



Clamor Terrae
La voix de la Terre



**Hydroélectricité
dans les Pyrénées :
un avenir sous
contrainte écologique**

**Placer les écosystèmes au cœur
de la transition énergétique**

**Retrouver l'infographie associée à
cette note sur notre site**



www.clamor-terrae.org

Synthèse

La présente note d'analyse alerte sur l'ambivalence entre nécessité de développement des énergies renouvelables, ici l'hydroélectricité non pilotable et pressions inévitables que de tels projets exercent sur les écosystèmes. Nous questionnons la pertinence de nouvelles installations hydroélectriques, considérant leur vulnérabilité grandissante face aux évènements climatiques extrêmes et les incertitudes relatives à leur productivité réelle, face à la baisse déjà constatée des débits des cours d'eau. Autant de facteurs d'incertitudes à mettre en regard des effets négatifs tangibles de ces projets sur des milieux naturels déjà fragilisés.

Nos inquiétudes portent à la fois sur la viabilité de l'écosystème aquatique (les débits réservés annoncés garantissent-ils les fonctions biologiques minimales du cours d'eau ?) et la pertinence du projet énergétique (le niveau d'atteinte au milieu naturel est-il réellement justifiable au regard de l'intensité énergétique du projet ?). De plus nous soulignons la faiblesse chronique des données utilisées par les hydroélectriciens pour appréhender le milieu naturel dans lequel s'insère leur activité, puis pour piloter leurs installations. Ce constat devient d'autant moins acceptable à l'heure où les régimes climatiques et hydrologiques vont être profondément bouleversés.

L'objet de la diffusion de cette note est de fournir une information fiable et synthétique aux citoyens et acteurs de nos territoires, afin de porter à leur connaissance un sujet d'une brûlante actualité. Notre intention est de stimuler le débat autour d'un enjeu concret, interrogeant notre capacité à mener conjointement transition énergétique et écologique. La toile de fond de notre réflexion demeure l'absolue nécessité de réduire notre consommation énergétique globale, indépendamment des sources de production. Cette descente énergétique réclame de repenser en profondeur notre planification et notre gouvernance énergétique, afin qu'elle soit la plus anticipée et juste possible.

La Fondation Clamor Terrae se propose d'accompagner tout acteur du secteur hydroélectrique dans ses démarches d'acquisition de connaissances sur les débits ou le milieu naturel et de diminution de son impact environnemental, ainsi que toute démarche collective s'inscrivant dans la dynamique des énergies citoyennes.

Résumé

1. Un contexte hydrologique en déclin accéléré

Les projections climatiques convergent vers une diminution importante des débits des cours d'eau pyrénéens d'ici la fin du siècle. Cette réduction structurelle de la ressource entraîne mécaniquement une contraction du gisement énergétique disponible. Dans ces conditions le potentiel de développement hydroélectrique devient minime, voire négatif. Les nouveaux apports exploitables ne compenseraient pas la baisse progressive du productible des installations existantes. Le changement climatique n'affecte donc pas seulement la production, mais remet en cause la pertinence des projets d'accroissement du parc hydraulique.

2. Un réseau hydroélectrique déjà saturé

L'essentiel du potentiel énergétique brut de l'hydroélectricité est déjà développé. De ce fait :

- De très nombreux cours d'eau sont déjà altérés par des installations hydroélectriques.
- Cette saturation d'équipements limite les possibilités d'aménagement de nouveaux sites.

Dans ce contexte très dégradé, tout nouvel aménagement provoquerait des perturbations écologiques préoccupantes, car touchant aux derniers hydrosystèmes non perturbés par cette activité économique.

3. Une vulnérabilité accrue face aux événements extrêmes

La vulnérabilité des installations hydroélectriques va s'accroître, face à l'augmentation des événements climatiques extrêmes. Ces aléas climatiques augmentent les risques industriels, les coûts de maintenance, mais aussi les tensions entre usages (eau potable, irrigation, milieux naturels).

4. Des données insuffisantes et une gouvernance limitée

Les connaissances actualisées et ciblées sur les cours d'eau équipés manquent cruellement, notamment sur la question des débits. Leur définition est pourtant déterminante pour l'appréciation des caractéristiques écologiques des cours d'eau et la définition des volumes prélevables. Nombre d'installations fonctionnent sur la base de données datées ou extrapolées à partir de bassins versants voisins.

De plus il n'existe pas de données fiables, partagées et publiques sur les débits réellement prélevés par les centrales. Aucune obligation de transparence n'incombe aux exploitants quant aux moyens déployés pour assurer le suivi et le contrôle des débits prélevés.

Cette faiblesse de la connaissance empêche une gestion fine et transparente des installations. Elle réduit également la capacité des territoires à anticiper les tensions, lesquelles vont s'intensifier avec la réduction de la ressource disponible.

À cela s'ajoute un déficit démocratique marqué : la gouvernance actuelle exclut nombre des parties prenantes, notamment les acteurs du tourisme, les usagers des loisirs de nature, les organisations environnementales ou les pêcheurs. L'eau est un bien commun sa gestion doit être partagée.

5. Orientation stratégique : optimiser l'existant et diversifier vers d'autres renouvelables

Sur la base de ce diagnostic, la stratégie la plus robuste — sur les plans économique, technique, touristique et écologique — consiste à :

- Renoncer à toute nouvelle installation hydroélectrique ;
- Renforcer la connaissance des débits et le pilotage des installations, afin d'adapter le fonctionnement aux nouvelles contraintes climatiques ;
- Optimiser les ouvrages existants, car ce levier constitue le seul gisement pertinent à la fois énergétique et écologique ;
- Miser sur le photovoltaïque intégré (toitures, parkings, surfaces artificialisées), comme alternative crédible au développement de nouvelles installations hydroélectriques. Il présente un potentiel de développement supérieur et des dommages aux milieux naturels nettement inférieurs ;
- Opérer une évolution profonde de la gouvernance, pour une réappropriation collective des enjeux énergétiques et de la gestion de l'eau, en impliquant l'ensemble des acteurs du territoire pour assurer une gestion durable d'un bien commun essentiel.



La fondation **Clamor Terrae** a pour vocation de lutter contre l'effondrement de la biodiversité et pour la résilience écologique des territoires. Nous agissons en priorité sur la chaîne des Pyrénées et souhaitons démontrer par l'exemple qu'une cohabitation apaisée avec le vivant est non seulement possible, mais incontournable. Nous défendons une écologie de la proposition, reposant sur des données scientifiques et sur le dialogue entre toutes les parties prenantes d'un territoire

Sommaire

1. Introduction	7
2. Les données mobilisées	10
3. Hydroélectricité : une énergie renouvelable sous contrainte écologique	12
3.1 Les atouts de la première énergie renouvelable mondiale	13
3.2 Un potentiel hydroélectrique largement exploité dans les Pyrénées.....	16
3.3 Une énergie renouvelable aux impacts significatifs sur les écosystèmes aquatiques	18
3.4 Diminution des débits et variabilité hydrologique : analyses des modélisations climatiques pour les Pyrénées.....	21
3.5 Une vulnérabilité accrue : l'hydroélectricité sous contrainte climatique.....	24
3.6 Des programmations énergétiques qui attendent peu du potentiel hydroélectrique	24
3.7 L'optimisation des installations existantes : un réel gisement énergétique.....	25
4. Hydroélectricité et biodiversité, les conditions de la résilience : 4 propositions pour réaligner transition énergétique et écologique	30
4.1 L'optimisation des ouvrages existants est intéressante sur les plans énergétique et écologique et doit concentrer les investissements du secteur.....	31
4.2 Les contraintes climatiques imposent un renforcement de l'exigence en matière de connaissance des débits et de pilotage des installations.....	32
4.3 Les nouvelles installations hydroélectriques doivent rester exceptionnelles et soumises à un haut niveau d'exigence écologique.....	34
4.4 La réappropriation citoyenne des enjeux énergétiques est déterminante.....	36

Introduction

Jamais l'intensité des pressions humaines exercées sur le système terre n'a été aussi forte. L'exploitation et la transformation des ressources naturelles a triplé en volume en 50 ans et continue inexorablement de croître à raison de 2,3% par an¹. Dans son sillage, la consommation d'énergie, la production de déchets (dont les gaz à effets de serre) l'émission de polluants, ainsi que l'effondrement de la biodiversité s'accélèrent. Les trajectoires fixées par nos grands accords internationaux en matière de climat et de biodiversité sont à présent inatteignables².

A ce constat s'ajoutent à présent les effets nettement perceptibles du changement climatique. La multiplication des événements climatiques extrêmes, l'augmentation des températures moyennes, la modification du régime des précipitations ou l'augmentation du niveau des mers ont déjà des effets concrets sur la vie de milliards d'êtres humains et constituent une menace supplémentaire sur les grands équilibres écologiques.

Dans ce contexte il est plus que jamais nécessaire de renouveler en profondeur notre grille d'analyse de ce qui constitue des « solutions » à la crise écologique. Force est de constater que jusqu'à présent, nombre des

solutions avancées manquaient de hauteur de vue et contribuaient assez largement au *statut quo*, sinon à aggraver le problème qu'elles entendaient résoudre.

La production énergétique n'échappe pas à ce constat. A l'échelle mondiale, le développement des renouvelables – au demeurant tout à fait bienvenus – s'ajoute à la croissance des flux d'énergies d'origines fossiles, repoussant toujours la question de la descente énergétique à l'innovation suivante.

La France n'est pas en reste, avec sa Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE). Il s'agit d'un outil de pilotage de la stratégie énergétique, définissant les priorités d'actions en matière de volume de production, de composition du mix énergétique et de décarbonation.

Cependant ce travail de programmation présente deux insuffisances majeures. D'une part il n'intègre que marginalement les effets du changement climatique dans les orientations qu'il préconise. Or les infrastructures énergétiques ont une durée de vie qui les exposera nécessairement à la nouvelle donne climatique, déjà à l'œuvre, mais dont les effets s'aggraveront au fil du

¹ <https://www.unep.org/resources/Global-Resource-Outlook-2024>

² Pacte mondial réseau France (2025). Note d'expertise. COP30 De Paris à Belém, rehausser l'ambition climatique.

Page 2 « La mise en œuvre de l'Accord de Paris reste donc

en deçà des objectifs fixés, avec notamment une hausse des émissions de gaz à effet de serre de 1,3% par rapport à 2022, alors qu'une baisse de 7,5% par an d'ici 2035 est nécessaire pour limiter le réchauffement à 1,5°C »

siècle. D'autre part ces orientations peinent à intégrer d'autres paramètres d'analyse que les seuls enjeux énergétiques et laissent notamment de côté les enjeux liés à la préservation du vivant. Nous disposons donc de documents d'orientations qui proposent des scénarios de décarbonation de l'énergie antagonistes à la préservation de la biodiversité.

Or biodiversité et climat sont deux faces d'un même problème, qu'il serait illusoire de vouloir résoudre séparément. La plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) préconise de mener de front ces combats et de travailler à la création d'une économie qui ne dépende pas de destruction du capital vivant pour maintenir son fragile équilibre. C'est dans cette perspective d'analyse multicritères que doivent se déployer les énergies renouvelables. Les objectifs de production d'énergies renouvelables et de préservation de la biodiversité ne doivent pas être en contradiction. Comme le dit le conseil national de la protection de la nature (CNPN), « concilier ces deux problématiques majeures du XXI^e siècle constitue donc un enjeu crucial autant qu'un défi considérable. »³.

L'hydroélectricité non pilotable qui fait l'objet de ce travail, ne doit évidemment pas échapper à cette démarche. Pourtant le déploiement de nombreux projets reste conditionné à l'obtention de dérogations, dont la nature devrait nous interroger sur les

implications réelles de ces d'installations. En effet la dérogation au cœur des mécanismes rendant possible la réalisation de nombre de projets hydroélectriques est la « dérogation espèces protégées ». En clair, contourner par une dérogation l'interdiction établie par le droit de détruire des espèces animales ou végétales. De plus les énergies renouvelables bénéficient aujourd'hui de grandes facilités dans l'obtention de cette dérogation, à travers les critères de définition de raison impérative d'intérêt public majeur⁴, qui rend quasi automatique son obtention.

Il s'agit ici d'un cas d'école des arbitrages à opérer en matière de transition écologique : sur quels critères est arrêtée la notion d'intérêt public majeur ? Les enjeux de décarbonation des moyens de production énergétique et de préservation de l'intégrité des écosystèmes sont-ils réellement alignés ? Or en l'état ces arbitrages sont nettement déséquilibrés et trop souvent défavorables au vivant. Ces réflexions sont en partie développées dans le présent travail.

L'activité hydroélectrique induit de fortes perturbations du milieu naturel. En témoigne le cadre réglementaire exigeant auquel elle est soumise. Les projets liés à l'eau doivent répondre à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et à la Directive Habitats au niveau européen ; Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) au niveau national. De plus les installations de plus de 4,5MW sont soumises au régime de la concession⁵ et ceux de moins de 4,5MW

³ CNPN (2024). Autosaisie du CNPN relative à la politique de déploiement du photovoltaïque et ses impacts sur la biodiversité.

⁴ Décret n° 2023-1366 du 28 décembre 2023 pris pour l'application, sur le territoire métropolitain continental, de l'article L. 211-2-1 du code de l'énergie et de l'article 12 de la loi n° 2023-491 du 22 juin 2023

⁵ Sous ce régime, les installations appartiennent à l'état qui en délègue la construction et l'exploitation à un concessionnaire sur la base d'un cahier des charges. La mise en concurrence incite à être performant sur les plans économiques et environnementaux mais peut retarder des investissements.

soumises à une autorisation environnementale « loi sur l'eau »⁶.

L'application de ce cadre est censée garantir l'intégrité des écosystèmes de la phase chantier à l'exploitation de l'infrastructure. Cependant nous relevons dans ce dispositif des failles importantes. Tout d'abord concernant l'évaluation des débits réservés. Il s'agit d'un débit minimum permettant d'assurer un certain équilibre biologique dans le tronçon du cours d'eau court-circuité par l'installation hydroélectrique et participant au maintien de la continuité écologique. Les données fondant la détermination de ces débits réservés sont dans bien des cas anciennes ou non issues de relevés *in situ* et intègrent très peu les effets du changement climatique. Il en sera largement question dans cette note.

Enfin ce cadre réglementaire n'impose pas aux projets de développement de nouvelles installations des exigences à la hauteur de l'enjeu : un déficit de prise en compte des effets du changement climatique, ou des perspectives de production énergétique largement amoindries par la baisse annoncée des débits des cours d'eau ne sont pas systématiquement de nature à rejeter un projet. Dans ce cadre, de nouveaux projets hydroélectriques continuent pourtant de voir le jour. On ne peut que souligner le haut niveau d'incertitude climatique dans lequel s'insèrent ces projets, ainsi que les dommages supplémentaires causés aux hydrosystèmes, dans un contexte où la biodiversité est toujours plus menacée.

Cette note d'analyse se donne trois ambitions :

- Poser des éléments de diagnostic, mêlant enjeux énergétiques, climatiques et écologiques ;
- Ouvrir et soumettre au débat les questionnements issus de ce diagnostic : Est-il raisonnable d'équiper de nouvelles centrales hydroélectriques des cours d'eau jusque-là préservés ? Les débits seront-ils suffisants et réguliers pour offrir une production énergétique conséquente justifiant les atteintes aux milieux naturels ? Les débits réservés laissés au cours d'eau permettent-ils réellement de maintenir un bon fonctionnement écologique ?
- Formuler des propositions opérationnelles visant à minimiser les impacts de l'hydroélectricité sur les écosystèmes et à assurer sa résilience.

L'hydroélectricité est à la fois un élément du patrimoine pyrénéen et une énergie renouvelable incontournable de la transition écologique. De la même manière qu'elle a constitué le symbole de l'innovation technique et de l'essor industriel des Pyrénées au XIX^{ème} siècle, nous souhaitons aujourd'hui enrichir les réflexions qui la portent, des enjeux de notre temps : sobriété énergétique et matérielle, régénération des écosystèmes et réappropriation par les citoyens des enjeux de production énergétique.

⁶ La nomenclature IOTA, ou nomenclature loi sur l'eau, veille à assurer une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau en imposant une autorisation environnementale aux

opérations susceptibles entre autres de nuire au libre écoulement des eaux, réduire la ressource, porter atteinte à la qualité ou diversité du milieu aquatique. Des seuils déterminent les projets qui y sont soumis.

A scenic mountain landscape featuring a deep blue lake in the foreground, surrounded by rugged, rocky mountains. The mountains are partially covered in green vegetation and patches of snow. The sky is blue with some white clouds.

Les données mobilisées

Ce travail prend appui sur de nombreuses sources bibliographiques, expertes ou universitaires, listées ci-après.

Thématique	Sujet	Source
Caractéristiques de l'hydroélectricité	Généralités	Ministère de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche
	Durabilité et longévité	Code de l'énergie, France Hydroélectricité
	Taux de retour énergétique	Hall et al., Weissbach d. et al., GIEC
	Emission de GES	GIEC
	Hydrologie	France Hydro Electricité, OFB
Chiffres clés	Production	RTE, ORCEO
	Nombre d'installations	DDT65, DREAL Occitanie, AREC Nouvelle-Aquitaine, ORCEO, OPCC
	Planification	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Ministère chargé de l'énergie, PPE, RTE, Negawatt
	Baisse des débits et projections	Région Occitanie, Comité de bassin Adour Garonne, Explore 2070, OPCC, Explore 2, Drias
Impact de l'hydroélectricité	Changement climatique	GIEC, UICN, DREAL Midi-Pyrénées
	Effet sur le milieu	OFB, Baran P. et al., PNA Desman
Solutions	Optimisation	PPE, GIEC, DREAL, DGEC, Ministère de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche, Sage NRG, Ademe, Sabourin M., UICN, FNE, SHEM, Energie partagée
	Acceptabilité	Energie partagée



Hydroélectricité : une
énergie renouvelable
sous contrainte
écologique

3.1 Les atouts de la première énergie renouvelable mondiale

L'hydroélectricité est la première source d'énergie renouvelable en France et la seconde source d'électricité après le nucléaire. En 2024, elle a produit 75,1 TWh, soit 13,9% de la production électrique française⁷.

La production d'hydroélectricité repose sur plusieurs types d'installations⁸:

- Installations « au fil de l'eau » ou de basse chute, qui turbinent en continu tout ou partie du débit des cours d'eau, mais ne sont pas modulables.
- Installations par « éclusées », qui accumulent l'eau dans de petites retenues et ont une capacité de modulation journalière ou hebdomadaire.
- Installations « centrales de lac », composées de barrages de grande taille permettant d'accumuler des volumes d'eau dans des retenues conséquentes.
- « Stations de transfert d'énergie par pompage » ou STEP, qui permettent de pomper l'eau vers des réservoirs en période de moindre consommation électrique, pour ensuite les turbiner lors des pics de consommation.

Ces ouvrages sont complémentaires et permettent une production électrique constante et fiable. L'aspect pilotable d'une partie de ces installations fait de l'hydroélectricité une énergie renouvelable indispensable au système de production français.

En plus de son aspect partiellement pilotable, l'hydroélectricité repose sur des installations dont la durée d'exploitation peut être très longue, ce qui renforce la pertinence de cette production. Jusqu'à un passé récent, les concessions octroyées pour les ouvrages hydroélectriques pouvaient atteindre 75 ans⁹. Aujourd'hui ce délai est généralement ramené à 30 ans¹⁰, mais de nombreuses centrales en activité ont été mises en service au début du XX^{ème} siècle. Sur les 112 ouvrages hydroélectriques recensés par la Direction Départementale des Territoires des Hautes-Pyrénées en 2022 (dont deux inactives), 87 ont été construits avant les années 1990 et les plus anciens datent des années 1900¹¹.

Malgré un coût énergétique important en phase d'installation (matériaux – bétons et aciers – très gourmands en énergie, chantiers complexes et lourds), l'hydroélectricité est compétitive sur le plan énergétique grâce notamment à un temps d'exploitation long.

⁷ RTE (2024). Bilan électrique 2024 – Rapport complet.

⁸ Ministère de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche. Mis à jour le 17 juin 2025, disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/hydroelectricite>

⁹ Code de l'énergie : LIVRE V : DISPOSITIONS RELATIVES À L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE (Articles L511-1 à L531-6)

¹⁰ France Hydroélectricité. Les différents régimes de l'hydroélectricité. Disponible sur: <https://www.france-hydro-electricite.fr/lhydroelectricite-en-france/reglementation/>

¹¹ DDT65 (2022). Installation Hydroélectrique – Hautes-Pyrénées. Disponible sur: <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/installation-hydroelectrique-hautes-pyrenees-1/>

Le taux de retour énergétique (EROI) est un indicateur mesurant l'efficacité d'une source d'énergie. Il se définit comme $\frac{\text{énergie fournie}}{\text{énergie dépensée pour l'obtenir}}$, c'est à dire le rapport entre l'énergie produite par une installation et l'énergie investie pour sa fabrication, son installation, son entretien et son démantèlement. Un EROI élevé signifie que le système produit beaucoup plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Estimer l'EROI des installations hydroélectriques est complexe, tant les modalités de production de cette énergie sont multiples¹². Néanmoins dans la littérature le taux de retour énergétique de cette production la place en première place des énergies renouvelables. Certaines études¹³ l'approchent de 49 (ou 35 si l'on considère le stockage nécessaire pour que cette production soit pilotable) : c'est le facteur par lequel elle aura multiplié l'énergie nécessaire à sa production au terme de son cycle de vie.

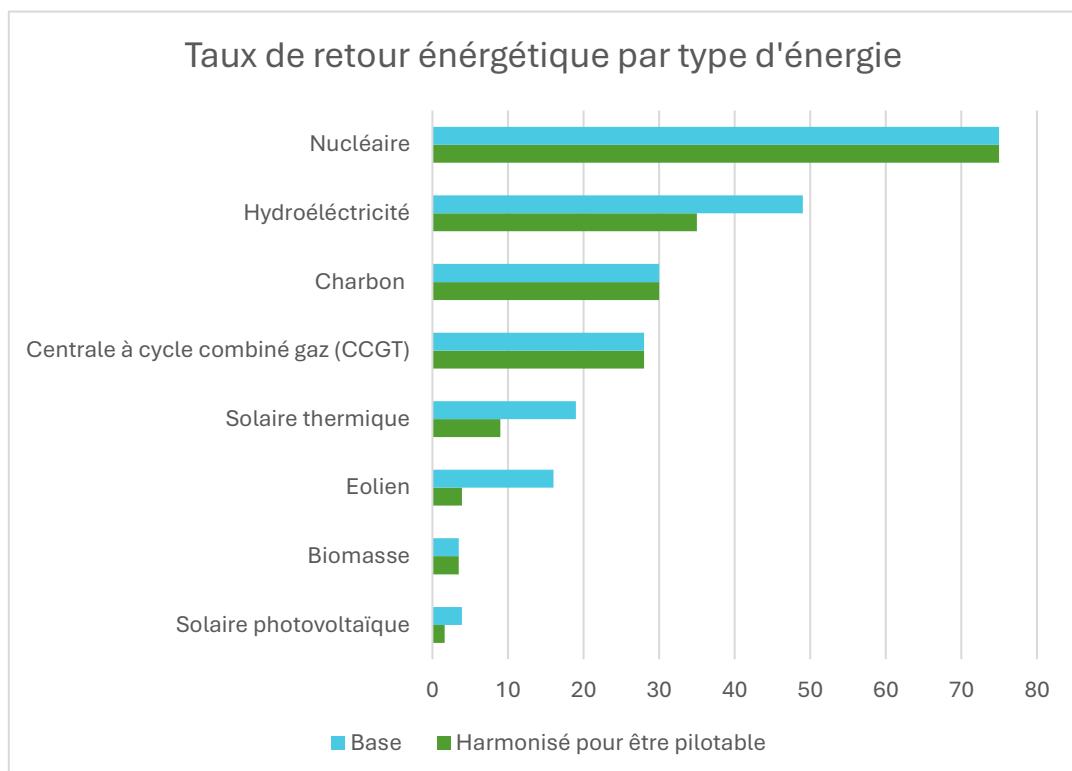


Figure 1: Représentation du temps de retour énergétique des énergies renouvelables d'après Weissbach D. et all. (2017).

¹² Hall et al. (2012). EROI of Global Energy Resources. Preliminary Status and Trends.

¹³ Weissbach D. et all. (2017). Energy intensities, EROIs (energy returned on invested), and energy payback times of electricity generating power plants.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a également produit un rapport sur les énergies renouvelables et leur capacité à limiter le changement climatique. Ces travaux ont permis de définir un temps de retour énergétique à 3,5 ans pour l'hydroélectricité et un taux de retour énergétique variant de 6 à 280, en raison de la durée du cycle de vie de cette production.

Technologie	Temps de retour énergétique (années)		Durée de vie (années)	Taux de retour énergétique (énergie fournie/énergie dépensée)	
	Valeur basse	Valeur haute		Valeur basse	Valeur haute
Houille	1,9	3,7	30	2	5,4
Charbon noir supercritique	1	2,6	30	2,9	10,1
Gaz naturel cycle ouvert	1,9	3,9	30	1,9	5,6
Gaz naturel cycle combiné	1,2	3,6	30	2,5	8,6
Réacteur à eau lourde	2,4	2,6	40	2,9	5,6
Réacteur à eau légère	0,8	3	40	2,5	16
Photovoltaïque	0,2	8	25	0,8	47,4
Solaire thermique	0,7	7,5	25	1	10,3
Géothermie	0,6	3,6	30	2,5	14
Eolien	0,1	1,5	25	5	40
Hydroélectricité	0,1	3,5	70	6	280

Figure 2 : Temps et taux de retour énergétique des productions d'électricité d'après le GIEC (2012).

Du point de vue des émissions de CO₂, une analyse du cycle de vie réalisée sur l'ensemble des formes de production d'énergie a mis en valeur l'intérêt de l'hydroélectricité. Cette production émet 4g équivalent CO₂ par kilowattheure d'électricité produit et à ce titre s'impose face aux autres modes de production.

Valeurs	Biomasse	Solaire		Géothermie	Hydroélectricité	Marémotrice	Eolien	Nucléaire	Gaz naturel	Pétrole	Charbon
		Photovoltaïque	Thermique								
Minimum	-633	5	7	6	0	2	2	1	290	510	975
Q1:Quartile inférieur	360	29	14	20	3	6	8	8	422	722	877
Médiane	18	46	22	45	4	8	12	16	469	840	1001
Q3: Quartile supérieur	37	80	32	57	7	9	20	45	548	907	1130
Maximum	75	217	89	79	43	23	81	220	930	1170	1689

Figure 3 : Synthèse des émissions de gaz à effet de serre des sources d'énergie, d'après le GIEC en 2012¹⁴.

¹⁴ GIEC (2012), [Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report](#), Cambridge University Press.

3.2 Un potentiel hydroélectrique largement exploité dans les Pyrénées

En Occitanie 726 centrales hydroélectriques¹⁵ (dont 293 sur le territoire d'études Piragua évoqué après) dont 135 sous régime de la concession hydroélectrique sont actives et contribuent à 20% de la production hydroélectrique française en 2024¹⁶, ce qui hisse la Région à la deuxième place française. En Occitanie cette source d'électricité est la première source d'énergie renouvelable (25% d'après Territory 2022), et couvre 28 % des besoins en électricité de la Région.

Les petites centrales « au fil de l'eau », représentaient en 2020 87 % des infrastructures installées et contribuaient à hauteur de 39% à la production hydroélectrique régionale¹⁷.

Selon les chiffres de la Direction Départementale des Territoires des Hautes-Pyrénées en 2024, 112 ouvrages hydroélectriques étaient en fonctionnement dans le département. L'hydroélectricité y représentait en 2022, 67 % de la production totale d'énergies renouvelables, contribuant ainsi fortement à l'autonomie énergétique du territoire¹⁸.

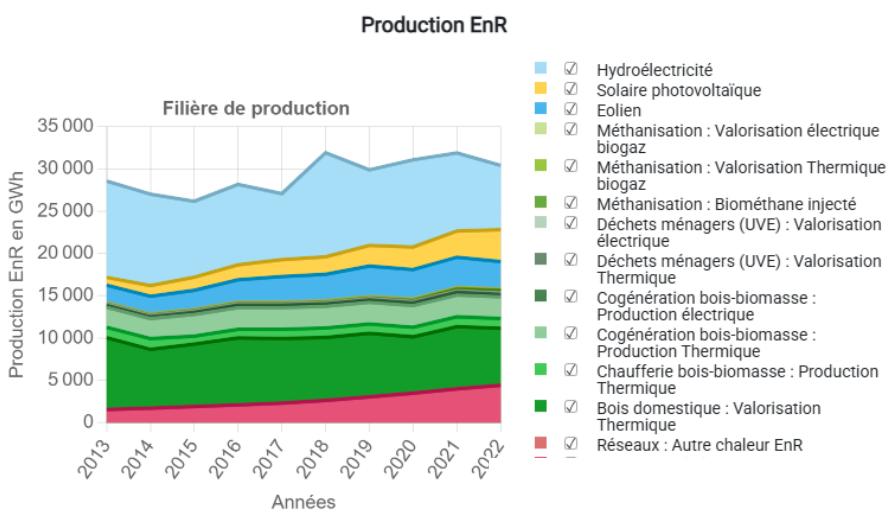


Figure 4 : Evolution de la production EnR (en GWh) en Occitanie (ORCEA 2022)

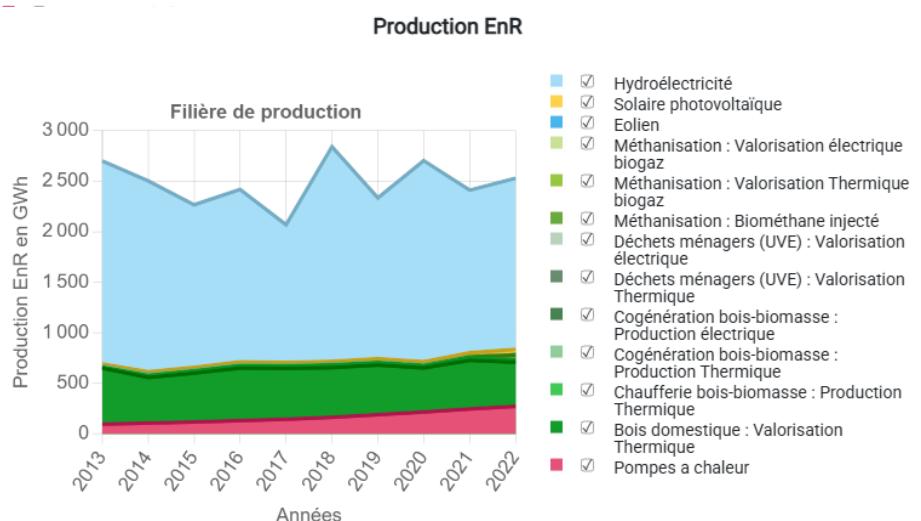


Figure 5 : Evolution de la production EnR (en GWh) dans les Hautes-Pyrénées (ORCEO 2022)

¹⁵ DREAL Occitanie (2020). Centrales hydroélectriques. Jeu de données picto Occitanie.

¹⁶ DREAL Occitanie (2024). Bilan d'activité 2024 – Ouvrages hydrauliques et concessions hydroélectriques.

¹⁷ DREAL Occitanie (2022). L'hydroélectricité – Repères et chiffres.

¹⁸ Territory à partir de chiffres ORCEO 2022.

L'Ariège quant à elle, regroupe 119 installations qui contribuent à 56,8% de la production d'énergie renouvelables du département, soit 1305 GWh produits en 2022. Dans les Pyrénées-Orientales, 31 centrales produisent 164,7 GWh¹⁹.

En Nouvelle-Aquitaine, 348 centrales hydroélectriques sont actives²⁰, dont 86

situées sur le secteur concerné par l'étude Piragua et 108 dans les Pyrénées-Atlantiques. La filière représente 8,6% de la production renouvelable régionale, avec une production de 3671 GWh en 2023, dont 1141 GWh produits dans les Pyrénées-Atlantiques.

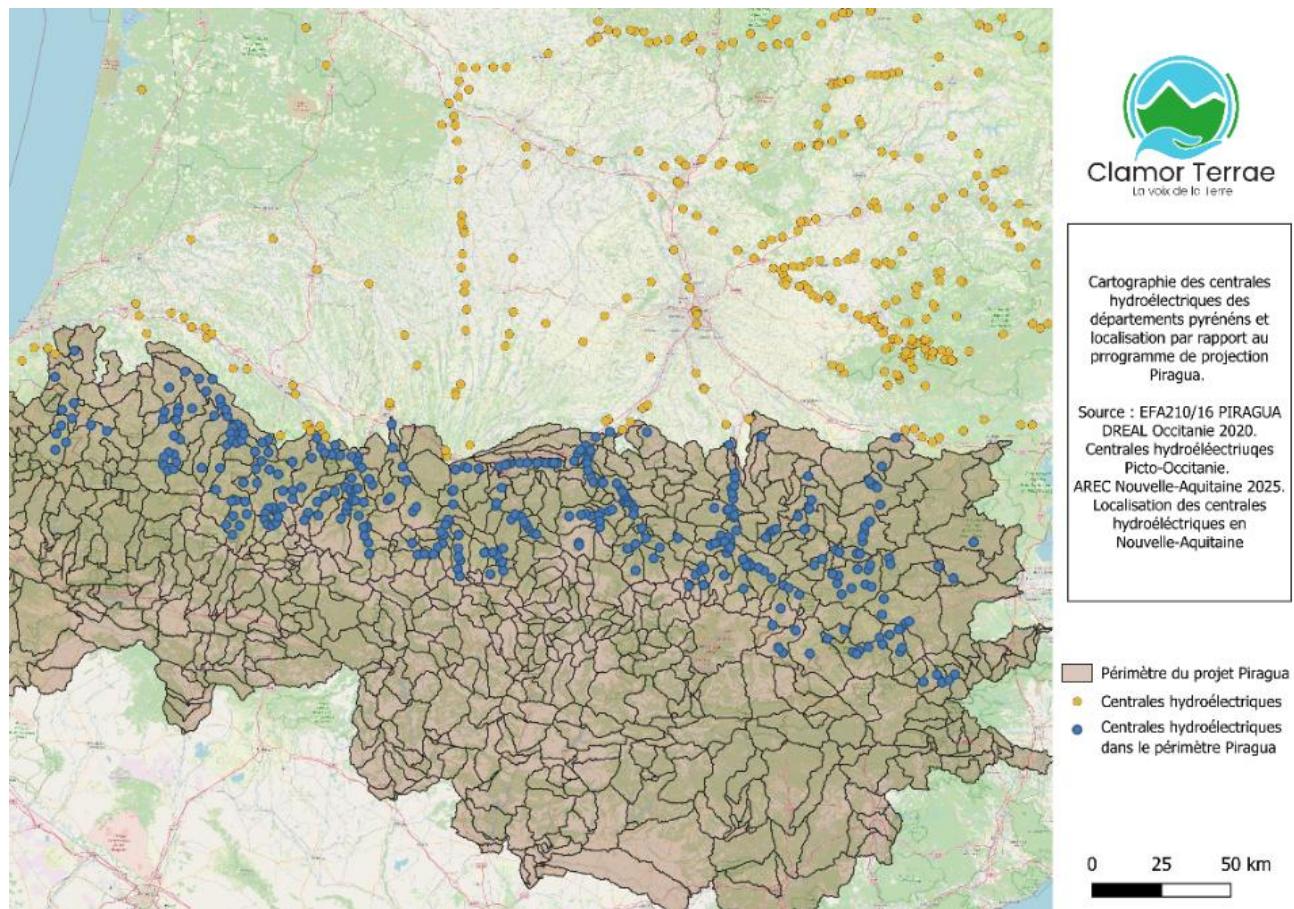


Figure 6 : Localisation des centrales hydroélectriques dans les Pyrénées (Source : DREAL et AREC)

¹⁹ Territory à partir de chiffres ORCEO 2022.

²⁰ AREC (2025). Observatoire des énergies renouvelables. Localisation des centrales hydroélectriques en Nouvelle-Aquitaine.

3.3 Une énergie renouvelable aux impacts significatifs sur les écosystèmes aquatiques

Malgré l'intérêt certain de cette production d'un point de vue énergétique et technique, son impact sur le milieu n'en reste pas moins important.

Dans une récente synthèse des impacts de l'hydroélectricité sur le milieu, l'Office français de la Biodiversité conclut que « L'hydroélectricité est [alors] une des principales pressions grandissantes s'exerçant sur la biodiversité des cours d'eau »²¹. Les raisons en sont multiples, les cours d'eau étant des systèmes en équilibre dynamique. Toute altération d'une des variables du système, produit des effets sur tout le système. **L'enjeu central réside néanmoins dans la question des débits.**

Une étude menée dans les Pyrénées a d'ailleurs montré sur 19 sites, que les tronçons soumis à des débits réduits en raison d'installations hydroélectriques, réduisaient l'abondance des truites dans 62% des cas par rapport aux tronçons à hydrologie naturelle²².

Le régime hydrologique du cours d'eau influence sa morphologie et donc les habitats qui le composent. Modifier ce régime hydrologique induit inévitablement une incidence, positive ou négative, sur la faune et

la flore²³. Les alternances de hautes et de basses eaux sont le facteur essentiel de construction et de remaniement des fonds et des berges, processus qui façonne les habitats et distribue les ressources. L'écologie des cours d'eau est également conditionnée par la variation saisonnière ou interannuelle des débits. A l'échelle d'un bassin hydrographique, la variabilité hydrologique constitue le variant essentiel de la dynamique biologique.

La nature des débits conditionne également la dynamique sédimentaire des cours d'eau. Ces sédiments sont une composante essentielle de leur fonctionnement écologique, en tant qu'habitat ou support de ponte pour des espèces benthiques et support de la minéralisation de matière organique et de la production de biomasse. Le libre transport des sédiments préserve le fonctionnement de l'hydrosystème. Toute modification du débit du cours d'eau est amenée à modifier le fonctionnement de ce régime sédimentaire et par conséquent à un impact certain sur les communautés biologiques.

C'est précisément la dynamique de ce système que vient perturber la production hydroélectrique. En altérant la variabilité naturelle des débits, en figeant sur de grandes plages de temps des débits fixes et en entravant la distribution des sédiments, les infrastructures hydroélectriques perturbent en profondeur le fonctionnement du milieu naturel.

²¹ OFB (2022). Synthèse des principaux impacts écologiques engendrés par les aménagements hydroélectriques et de leurs conséquences sur le fonctionnement des cours d'eau. Page 8. « Au final, en impactant les variables hydrologiques et morphologiques à l'origine de la création des habitats aquatiques et de leur connectivité, ainsi que les processus biologiques et le déplacement des organismes, les aménagements hydroélectriques et les ouvrages transversaux ont des conséquences plus ou moins importantes non seulement sur la continuité écologique et les communautés biologiques (Mueller et al., 2011 ; Fuller et

al., 2015) mais également et plus largement sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Petts, 1989 ; Poff & Hart, 2002). »

²² BARAN P., DELACOSTE M., DAUBA F., LASCAUX J. M., BELAUD A. (1995) — Effects of reduced flow on brown trout populations downstream dams in French Pyrenees. *Regulated Rivers : Research and Management*. 10 347-361

²³ Baran, Philippe Le débit élément clé de la vie des cours d'eau : bilan des altérations et des possibilités de restauration. (2008) *La houille blanche* (n° 6). pp. 26-33.

Le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau qui traverse une section donnée d'un cours d'eau dans un laps de temps déterminé. Il s'exprime en m^3/s pour les fleuves et en m^3/h pour les cours d'eau plus modestes. Le débit mesuré ne peut être qu'une valeur instantanée, variant dans le temps en fonction des heures de la journée, des saisons et des années. Les hydroélectriciens fondent leurs projections sur l'accumulation interannuelle de relevés et/ou sur des extrapolations statistiques issues de comparaisons avec des bassins versants voisins ou des jeux de données à leur disposition ²⁴. La mesure ou l'estimation d'un débit peut prendre des formes variées :

- **Débit moyen journalier ou annuel** ;
- **Module ou débit moyen interannuel** (moyenne des débits annuels, issue d'au moins 5 ans de données). C'est la référence utilisée pour calculer les écoulements moyens d'un cours d'eau ;
- **Débit plancher** (correspond à 1/10 du débit du cours d'eau, valeur minimale à laisser dans un tronçon détourné) ;
- **Débit minimum biologique** (calculé selon les espèces en présence, c'est le débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces occupant les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage) ;
- **Débit réservé** (plus forte valeur entre le débit plancher et le débit minimum biologique) ;
- **Débit d'étiage** (débit le plus faible du cours d'eau, évalué sur plusieurs années) ;
- **QMNA5** (débit moyen mensuel minimal qui ne se produit en moyenne qu'une année sur cinq)

²⁴ 2023 (France Hydro Electricité). Comprendre les débits.

Cet enjeu des débits est d'ailleurs au cœur de la réglementation. Le code de l'environnement²⁵ indique que tout ouvrage occupant le lit d'un cours d'eau doit laisser en permanence un débit réservé supérieur au débit minimum biologique (DMB) et correspondant à au moins 10% du module. Il doit également comporter des dispositifs de protection empêchant les espèces de pénétrer dans les canaux d'aménée et de fuite.

La détermination du Débit Minimum Biologique est cruciale pour garantir la pérennité de l'écosystème.

Le DMB peut être calculé des manières suivantes²⁶ :

- Méthode hydrologique : se base sur un pourcentage de débit censé correspondre au débit biologique recherché. Cela demande une bonne analyse des situations d'étiage, mais ne repose sur aucun critère écologique, hydraulique ou hydromorphologique.
- Méthode hydraulique : se base sur l'écoulement de l'eau (hauteur, vitesse) et fait le lien avec l'équilibre biologique souhaité. Le DMB est alors situé entre les plages de débit où la surface mouillée diminue très significativement et ceux où elle évolue peu. La plage de débit est souvent entre 15 et 25% du module.
- Méthode holistique : prend en compte à la fois l'hydraulique, l'hydrologie, la qualité de l'eau et des écosystèmes.

- Méthode *micro-habitats* : croise les préférendums d'habitats (hauteur d'eau, vitesse et substrat) avec les conditions hydrauliques en fonction du débit.

La méthode des micro-habitats est la seule à développer une approche biologique, mais elle ne s'intéresse souvent qu'à l'habitat d'une espèce et est plus complexe à mettre en œuvre.

Le calcul du débit réservé par approche hydrologique repose quant à lui sur des données réglementaires et non sur les Débits Minimums Biologiques (DMB) liés aux espèces. Pourtant certaines d'entre elles exigent un débit supérieur à ces données réglementaires, de sorte que le respect par l'hydroélectricien d'une valeur à 10% du débit du module, ne garantit pas nécessairement le respect de l'intégrité de toutes les composantes de l'écosystème.

Par exemple le Plan National d'Action du desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*)¹ préconise des débits réservés très supérieurs au dixième du module et supérieurs au QMNA5. La méthodologie de calcul du DMB est donc déterminante pour la conservation de l'espèce

²⁵ L'article L214-18

²⁶ <https://patbiodiv.ofb.fr/fiche-methodologique/travaux-rivieres/methodes-determination-debits-minimum-biologiques-dapres-note-technique-baranp-courretd-larinierm-142>

3.4 Diminution des débits et variabilité hydrologique: analyses des modélisations climatiques pour les Pyrénées

Différentes études ont élaboré des scénarios d'évolution des débits des cours d'eau²⁷ et toutes alertent sur une baisse attendue, ou à minima une incertitude forte sur la régularité des débits, dans les années à venir. Ces baisses de débit auront nécessairement un impact sur la production hydroélectrique et la sécheresse de l'année 2022 a déjà provoqué une importante baisse de la production²⁸.

Le Plan d'adaptation au changement climatique²⁹ du Comité de bassin Adour Garonne adopté en 2018, se base sur les données *Explore2070* et *Garonne2050* et avance une baisse moyenne annuelle des débits naturels des cours d'eau en 2050, comprise entre -20% et -40% et de l'ordre de -50% en période d'étiage ; étiages qui seront plus longs, plus sévères et plus précoce.

Le projet *Piragua*, qui s'intéresse à l'impact du changement climatique pour les débits superficiels dans les Pyrénées, indique dans son analyse :

“

dans le cas de la période 1960-2019 [...], il convient de souligner la prédominance absolue des tendances négatives ou descendantes pour tous les indicateurs de quantité de débit quotidien ($q10$, $q25$, $q50$, $q75$ et $q90$), tant à l'échelle annuelle qu'au cours des différents mois. Les débits moyens annuels ($q50$) ont diminué de 4 à 15 % par décennie, alors que les faibles ($q10$) ont diminué de 4 et 17 %, et les élevés ($q90$) de 2 à 14 %³⁰

“

Ce projet avance que les rivières pyrénéennes connaîtront d'importantes réductions de débits dans les années à venir et que « la réduction des apports sera plus marquée sur le versant nord du massif, où ils pourront être en moyenne de l'ordre de 20 % à la fin du XXI^e siècle »³¹. Ce modèle permet de cartographier sous le scénario RCP 8.5³², l'évolution du climat : les indicateurs retenus (précipitation, manteau neigeux et ruissellement) sont tous à la baisse et dans des proportions qui ne laissent aucun doute quant à l'impact sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants (Annexes).

D'après une étude de cas effectuée sur les vallées de Nestes d'Aure et de Louron dans le cadre de ce même projet et d'une étude de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (OPCC)³³, il apparaît que le

²⁷ Voir ci-après, citées dans ce chapitre.

²⁸ Région Occitanie (2024). Les chiffres clés de l'énergie et des gaz à effet de serre en Occitanie / Pyrénées-Méditerranée. Page 11.

²⁹ Agence de l'eau Adour-Garonne (2022). Plan d'adaptation au changement climatique du bassin Adour-Garonne. Projections pour la période 2045-2065 avec 1970-1990 en référence, sur le bassin Adour-Garonne.

³⁰ Piragua 1: Beguería S. (coord.), 2023. Caracterización de los recursos hídricos de los Pirineos en la actualidad, y escenarios futuros. Memorias científicas del proyecto PIRAGUA, vol. 1. Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEADCSIC), Zaragoza, España, 122pp. Page 81. Projections aux horizons 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100 par rapport à 1981-2010 sur le territoire Piragua.

³¹ Piragua 1: Beguería S. (coord.), 2023. Caracterización de los recursos hídricos de los Pirineos en la actualidad, y escenarios futuros. Memorias científicas del proyecto PIRAGUA, vol. 1. Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEADCSIC), Zaragoza, España, 122pp. Page 81. Projections aux horizons 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100 par rapport à 1981-2010 sur le territoire Piragua.

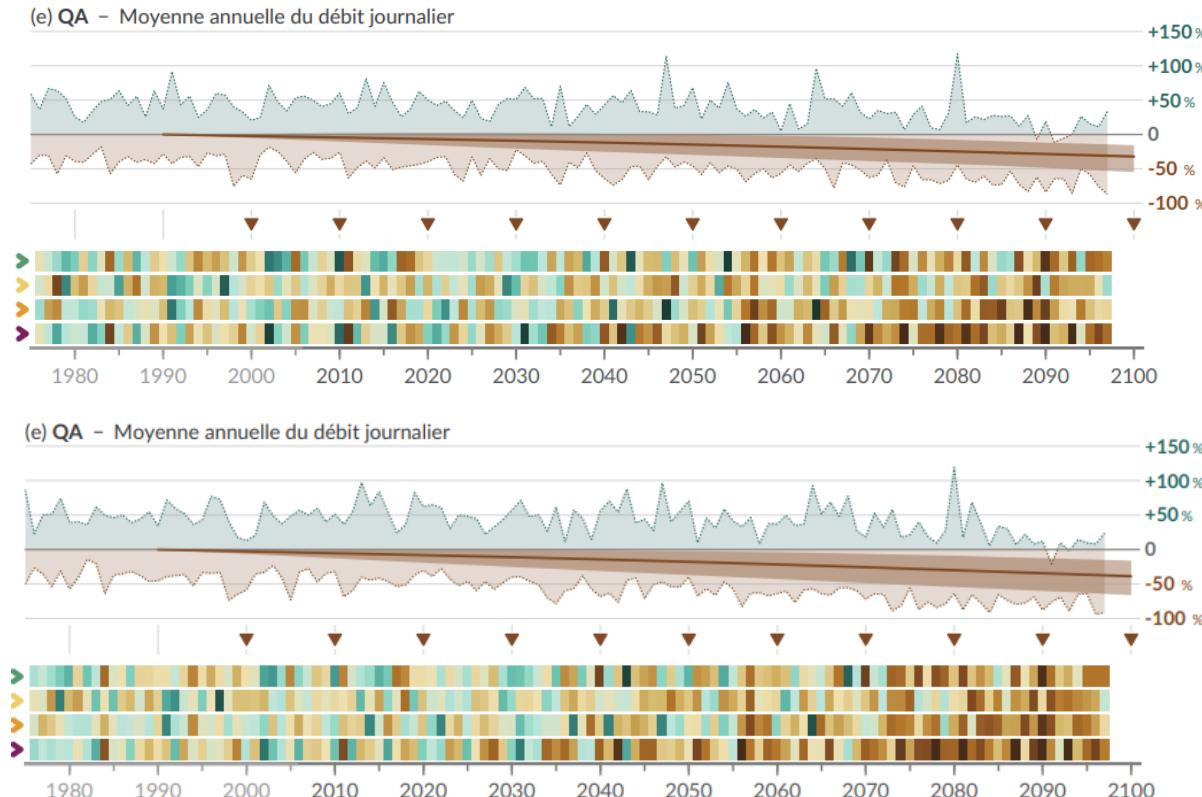
³² OPCC (INTERREG POCTEFA 2016-2019). Géoportail - Données du projet Piragua. Traitement Clamor Terrae.

³³ OPCC-CTP (2018). Le changement climatique dans les Pyrénées : impacts, vulnérabilités et adaptation Bases de connaissances pour la future stratégie d'adaptation au changement climatique dans les Pyrénées. Page 103. « Par contre, les ressources en eau apportées par la fonte des

potentiel de production hydroélectrique des Pyrénées pourrait être fortement réduit et ce même pour les centrales dotées de retenues d'eau, où pourtant la production est plus facilement pilotable. Ainsi la baisse de débit pourrait atteindre 10% en moyenne et même 35% en saison estivale d'ici 2070.

La plateforme *Drias, Les futurs de l'eau*³⁴ met à disposition de manière localisée des projections hydrologiques des eaux de surface et souterraines (projet national Explore 2). Pour une station hydrologique donnée, une

projection de l'évolution des débits journaliers d'ici 2100 peut être obtenue. A titre d'exemple, sont jointes les projections des stations du Gave d'Aspe à Bedous, de la Neste d'Aure à Sarrancolin et de l'Aude à Puyvalador, respectivement sur les régions hydrographiques de l'Adour, de la Garonne et des fleuves côtiers Rhône-Méditerranée. Issues de trois stations hydrographiques distinctes réparties sur l'ensemble des Pyrénées, elles convergent toutes à des baisses de débit d'un même ordre de grandeur (graphiques ci-dessous).



neiges, typiques du printemps, se feront de plus en plus rares. Ainsi, les réserves en eau accumulées pour la saison estivale diminueront, moment de l'année où se produit une plus grande demande d'énergie pour la réfrigération et où l'agriculture et l'élevage ont aussi besoin d'eau (Finger *et al.*, 2012). Si ces projections se confirment, la capacité de production d'énergie hydroélectrique dans les Pyrénées pourrait diminuer de 10% en moyenne et atteindre une

réduction de 35% pendant la saison estivale en 2070 par rapport à l'époque actuelle ».

³⁴ Porté par le ministère de la transition écologique et l'OFB, cette plateforme a pour objectif d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des dernières publications du GIEC et d'accompagner les acteurs dans leur stratégie de gestion de la ressource.

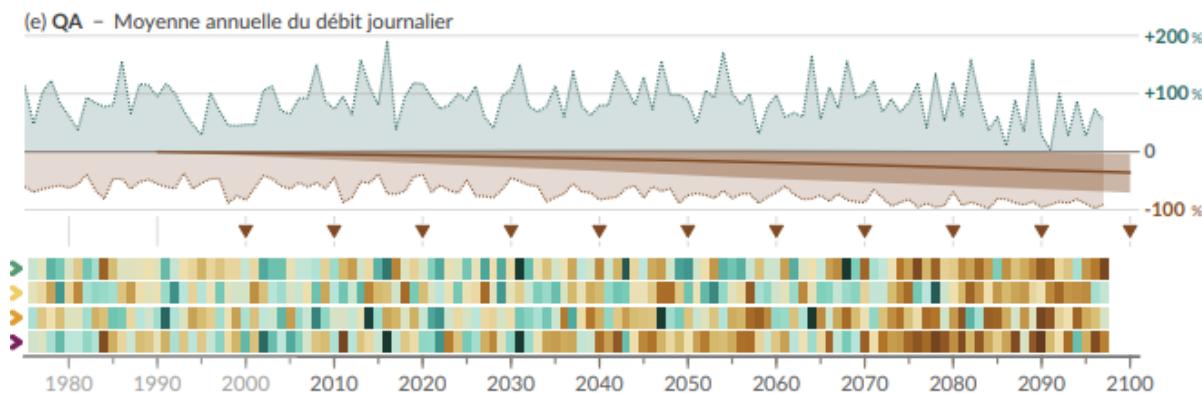


Figure 7 : Synthèse des projections de moyenne annuelle des débits journaliers pour trois stations des Pyrénées (respectivement Gave d'Aspe, Neste d'Aure et Aude), issues des projections sous RCP 8.5 du projet Explore2.

L'OPCC a documenté la modification de la distribution annuelle et pluriannuelle des débits dans les Pyrénées. « On a également observé des changements des régimes mensuels, liés à une modification de la relation neige / pluie en hiver, moins d'accumulation de neige et accélération de la fusion, qui se traduisent par des changements importants des régimes d'écoulement des rivières, qui évoluent vers des régimes de type pluvial, avec de plus gros débits en hiver, une précocité et une diminution des flux de fonte printaniers et des saisons sèches plus longues et intenses »³⁵.

Tout modèle comporte des incertitudes, mais les tendances de fond se retrouvent dans toutes les études disponibles à ce jour sur le massif pyrénéen : la diminution importante des débits des cours d'eau est désormais inévitable.

Ces perspectives alertent sur trois points :

- Les perturbations du milieu naturel induites par ces changements doivent nous alerter sur la nécessité de ne pas les fragiliser davantage, tant ils auront à faire en matière d'adaptation ;
- Les tensions sur la ressource vont aller grandissantes et posent plus que jamais la question de son partage ;
- Le maintien du potentiel hydroélectrique actuel apparaît compromis et le gisement énergétique fortement réduit.

Enfin l'OPCC pointe également l'augmentation de fréquence et d'intensité des phénomènes climatiques extrêmes (crues, sécheresses, inondations, glissement de terrain) qui représentent un réel risque pour les infrastructures hydroélectriques³⁶.

³⁵ OPCC-CTP (2018). Le changement climatique dans les Pyrénées : impacts, vulnérabilités et adaptation Bases de connaissances pour la future stratégie d'adaptation au changement climatique dans les Pyrénées. Page 66.

³⁶ OPCC-CTP (2018). Le changement climatique dans les Pyrénées : impacts, vulnérabilités et adaptation Bases de connaissances pour la future stratégie d'adaptation au changement climatique dans les Pyrénées. Pages 13 et 110.

3.5 Une vulnérabilité accrue : l'hydroélectricité sous contrainte climatique

Une unité de production hydroélectrique présente une concentration énergétique par unité de surface importante. Or dans le contexte du changement climatique, ce qui jusqu'à aujourd'hui faisait l'intérêt de cette production renouvelable, va constituer un handicap. Ces infrastructures installées dans des environnements vulnérables, vont être soumises à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques et climatiques extrêmes³⁷.

La crue de 2013 a été provoquée par un cumul de précipitations supérieur à la moyenne, assorti de températures très basses provoquant un cumul de neige exceptionnel. La fonte brutale du manteau neigeux, accompagnée de fortes précipitations, a provoqué une inondation majeure, reconnue catastrophe naturelle, et ayant entre autres touchée les centrales de Beaucens et Préchac (entièrement détruites et non reconstruites), de Nay ou de Bizanos³⁸.

Des crues importantes mettent hors service de plus en plus fréquemment ces installations, à l'image de la centrale de Saint-Lary-Soulan, a l'arrêt durant deux années suite à la crue du Rioumajou en 2015, ou des trois centrales en vallée d'Aspe (Borce, Baralet et Forges d'Abel) qui ont subi de lourds dommages en 2024.

En cas de dommages, les investissements nécessaires à la remise en état des installations existantes sont très importants et posent la question des limites de notre système assurantiel. Aussi il apparaît opportun de ne pas augmenter l'exposition de notre système énergétique à ce type de risques, en créant par exemple de nouvelles installations. Ces arguments sont développés par l'IUCN dans son rapport sur la montagne et la transition énergétique³⁹.

Dans un contexte d'augmentation des aléas climatiques extrêmes, une répartition géographique diffuse des installations, réduit le niveau d'exposition à ces risques et par là, augmente la résilience du système de production électrique.

3.6 Des programmations énergétiques qui attendent peu du potentiel hydroélectrique

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) définit les orientations et priorités d'actions des pouvoirs publics pour la gestion de l'ensemble des formes d'énergies sur le territoire métropolitain continental. La PPE 2019-2028 fixe l'objectif d'atteindre 40% d'énergies renouvelables électriques dans la production électrique nationale en 2030. Concernant l'hydroélectricité, la PPE pointe que ce gisement est déjà bien développé et que son potentiel de développement est limité. Le document met surtout en avant les efforts d'optimisation des installations existantes, au détriment des nouveaux projets. L'objectif de la

³⁷ GIEC (2022). 6^{ème} rapport du GIEC – Changement climatique 2022 : impacts, adaptation et vulnérabilité.

³⁸ DREAL Midi-Pyrénées (2013). Crues des Pyrénées des 18 et 19 juin 2013 – Retour d'expérience global. Page 28.

³⁹ IUCN (2013). Les montagnes et la transition énergétique – Etat des lieux des utilisations des énergies renouvelables et

enjeux de leur développement sur les territoires de montagne. « Vulnérabilité aux changements climatiques notamment pour la petite hydraulique au fil de l'eau : problèmes liés à la disponibilité saisonnière et la répartition de la ressource en eau, envasement des barrages »

PPE est de produire 26,4 à 26,7 GW en 2028 contre 25,3 en 2016, soit une hausse de 0,7 à 2 GW⁴⁰. La PPE indique de surcroit dans le cadre du troisième plan national d'adaptation au changement climatique, qu'il est nécessaire de poursuivre les études en cours pour estimer les conséquences du changement climatique sur l'hydrologie et en permettre la prise en compte par les exploitants⁴¹.

Le scénario développé par RTE indique également que le potentiel de production hydroélectrique est aujourd'hui « déjà largement exploité et présente peu d'opportunités supplémentaires à long terme »⁴². A l'horizon 2050 il est prévu que la capacité hydroélectrique installée, hors STEP, augmente de 1 GW. Ce scénario pointe également les incertitudes quant à l'évolution des débits des cours d'eau et son impact sur le gisement énergétique.

L'association Négawatt a proposé un scénario permettant d'atteindre la neutralité carbone en 2050, avec un mix énergétique à 96% renouvelable. Ce scénario, pourtant maximaliste en matière de renouvelables, repose sur une baisse de la production hydroélectrique et ce en raison des effets du changement climatique, qui ne pourront pas être totalement compensés par l'augmentation de la puissance installée des ouvrages⁴³.

Sans remettre en question la place qu'occupe l'hydroélectricité dans notre mix énergétique, les projections de l'Etat et des experts du secteurs sont unanimes quant à la nécessité d'investir dans l'optimisation des installations existantes plutôt que dans le lancement de nouveaux projets, notamment en petite hydroélectricité.

3.7 L'optimisation des installations existantes : un réel gisement énergétique

Une étude menée en 2022 par la direction générale de l'énergie et du climat, en amont de la révision de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie, pointe que le potentiel hydroélectrique « pouvait provenir également de la capacité d'augmentation de puissance des centrales hydroélectriques existantes »⁴⁴. Cette étude indique un potentiel de 235 MW sur la région Occitanie, par seule optimisation ou augmentation de puissance des centrales existantes.

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie adoptée en 2020, attribue 60 % de l'augmentation cible de la production hydroélectrique à l'optimisation d'aménagements existants⁴⁵ (60 % d'une augmentation allant de 900 à 1200 MW d'ici 2028⁴⁶).

⁴⁰ Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (2020). Stratégie française pour l'énergie et le climat – Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 2024-2028. Page 116.

⁴¹ Ministère chargé de l'énergie (2024). Projet de PPE n°3 soumis à la concertation – novembre 2024. Page 88.

⁴² RTE (2022). Futurs énergétiques 2050 – Rapport complet. Pages 172 et 408.

⁴³ Negawatt (2022). Le Scénario en détail. Page 86.

⁴⁴ DGEC (Août 2023). Actualisation 2022 du potentiel hydroélectrique français (composantes 1 et 2 du potentiel) – Synthèse

⁴⁵ Ministère de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche. Mis à jour le 17 juin 2025, disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/hydroelectrique>

⁴⁶ A titre indicatif, l'ensemble des énergies renouvelables électriques doivent passer de 48,6 GW en 2017 à 73,5 GW en 2023 et 101 à 113 GW en 2028 soit une hausse de capacité installée de 52,4 GW minimum entre 2017 et 2028.

Le photovoltaïque intégré, principal gisement d'avenir pour les Pyrénées

À l'échelle des Pyrénées, l'hydroélectricité constitue aujourd'hui une « vieille rente industrielle » : fortement capitalistique, concentrée dans quelques grands ouvrages déjà amortis, elle génère un volume limité mais stable d'emplois qualifiés (conduite, maintenance, ingénierie) et des retombées fiscales structurantes pour certaines vallées. D'ici 2100 la baisse attendue des débits et la fonte nivale plus précoce limitera la croissance de la production, sans pour autant faire disparaître le socle d'emplois d'exploitation lié aux ouvrages existants.

A titre de comparaison, le photovoltaïque présente un gisement d'emploi beaucoup plus important, avec de forts besoins en main-d'œuvre locale pour le développement et les chantiers, même si les emplois permanents d'exploitation restent peu nombreux par MW installé⁴⁷.

Notons néanmoins que sur le plan environnemental le photovoltaïque n'est acceptable que s'il n'implique aucune artificialisation des sols (qu'il s'agisse de centrale solaire ou « d'agrivoltaïsme ») et se développe en toiture ou sur parking. Mais même à cette condition, le développement du photovoltaïque offre un potentiel de création d'emplois et de retombées économiques locales, tout en s'affranchissant des contraintes liées à la diminution du débit des rivières et en réduisant les impacts aux milieux naturels. Ajoutons enfin que la réversibilité du photovoltaïque intégré est bien supérieure à celle de l'hydroélectricité. Bien que sa densité énergétique soit plus faible (200–250 W/m²) et sa production moins pilotable, le gisement photovoltaïque intégré est à considérer.

A l'échelle des Pyrénées⁴⁸ le potentiel de développement du photovoltaïque sur surfaces artificialisées – toitures, parkings – permet d'espérer une production annuelle de 2,6 à 12 TWh/an⁴⁹, soit un potentiel énergétique 2 à 10 fois supérieur au potentiel additionnel hydroélectrique réalisable.

Ce gisement est plus difficilement mobilisable (comparativement aux centrales au sol ou à l'hydroélectricité), mais il apparaît comme le plus robuste, tant sur le plan économique qu'écologique, avec un potentiel incontestablement supérieur à l'hydroélectricité et des risques environnementaux nettement inférieurs.

⁴⁷ CCI Occitanie (2022). *L'Occitanie sur le podium des énergies propres*. Chambre de Commerce et d'Industrie d'Occitanie. ; OBSéco/In Numéri (2023). *Marchés et emplois liés aux énergies renouvelables en France*. Observatoire des Economies d'Energie.

⁴⁸ Considérant par extrapolation que le bâti Pyrénéen représente 1 à 3 % du bâti français et en appliquant un taux de mobilisation de 40 à 55 %.

⁴⁹ DREAL Occitanie (2022). *Bilan énergétique régional 2022*. ADEME (2019). *Évaluation du gisement relatif aux zones délaissées et artificialisées propices à l'implantation de centrales photovoltaïques* ; Cerema (2023). *Études de potentiel solaire – densités mobilisables et méthodologie territoriale*.

En Nouvelle-Aquitaine, la DREAL confirme cette nécessité et invite à mobiliser en priorité les avancées technologiques permettant de valoriser l'existant, avant d'envisager tout nouveau projet⁵⁰.

Idem pour le GIEC, qui confirme qu'il est possible d'accroître le rendement énergétique des installations par du matériel à haut rendement⁵¹.

Sur le territoire de la Neste et des Rivières de Gascogne, une étude menée par Eaucéa en 2007⁵², a comparé les déclarations réelles de productions avec le potentiel théorique de chaque cours d'eau, pour mettre en lumière un réel potentiel d'amélioration :

Le SAGE NRG rappelle l'importance du principe d'optimisation, permettant de produire une énergie décarbonée aux effets environnementaux limités, par rapport à un projet neuf.

Potentiel d'amélioration des ouvrages hydroélectriques existants

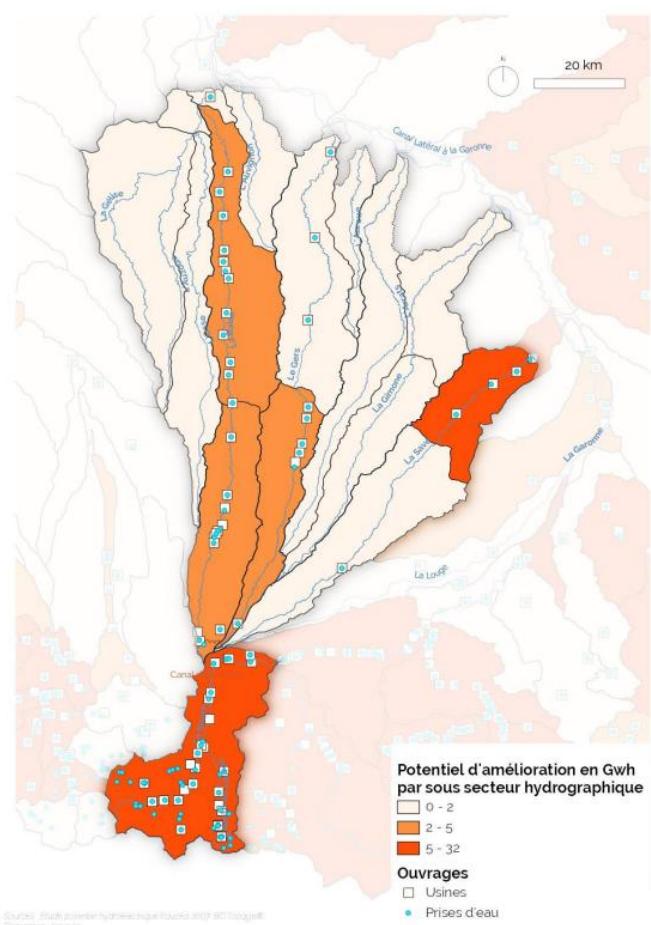


Figure 8 : Potentiel d'amélioration des ouvrages existants
(Source : SAGE NRG, 2023).

Il est à souligner que ce gisement potentiel exclue les possibilités d'augmentation de la puissance via l'augmentation des débits turbinés et reste donc sans incidences sur le milieu

⁵⁰ DREAL Nouvelle-Aquitaine (2023). Stratégie de l'Etat pour le développement des énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine. Page 32. « [...] certains territoires sont déjà équipés de centrales hydroélectriques, mais les avancées technologiques permettent aujourd'hui d'envisager une optimisation des équipements de manière à en augmenter la puissance installée. Il convient par conséquent d'intégrer l'examen du potentiel d'optimisation des installations existantes à l'échelle des sous-bassins hydrographiques »
⁵¹ GIEC (2011). Rapport spécial sur les sources d'énergie renouvelable et l'atténuation du changement climatique. Page 85. « Les turbines anciennes peuvent avoir une

efficacité moindre du fait de leur conception ou des effets de la corrosion et de la cavitation. Il est donc possible d'accroître le rendement énergétique en procédant à une remise à niveau avec du nouveau matériel à haut rendement, en général complétée par une augmentation de la capacité. La plus grande partie du matériel électrique et mécanique actuellement en service devra être modernisé d'ici une trentaine d'années, ce qui devrait se traduire par un accroissement de l'efficacité, de la puissance et du rendement énergétique »
⁵² SAGE Neste et Rivières de Gascogne (2023). Potentiel hydroélectrique. Page 19.

Concrètement, les évolutions technologiques permettent d'améliorer les performances des parcs de machines de l'ordre d'1,25 % et 4,2 %, en fonction de leur âge (tableau ci-dessous).

Figure 9 : Gains potentiels d'efficacité via remplacement des turbines Francis (amélioration du profil de lame, restauration de l'état de surface et réduction des pertes d'étanchéité)
(Source : Michel Sabourin, 2025).

Potentiel d'amélioration de l'efficacité des roues de turbines Francis			
Age de l'unité	60 ans	40 ans	20 ans
Profil d'amélioration de la lame	2,20%	1,00%	0,50%
Restauration de l'état de surface	1,00%	0,50%	0,25%
Réduction des pertes liées à l'étanchéité	1,00%	0,75%	0,50%
Gain potentiel total	4,20%	2,25%	1,25%

De nombreux exemples démontrent que l'optimisation d'ouvrages existants avec des turbines ou alternateurs nouvelle génération, permet de réduire les pertes et d'augmenter le rendement. L'ADEME identifie également ce potentiel d'optimisation reposant sur « l'installation d'équipements modernes plus performants (turbine, génératrice, dégrilleur), le réglage plus fin de ces éléments, l'ajout d'une unité de production et ce sans nécessairement modifier la puissance du site ou l'augmentation du débit maximum dérivé »⁵³. Des études de cas identifient des potentiels de production qui pourraient considérablement augmenter via le recours à ces technologies⁵⁴.

Ces études révèlent que le principal facteur limitant des projets d'optimisation reste le facteur économique.

Néanmoins cette barrière à l'intervention n'est pas propre aux travaux d'optimisation et concerne toute opération entreprise sur ces infrastructures. En effet **aux investissements directs** (dont 95% sont liés aux travaux civils et aux lignes de transmissions, l'achat d'une nouvelle roue pouvant quant à lui être rentabilisé en dix jours⁵⁵) **s'ajoutent les pertes d'exploitation liées à l'arrêt de l'outil**. C'est là le point critique, qui conduit souvent les acteurs de la filière, surtout dans la petite hydroélectricité, à repousser toujours plus les opérations de maintenance lourde de leurs installations.

Aussi on observe que la plupart des opérations de surclassement d'installations existantes, se font de manière opportuniste, à la faveur d'opérations de maintenance et non dans une démarche de planification.

⁵³ ADEME (2024). Démarches administratives, techniques et intégration des enjeux de continuité écologique. Page 5.

⁵⁴ Une étude de faisabilité indique que la production du moulin Cochard pourrait doubler par implantation d'une nouvelle turbine et de deux vis hydrodynamiques. Il est précisé que le propriétaire est en phase de réflexion et que la réalisation d'un des deux scénarios dépend de sa

capacité d'investissement et d'obtention de tarif d'achat avantageux. ADEME (2017). ILS L'ONT FAIT – Centrale hydroélectrique de Cuisery (71) Projet d'aménagement d'un site existant avec fort potentiel d'optimisation.

⁵⁵ Sabourin Michel (2025). La réhabilitation - document de cours.

Il ressort que ces gisements potentiels sont connus et techniquement atteignables, mais peu mobilisés pour des motifs économiques.

Les travaux d'optimisation peinent à se déployer, non pas en raison de leur coût intrinsèque, mais parce que les opérations de maintenance lourde de ces installations sont rares, pointant par là un déficit global d'investissement du secteur.

Ces retards à l'investissement, pour des opérations qui donneraient pourtant accès à des gisements non négligeables, constituent

pour nous une raison supplémentaire de mettre en doute de la pertinence économique et écologique de nouvelles installations. Il apparaît beaucoup plus rationnel de flécher les efforts d'investissements du secteur sur les installations historiques, dont la production va nécessairement décroître sous l'effet de la diminution des débits. Ces investissements doivent être considérés comme des adaptations à l'évolution climatique dont la finalité serait de maintenir autant que possible les niveaux de production énergétique de la filière.

Retours d'expériences

Dans le département des Hautes-Pyrénées, des opérations d'optimisation ont été réalisées sur les centrales de Latour et de Vizens, à Lourdes. Elles ont permis de rétablir une production de 3,7 à 8 GWh/an⁵⁶.

De même avec la centrale de Lau-Balagnas, dont l'encrassement des équipements bridait depuis plusieurs années sa puissance à 8 MW, alors que son potentiel réel est de 11 MW. Une rénovation est engagée⁵⁷.

La SHEM a également rénové une de ses usines au fil de l'eau dans le Lot, permettant d'augmenter sa production de 46% (ajout d'une turbine et remplacement des alternateurs)⁵⁸.

Pour la centrale hydroélectrique du Montahut (34), une opération de maintenance a permis une hausse de 7% de la production d'électricité grâce au remplacement d'équipements (roues, alternateurs, transformateurs), ayant de meilleurs rendements et augmentant la production⁵⁹.

⁵⁶ Hydrocop (2020). Hydrocop et Sudhydro acquièrent les centrales de Latour et Vizens, à Lourdes. Disponible sur : <https://www.hydrocop.fr/hydrocop-et-sudhydro-acquièrent-les-centrales-de-latour-et-vizens-a-lourdes/>

⁵⁷ « la machine était devenue très sale, très grasse, beaucoup de poussière donc il y avait vraiment besoin d'un bon coup de nettoyage et de rénovation de la machine pour retrouver son utilisation maximale ». Visite des aménagements EDF de Lau-Balagnas, Fréquence Luz. Disponible sur : <https://www.frequence-luz.com/pays-lourdes-vallees-gaves/visite-amenagements-edf-lau-balagnas>

⁵⁸ L'usine Nouvelle (2015). La SHEM inaugure dans le Lot une usine hydroélectrique nouvelle génération. Disponible sur : <https://www.usinenouvelle.com/article/la-shem-inaugure-dans-le-lot-une-usine-hydroelectrique-nouvelle-generation.N332150>

⁵⁹ « Refaire ces équipements parce qu'ils ont plus de soixante ans donc ils étaient en bout de vie et on en profite pour les rendre plus puissants et les rendre également moins consommateur d'eau de façon à produire un tout petit peu plus d'électricité avec la même eau » France Bleu (2024). 18m3 d'eau économisés chaque minute grâce à la modernisation de la centrale hydroélectrique souterraine de Montahut. Disponible sur : <https://www.francebleu.fr/infos/societe/18-m3-d-eau-economises-chaque-minute-grace-a-la-modernisation-de-la-centrale-hydroelectrique-souterraine-de-montahut-3408749>



Hydroélectricité et biodiversité, les conditions de la résilience

4 propositions pour réaligner
transition énergétique et écologie

L'optimisation des ouvrages existants est intéressante sur les plans énergétique et écologique et doit concentrer les investissements du secteur

Clamor Terrae soutient la remise en état, la réhabilitation et la modernisation des installations existantes plutôt que la construction de nouvelles infrastructures.

Sur le département des Hautes-Pyrénées, plus d'une centaine d'ouvrages hydroélectriques sont recensés. Une étude globale du potentiel d'optimisation de ces ouvrages doit être un préalable indispensable à tout projet de nouvelle installation. Un tel travail permettrait à la fois de révéler un gisement non exploité et de limiter considérablement les atteintes au milieu naturel.

Les acteurs historiques du secteur doivent être en première ligne de cet effort de connaissance et de recherche d'optimisation.

Les objectifs de croissance ou de maintien de la production d'énergie hydroélectrique reposent pour l'essentiel sur les ouvrages existants

Cette position rejoint celle de l'IUCN, rappelant la nécessité absolue de «ne pas équiper les rares hydrosystèmes encore vierges», notamment en raison de «l'impact sur la continuité écologique des cours d'eau et sur la migration des poissons»⁶⁰. Position partagée par FNE Auvergne Rhône Alpes dans sa note de proposition sur l'hydroélectricité, préconisant la modernisation ou le perfectionnement des ouvrages existants équipés de technologies datées⁶¹.

⁶⁰ IUCN (2013). Les montagnes et la transition énergétique – Etat des lieux des utilisations des énergies renouvelables et enjeux de leur développement sur les territoires de montagne. Page 26 et 38.

⁶¹ FNE Auvergne-Rhône-Alpes (2024). Note de proposition hydroélectricité : pour une transition énergétique à la hauteur des enjeux écologiques et climatiques.

Les contraintes climatiques imposent un renforcement de l'exigence en matière de connaissance des débits et de pilotage des installations

Clamor Terrae insiste sur la nécessité de fonder l'exploitation de la force hydraulique sur une connaissance solide et actualisée de l'hydrologie et de la biologie des cours d'eau.

Les effets du changement climatique, que ce soit en matière de récurrence des événements extrêmes ou de diminution structurelle des débits des cours d'eau, vont mettre sous contraintes à la fois les installations hydroélectriques et les hydrosystèmes.

Ce nouveau contexte impose plus que jamais un effort d'objectivation des dynamiques hydrauliques et biologiques des cours d'eau, afin d'adapter au mieux le pilotage des installations et ne pas compromettre davantage les équilibres écologiques des milieux naturels.

Notre connaissance des débits des cours d'eau est trop souvent parcellaire et datée. Cela conduit à des extrapolations de données d'un bassin versant à l'autre, ou à des jeux de données trop anciennes qui n'intègrent pas les effets du changement climatique.

Idem en matière de connaissance biologique des cours d'eau : trop souvent les débits minimums biologiques sont mal caractérisés ou non intégrés dans les estimations des débits réservés.

A cela s'ajoutent les fraudes, volontaires ou non, de certains acteurs du secteur⁶². Ce phénomène est certainement marginal, mais les capacités de contrôle des services de l'Etat sont limitées et le manque de transparence imposée aux exploitants ne permet pas d'objectiver la réalité des pratiques.

Aussi cela nous conduit, dans le sillage des recommandations de l'IUCN⁶³, à défendre trois propositions :

- La mise à jour des données disponibles, y compris en intégrant les modèles climatique, relatives à l'évaluation des débits des cours d'eau. Un effort particulier doit être conduit sur les secteurs exploités par l'hydroélectricité et non couverts par des données de débit, ainsi que sur les têtes de bassins versants, trop souvent mal documentées.
- Un plus grand effort de transparence de la part des exploitants d'installations hydroélectriques quant au respect des débits réservés et aux moyens mis en

⁶² En 2019, une centrale a été interdite d'exercer pendant deux ans pour ne pas avoir respecté le débit réservé. Consulté sur : <https://www.ofb.gouv.fr/actualites/continuite-ecologique-une-entreprise-hydroelectrique-interdite-d-exercer-pendant-deux-ans>. En 2024 par exemple, 3 procédures judiciaires et 1 rapport de manquement administratif ont été dressés par l'OFB pour des manquements à la réglementation des centrales hydroélectriques de Haute-

Garonne. Consulté sur : <https://www.ofb.gouv.fr/actualites/en-region-occitanie-ofb-controle-les-debits-deau-reglementes-de-centrales>

⁶³ IUCN (2013). Les montagnes et la transition énergétique – Etat des lieux des utilisations des énergies renouvelables et enjeux de leur développement sur les territoires de montagne. « Augmenter la surveillance et la répression pour garantir l'observation scrupuleuse des exigences des règlements sur l'eau » Page 39.

- œuvre pour les respecter. Cela via la publication de rapports annuels publics et vérifiables. Cet effort de transparence passe notamment par l'équipement des ouvrages en matériel de mesure permanent des débits (via télésurveillance enregistrements continus).
- Rendre vérifiable l'obligation de moyens des exploitants quant à la préservation de l'intégrité des hydrosystèmes en phase d'exploitation des équipements, y compris pour les plus anciens. Pour cela nous demandons que soit rendus publics les rapports techniques des installations, faisant figurer les outils et moyens mis en œuvre pour assurer le pilotage des installations.

Le changement climatique exacerbant la variabilité des débits, il est essentiel d'avoir une vision objective et rigoureuse des ressources exploitées par l'hydroélectricité



3

Les nouvelles installations hydroélectriques doivent rester exceptionnelles et soumises à un haut niveau d'exigence écologique

L'essentiel du gisement hydroélectrique est déjà l'exploité. L'éventuel potentiel de développement réside dans la petite hydroélectricité que l'on peut résumer ainsi: mineure sur le plan énergétique, préoccupante sur le plan écologique

La contribution énergétique de la petite hydroélectricité est à relativiser. Les 400 plus grosses centrales françaises produisent 10 fois plus que les 2270 petites centrales. Cela s'explique par la nature des cours d'eau qu'elles exploitent et celle des équipements installés, mais aussi par le caractère généralement non pilotable (centrale dite au fil de l'eau) de ces petites installations.

Elles peuvent néanmoins se révéler particulièrement pertinentes dans certains cas spécifiques, comme pour les sites isolés des réseaux électriques et au potentiel solaire limité.

Néanmoins les perspectives de déploiement de cette petite hydroélectricité sont préoccupantes, car elle concerne des cours d'eau plus petits, plus haut dans les bassins versants, voire des cours d'eau jusque-là libres de toute installation. Au regard du niveau global de dégradation des écosystèmes et des

perspectives climatiques, tout projet sur un cours d'eau libre doit nous alerter.

Dans l'hypothèse où la démonstration de la pertinence énergétique d'un nouveau projet soit démontrée (calcul du temps de retour énergétique au regard de la variable climatique, recherches de solutions alternatives écologiquement moins impactantes), nous formulons 3 recommandations opérationnelles qui doivent encadrer la réalisation de ces projets :

- Une analyse rigoureuse des caractéristiques hydrauliques et écologiques du cours d'eau concerné pour réduire au minimum le niveau d'incertitude. Actualiser et affiner les connaissances sur les débits réels, caractériser de manière localisée le débit minimum biologique sont autant de démarches qui permettent d'évaluer la réelle plus-value environnementale du projet, au-delà de la seule variable énergétique, afin que la production d'énergie ne soit pas opposée à la préservation de la biodiversité. Les principes de précaution et de prévention tels qu'inscrits dans la constitution doivent être satisfait. Dans le cas de nouveaux projets modifiant le débit circulant d'un cours d'eau, l'acquisition de données robustes et ayant moins de 10 ans doit être systématique, afin d'établir des projections de débit exactes. Nous défendons également la mise en place d'un suivi écologique de long-terme, sur la base d'inventaires comparatifs à l'état initial, afin d'ajuster le pilotage de

l'installation en fonction des besoins du milieu.

- Le nécessaire respect des avis des autorités environnementales. Les nouveaux projets hydroélectriques sont soumis à une demande d'autorisation environnementale au titre de la loi sur l'eau. L'autorité environnementale formule un avis sur le dossier, afin de guider le choix de l'autorité décisionnaire. Nous observons trop régulièrement une discordance entre les avis émis par les experts environnementaux et les autorisations accordées. Aussi légales qu'elles soient, ces autorisations peuvent être contraires aux intérêts du vivant. La mobilisation de la société civile peut sur ce point être décisive.
- L'application rigoureuse de toutes les étapes de la séquence Eviter Réduire Compenser (ERC). Les maîtres d'ouvrages ont l'obligation de respecter cette séquence en trois temps⁶⁴. Son principe : toute dégradation environnementale due à un projet doit être évitée au maximum, puis réduite si les effets négatifs ne peuvent pas être totalement évités. *En dernier recours*, une compensation doit être mise en œuvre afin d'apporter une contrepartie aux incidences négatives du projet sur l'environnement. La compensation écologique est très peu satisfaisante quant à sa capacité à réellement contrebalancer les effets des destructions. Hasardeuse sur le plan théorique, lourde à mettre en œuvre et toujours en décalage chronologique avec ce qu'elle est censée compenser, elle ne doit être envisagée que dans l'esprit initial de la séquence ERC : l'ultime recours qui n'est mobilisé que pour les impacts résiduels. L'expérience démontre que malgré les coûts importants de la compensation, les étapes de l'évitement et de la réduction des impacts sont souvent marginalisées.

Clamor Terrae s'opposera juridiquement à tout projet n'ayant pas reçu d'avis favorable de l'autorité environnementale ou des collèges d'experts sollicités, ou n'ayant pas suivi les recommandations émises ; ainsi que celui ne respectant pas le principe de précaution.

⁶⁴ Article L122-3 Code de l'environnement

La réappropriation citoyenne des enjeux énergétiques est déterminante

Clamor Terrae encourage la co-construction citoyenne des projets portés par les acteurs de la filière et le développement de projets citoyens locaux.

Les phases d'élaboration des projets et d'enquête publique sont trop souvent, même de manière involontaire, peu participatives. Il nous apparaît pourtant fondamental d'impliquer les citoyens dans la construction des projets d'aménagement énergétique de leurs territoires. Ni hydroélectricien, ni écologue, le citoyen doit demeurer le principal bénéficiaire de ces projets d'aménagement et à ce titre prendre part à son élaboration.

La fondation Clamor Terrae, dans sa mission d'accompagnement à la transition des acteurs du territoire, se porte volontaire pour assister toute démarche d'élaboration de cette nature.

Mais les citoyens peuvent également être les acteurs directs de ces projets. A l'image de ce que promeut le mouvement *Energie Partagée*⁶⁵, des habitants bien accompagnés peuvent porter et s'approprier un projet de

production d'énergie. Ils en deviennent actionnaires et contribuent à la production d'une énergie locale au travers d'une gouvernance démocratique, citoyenne et solidaire⁶⁶. Cette démarche (résumée dans la charte *Energie Partagée*), associée à une haute exigence environnementale peut produire des dynamiques tout à fait positives et permettre par exemple d'amorcer des projets d'optimisation des installations existantes.

A titre d'exemple, citons le projet en développement de réhabilitation de la microcentrale du Nant Varon⁶⁷, porté initialement par la commune et devant permettre la production de 1500 MWh par an, soit la consommation de 1200 personnes. Ou encore la centrale hydroélectrique HydroRaon⁶⁸, abandonnée pendant 12 ans et reprise par une entreprise Solidaire d'Utilité Sociale adossée à des sociétaires citoyens, qui ont remis en route la production d'énergie amenant une production de 1847 MWh par an.

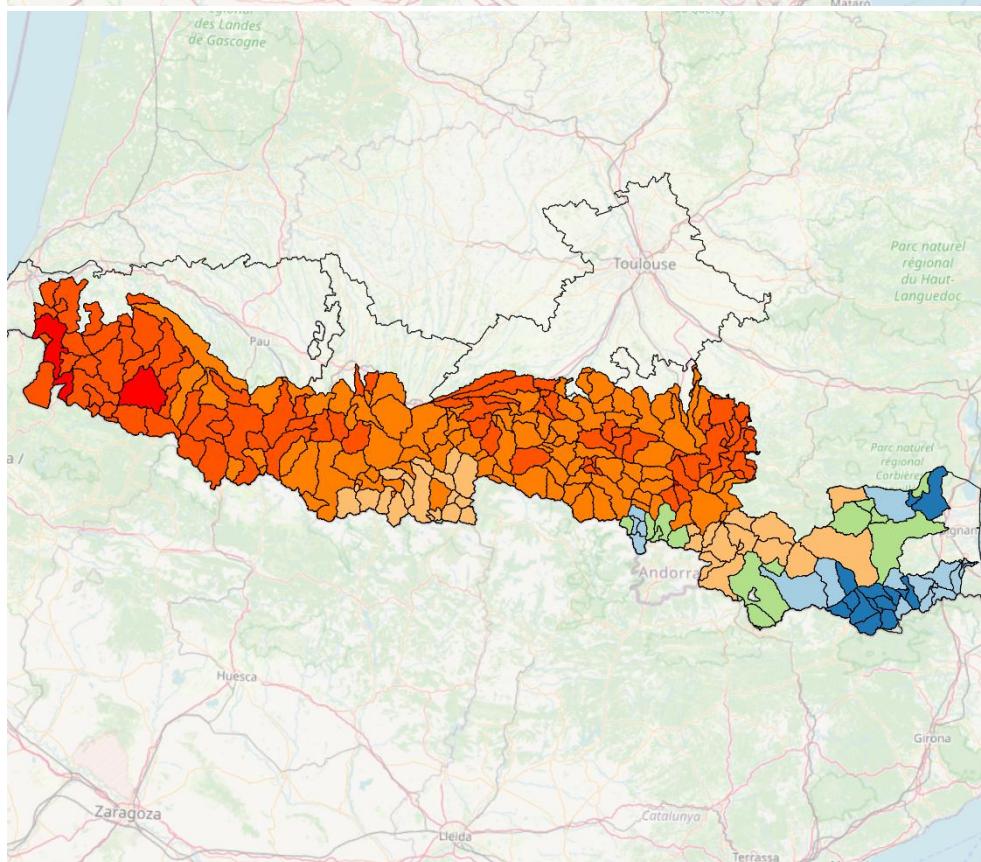
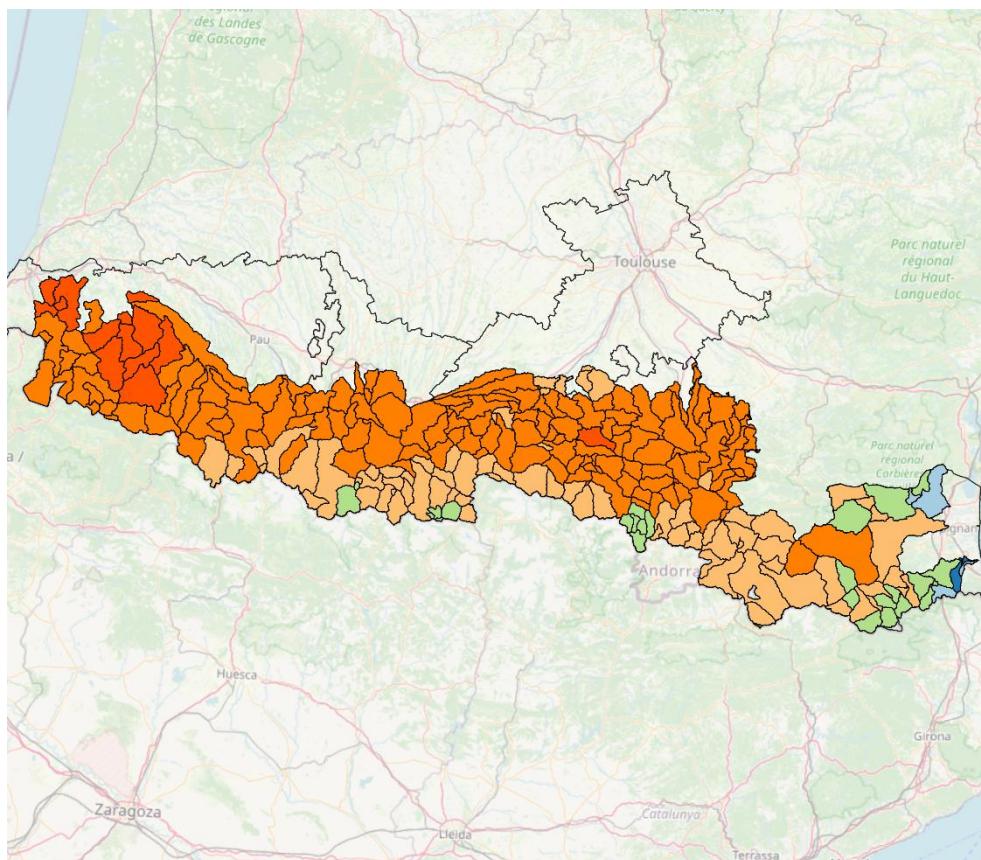
⁶⁶ Par exemple, la centrale hydroélectrique des Neufs Moulins Montbéliard a fait l'objet d'un financement citoyen qui permet de rémunérer les citoyens.

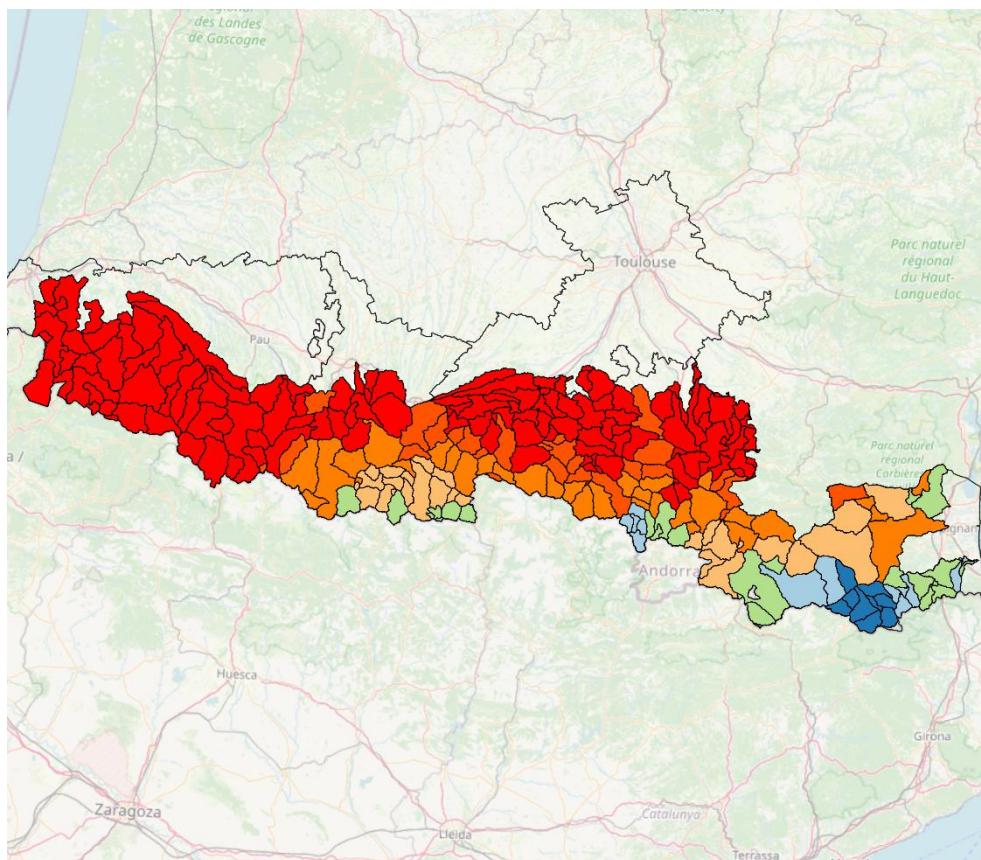
⁶⁷ <https://energie-partagee.org/projets/cv-eau-et-soleil-du-lac-volet-hydro-varon/>

⁶⁸ <https://energie-partagee.org/projets/hydroraon/>



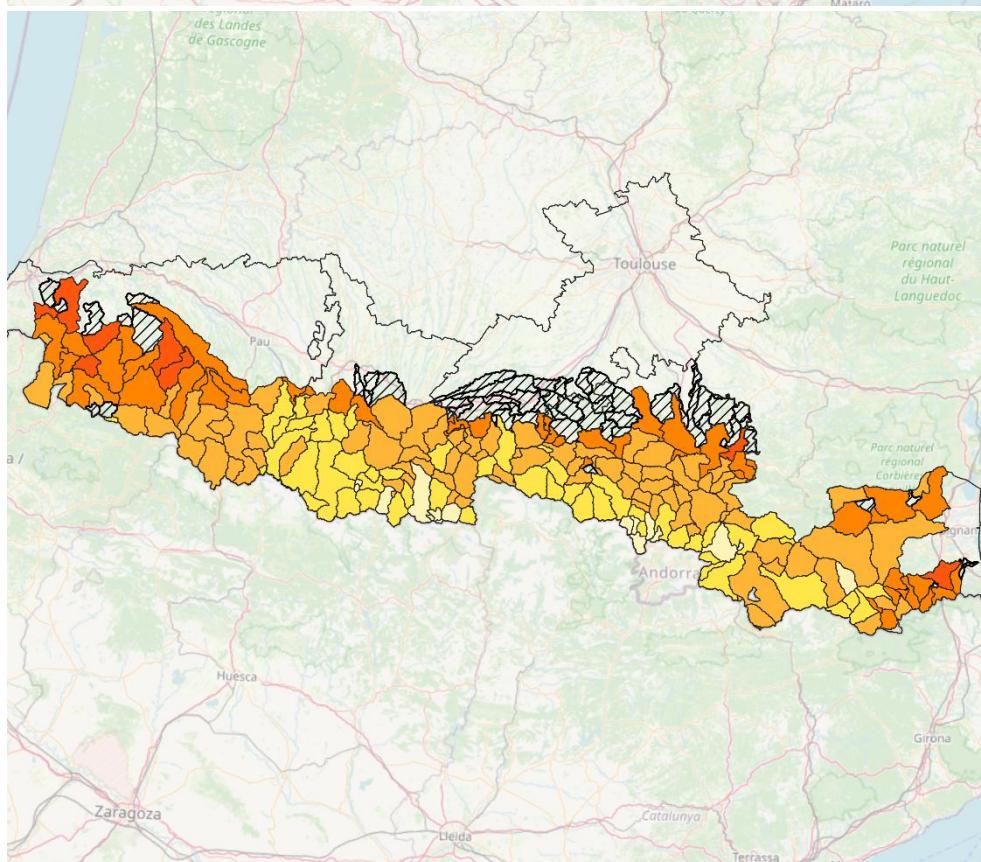
L Annexes





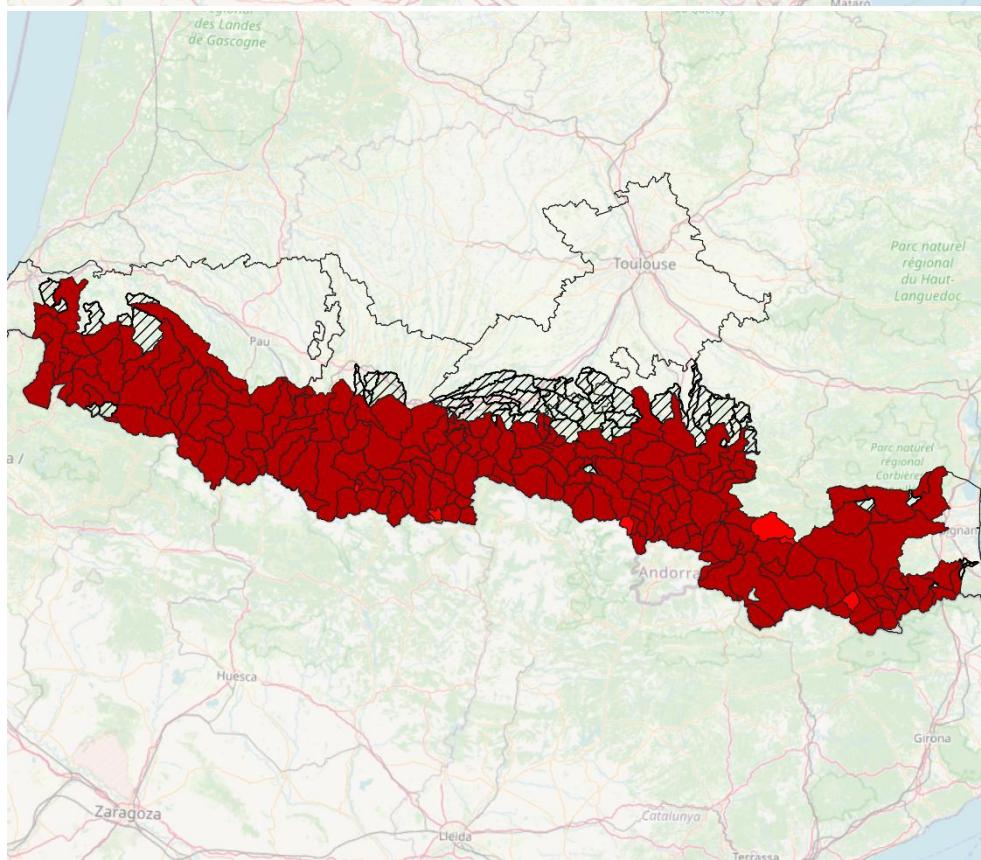
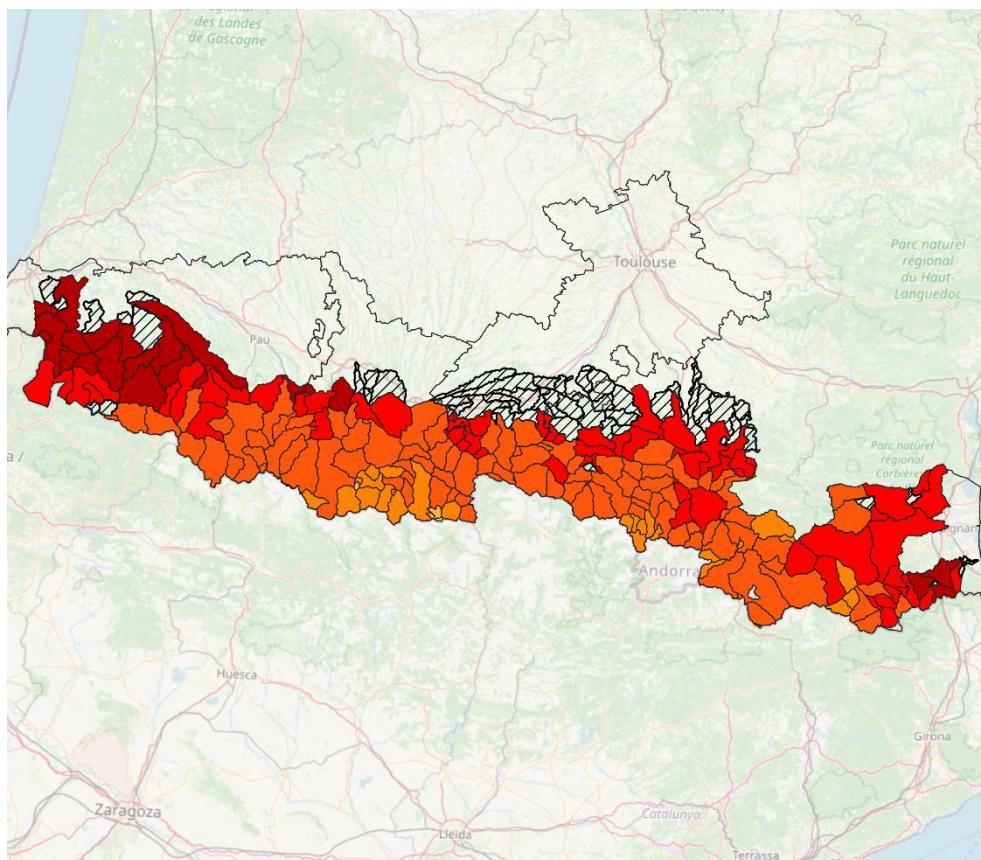
Cartographie des variations de précipitations en pourcentage entre les années 2071-2100 par comparaison avec la période 1981-2010 sous le scénario 8.5 dans les Pyrénées.

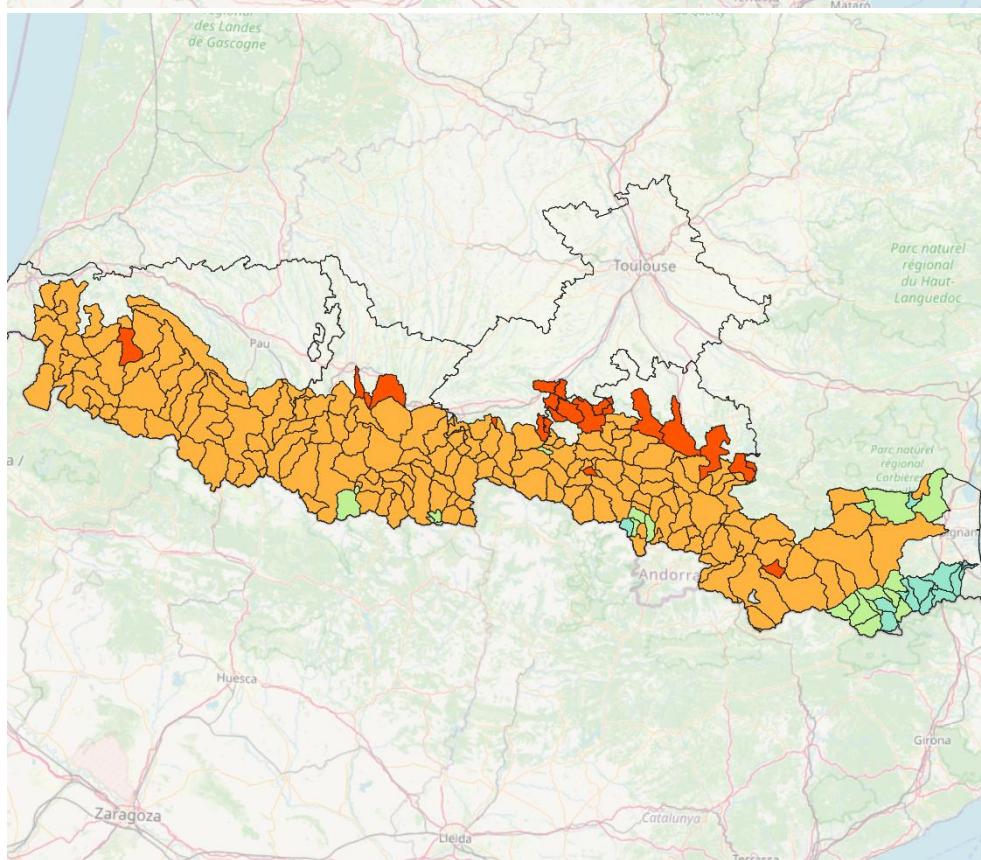
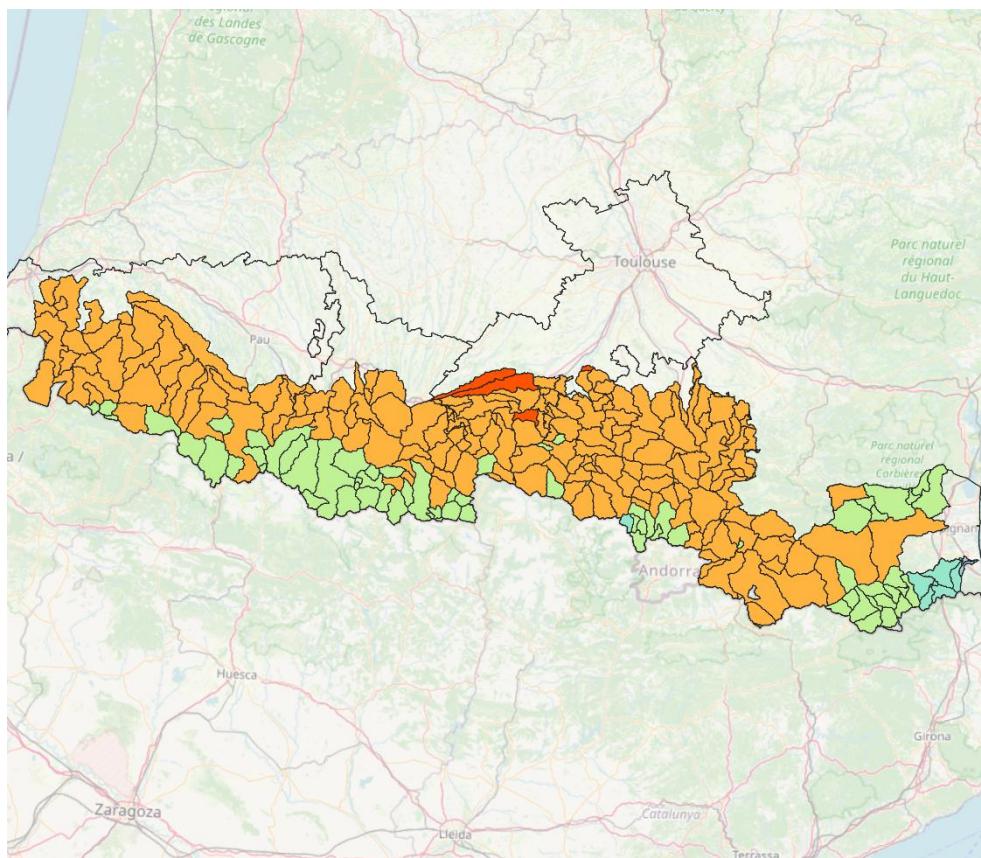
Source : EFA210/16 PIRAGUA

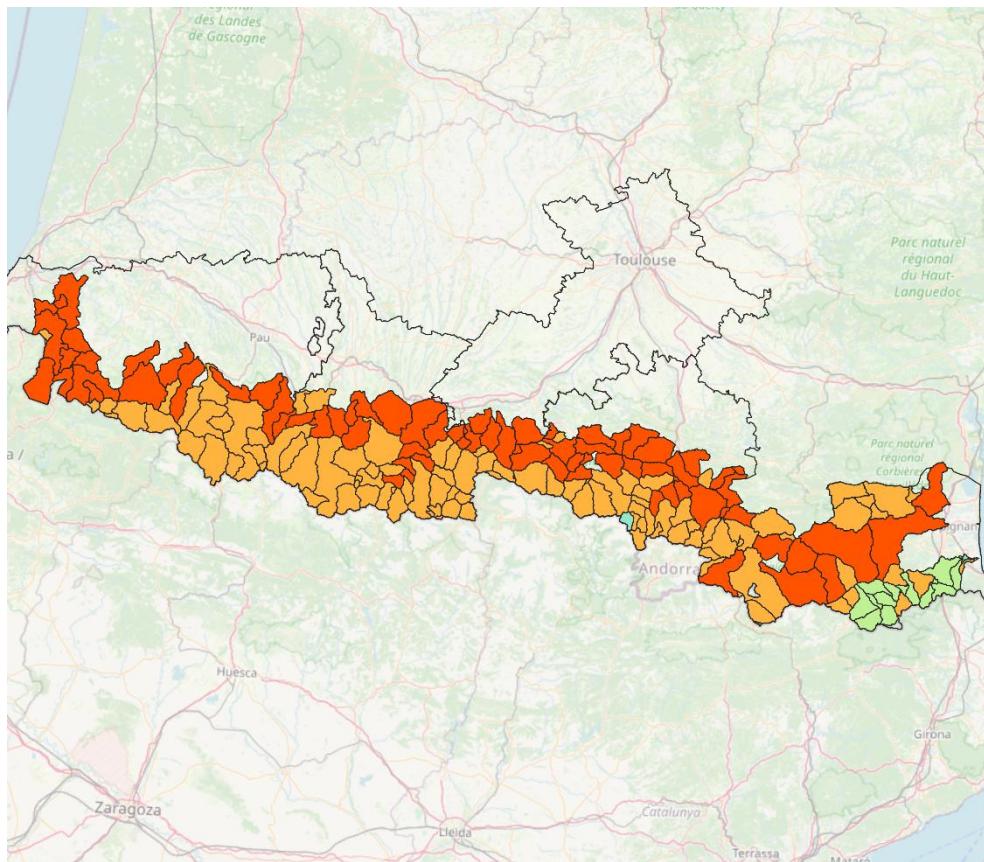


Cartographie des variations de l'accumulation de neige annuelle moyenne entre les années 2011-2040 par comparaison avec la période 1981-2010 sous le scénario 8.5 dans les Pyrénées.

Source : EFA210/16 PIRAGUA







Cartographie des variations de ruissellement en pourcentage entre les années 2070-2100 par comparaison avec la période 1981-2010 sous le scénario 8.5 dans les Pyrénées.

Source : EFA210/16 PIRAGUA

■ Départements pyrénéens
Variation de ruissellement (%)
■ -40% à -30%
■ -30% à -10%
■ -10% à 0%
■ 0% à +10%

0 25 50 km



Clamor Terrae
La voix de la Terre



Clamor Terrae
La voix de la Terre



11 rue Saint-Pierre - 65100 Lourdes

contacts@clamor-terrae.org / www.clamor-terrae.org