4th-hydropower-short-story_flexibility_final-h-3022E739.pdf?_gl=1*a42ew6*_ga*Mjc4NzEzNjg4LjE3MDE0MTY3MjY.*_ga_CB82F90MQ6*MTcxODExMDEwOC43LjEuMTcxODExMDY2OS41MCAwLjA

20 JRC Publications Repository - Clean Energy Technology Observatory: Hydropower and Pumped Hydropower Storage in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets (europa.eu)

CONCLUSION : FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, QUELS ENJEUX POUR LA FILIÈRE HYDROÉLECTRIQUE ?

Dans une perspective de souveraineté énergétique, l'hydroélectricité est une énergie renouvelable d'avenir indispensable au mix électrique grâce à ses atouts en termes de flexibilité et de capacité de stockage²¹.

Les effets du changement climatique sur les régimes hydrologiques des cours d'eau et la production hydroélectrique sont de mieux en mieux connus et appréhendés.

Ils se traduisent notamment par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes (inondations, sécheresses) et une évolution du régime hydrologique à l'échelle infra-annuelle.

Pour l'hydroélectricité, les perspectives projettent une relative stabilité de la production annuelle moyenne sur la prochaine décennie (en très légère baisse à parc constant), avec des effets spatio-temporels très différenciés.

Les acteurs de la filière hydroélectrique sont coutumiers des variations hydrologiques et des phénomènes de crues ou de sécheresse, même si leur fréquence passée était moindre que de nos jours. Forte de cette expérience, la filière a développé un savoir-faire en matière de prévision hydro-météorologique et de gestion du multi-usage de l'eau. Cela lui donne une réelle capacité à s'adapter au changement climatique et à en atténuer les effets sur les milieux (soutien d'étiage) et les populations riveraines des aménagements (mitigation des crues du fait des capacités de stockage des réservoirs), renforçant ainsi la résilience des territoires face aux aléas climatiques.

Filière historique, l'hydroélectricité continue ainsi à innover et à se développer pour contribuer à l'indispensable équilibre entre atténuation du changement climatique par la production d'énergie renouvelable et adaptation au changement climatique par une gestion de l'eau garante des usages multiples de cette ressource.

21 RTE. Futurs énergétiques 2050, 2021. RTE. Bilan Prévisionnel 2023-2035, 2024.

REMERCIEMENTS ET CRÉDITS

Remerciements à :

Jean-Charles Galland, Président de la Commission hydroélectricité
du Syndicat des énergies renouvelables (SER)
Laurent Bellet (EDF Hydro)
Cécile Bellot (France Hydroélectricité)
Eric Divet (Compagnie Nationale du Rhône)
Loïc Duffar (Société du Canal de Provence)
Amélie Faivre (Engie)
Maxime Ferre (Union Française de l'Électricité)
Karen Guemain (Compagnie Nationale du Rhône)
Jean-Marc Lévy (France Hydroélectricité)
Luc Tabary (EDF Hydro)

Directeur de la publication :

Jules Nyssen

Rédaction et coordination :

Agathe Amin
Maëlie Benistand-Hector
Julie Fraix
Clémence Jeannel
Cynthia Kari

Conception et réalisation :

Alexandre Félix / **THINKUP**®

Crédits Photos :

Couverture : Centrale hydroélectrique de la Chute de Belley,
entre les communes de Brens et Virignin (Ain) © Camille Moirenc, CNR
Pages intérieures : AdobeStock



40-42, rue La Boétie, 75008 PARIS
T. 01 48 78 05 60 · contact@enr.fr
www.enr.fr · www.ser-evenements.com

[in](#) Syndicat des énergies renouvelables · [ig](#) les_energies_renouvelables