

The logo for TerraWater, featuring the letters 'TlW' in a stylized, cursive script.

INSTITUT

TerraWater



Les STEP au cœur de la transition énergétique

Assurer la solidité des promesses de la France
d'aujourd'hui à celle de demain

Volume 2

Pyrénées

430 km de montagnes culminant à 3 400 mètres d'altitude, de l'Océan Atlantique à la Mer Méditerranée, les Pyrénées sont une chaîne de montagnes qui fait plus que dominer son territoire, elle le façonne et le nourrit. Une fois encore ces jeunes montagnes de 40 millions d'années peuvent servir l'avenir et offrir leur potentiel à une transition énergétique durable, respectueuse de l'environnement et des valeurs des populations qui l'habitent.

Ce deuxième volume du rapport « Les STEP au cœur de la transition énergétique » fait suite à un premier volume dans lequel les principes généraux applicables au fonctionnement des STEP sont présentés. Son objectif central est de démontrer en quoi les STEP constituent la forme de stockage de l'électricité optimale pour renforcer la robustesse et l'efficacité du système électrique français, mais y sont également présentés les impacts sociaux, économiques et environnementaux de la construction de nouveaux aménagements hydroélectriques ainsi que les co-bénéfices associés à leur exploitation.

Le volume 2 s'attache lui à décrire les sites identifiés pour augmenter la capacité de STEP dans la région Pyrénées, en ne négligeant pas non plus de mentionner les impacts négatifs et les avantages associés afin d'en proposer une vision aussi objective que possible à la décision des citoyens et des tissus politiques et économiques.

De la même manière, lorsque des options différentes sont proposées (basse, médiane, haute) pour un même projet, le rapport se limite à fournir les caractéristiques techniques de chacune, n'ayant pas vocation à juger de la plus grande pertinence de l'un par rapport à l'autre en lieu et place des autorités et citoyens concernés.

sommaire

1		
	Les aménagements pyrénéens _____	05
	1. Base de données topographique utilisée _____	06
	2. Unités utilisées _____	06
	3. Légende des schémas _____	06
2.		
	Aménagement n°1 _____	07
	1. Présentation de l'aménagement _____	08
	2. Impacts sociaux et environnementaux, co-bénéfices _____	10
3.		
	Aménagement n°2 _____	12
	1. Présentation de l'aménagement _____	12
	2. Impacts sociaux et environnementaux, co-bénéfices _____	15
4.		
	Aménagement n°3 _____	16
	1. Présentation de l'aménagement _____	16
	2. Impacts sociaux et environnementaux, co-bénéfices _____	19

introduction

Les aménagements pyrénéens

Les trois aménagements pyrénéens décrits ci-après présentent des morphologies globalement similaires : il s'agit de réservoirs existants, situés en haute altitude dans les Pyrénées, dont il est parfois prévu d'augmenter la capacité, et qui sont associés à des réservoirs de plaine aux pieds des Pyrénées, dont il sera nécessaire d'augmenter très fortement la capacité (dans l'aménagement n°3, les aménagements de plaine sont à construire).

Dans les trois cas présentés, cette conception conduit à des distances importantes entre les réservoirs supérieurs et les réservoirs inférieurs, et donc à des travaux souterrains importants, ainsi qu'à un coût globalement important du MW de puissance installée.

Ce choix délibéré de conception, malgré les conséquences qu'il peut entraîner en termes de coûts et risque associé à la phase de construction, fait suite à une première version de ce panorama du potentiel STEP français réalisée en 2022, dont le critère principal d'optimisation entraînait des choix de sites aux conséquences humaines plus importantes. Nous avons donc fait le choix dans cette nouvelle version de 2025 de prioriser la minimisation de l'impact, en acceptant d'augmenter la complexité des systèmes d'ouvrages et la distance qu'ils peuvent être amenés à couvrir quand cela s'avérait nécessaire.

Ce coût important de la puissance installée devra être mis en regard :

- D'une constante de temps des aménagements potentiellement très importante, et donc d'un coût du MWh stocké qui restera relativement économique,
- De co-bénéfices très importants, en raison des importants volumes d'eau stockés, qui pourront avoir de nombreuses autres applications, en particulier en soutien à l'étiage des rivières.

Il faut se rappeler à ce sujet que la nécessité d'augmenter la capacité de régulation des cours d'eau, déjà évidente dans le Sud et le Sud-Ouest de la France, devrait s'accroître à l'avenir. Compte tenu du dérèglement climatique, il est probable que dans les décennies à venir la fonte des neiges des Pyrénées sera de plus en plus précoce, entraînant une disparition des crues tardives, et donc des étiages de plus en plus précoces et de plus en plus sévères (actuellement, le manteau neigeux sert de stock d'eau naturel, qui est restitué tardivement, au moment de sa fonte).

La fonte progressive des glaciers pyrénéens augmentera progressivement l'importance de ces mécanismes de régulation que permettent les STEP, les volumes d'eau déplacés étant plus importants et les disparités entre périodes de sécheresse et d'abondance hydriques plus marquées.

Pourquoi plus de STEP ?

Réussir la transition énergétique en 2050 et bien au-delà en construisant un système électrique efficace, économique et durable sur le très long terme

Diminuer les émissions de CO2 provenant des centrales thermiques utilisées pour couvrir les pics de consommation

Optimiser l'usage des sols et limiter l'impact dans l'espace en densifiant et optimisant l'usage des capacités de production électriques existantes : intermittentes (éoliennes et solaires), nucléaires, et hydroélectriques

Limiter l'extraction et le transport de minerais, qu'ils soient critiques et depuis à l'autre bout du monde ou commun mais en quantité dans des carrières ou des mines présentes ou à créer sur le territoire

Renforcer la robustesse du réseau électrique français mais aussi européen, en termes de stabilité et d'équilibre

Assurer un niveau de production d'électricité suffisant à la réindustrialisation et à la limitation du pilotage contraignant de la demande

Renforcer notre assise stratégique via plus de solidarité dans les équilibres européens, plus de capacité à absorber les chocs géopolitiques et une meilleure défense de la souveraineté française

Les STEP au-delà du bénéfice national et environnemental, un impact local positif net



ÉCONOMIE LOCALE

Des retombées économiques pendant la construction et toute la phase d'exploitation

- Emplois directs
- Activités pour les entreprises locales
- Développement ou remise à neuf d'infrastructures
- Taxes et redevances payées par l'exploitant aux collectivités locales



GESTION DE L'EAU

Une gestion de l'eau optimisée aux bénéfices environnementaux, économiques et humains de plus en plus importants au regard des évolutions climatiques

En cas d'évènements climatiques extrêmes ou prolongé :

- Soutien d'étiage (éviter l'assèchement des cours d'eau en période de sécheresse)
- Protection par rapport au risque de crues
- Maintien des activités agricoles, industrielles et de l'approvisionnement en eau potable en période de tension hydrique
- Sauvegarde de la biodiversité
- Renforcement des moyens de lutte contre les feux de forêt



VIE LOCALE

Des activités touristiques et patrimoniales à la main des collectivités, autour de vallées décaissées

- Activités et habitations le long des cours d'eau
- Activités et habitations au bord des lacs
- Points d'intérêt pour les visiteurs et les curieux
- Destination pour les randonneurs



Vue sur le lac de Serre-Ponçon – Images - Wikimedia Commons auteur : Pline

1.2.

Base de données topographique utilisée

L'ensemble des études présentées ici a été réalisée avec la base de données topographique « Copernicus », fournie par l'ESA (European Space Agency). Cette base de données peut présenter des écarts, parfois significatifs, avec la topographie réelle, particulièrement dans les zones très boisées ou accidentées.

Compte tenu du caractère local des imprécisions, les capacités des réservoirs estimées sur la base de cette topographie peuvent être considérées comme proches de ce qui serait obtenu avec une topographie plus précise. En revanche, s'agissant des barrages, il est possible que les hauteurs puissent, localement, être significativement différentes. Ces différences pourraient apparaître essentiellement au niveau des gorges, amenant à une sous-estimation possible des hauteurs maximales des barrages.

1.4.

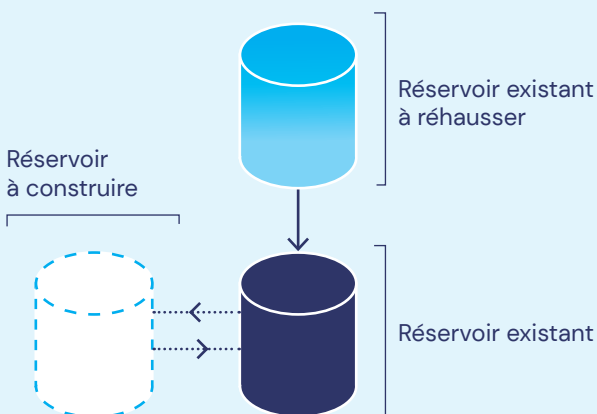
Légende des schémas

Les réservoirs sont représentés par des « fûts », qui sont de couleur bleu foncé dans le cas de réservoirs à construire (en bas à droite dans l'exemple proposé ci-dessous), de couleur bleu clair dans le cas de réservoirs existants (en bas à gauche dans l'exemple proposé ci-dessous), et avec un dégradé du bleu clair vers le bleu foncé dans le cas de réservoirs existants rehaussés (en haut dans l'exemple proposé ci-dessous).

Les flèches vers le bas indiquent une liaison hydraulique, avec usine de pompage – turbinage. Les doubles lignes horizontales en pointillés indiquent deux réservoirs mis en communication, à la même altitude, avec une liaison pouvant fonctionner dans les deux sens.

↓ Liaison hydraulique avec une usine de pompage – turbinage

↔ Deux réservoirs mis en communication à la même altitude



1.3.

Unités utilisées

[m³/s]

Débit d'eau

Mètre cube par seconde

Il correspond à un débit de 1 m³ en une seconde, soit 3600m³/h ou 60 000 L/min.

[hm³]

Volume d'eau

L'hectomètre cube

Il correspond au volume d'un cube de 100 m de côté, soit un million de mètres cubes. Cette unité est mieux adaptée que le m³, compte tenu des volumes d'eau dont il est ici question.

[GWh]

Énergie

Gigawattheure

Les stocks d'énergie potentielle créés par les réservoirs d'eau seront exprimés en GWh (ce qui n'inclut donc naturellement pas –sauf mention contraire– les pertes de charges et de transformation lors de la production d'électricité, qui sont couramment de l'ordre de 10 % à 12 %).

[MW] ou [GW]

Puissance

mégawatt et gigawatt

Il s'agit des unités classiques, comme pour l'énergie, il se n'agit pas ici spécifiquement d'unités de puissance électrique.

Aménagement n°1



Barrage de Naguilles - Photo Wikimedia Commons auteur Alan Maréchal

📍 Barrage de Naguilles

Il se situe dans le département des Pyrénées-Orientales sur les communes des Angles et de Angoustrine-Villeneuve-des-Escaldes pour ce qui concerne les étangs supérieurs, et dans le département de l'Ariège sur les communes d'Orlu, de Lesparrou, de Montbel et de Lérans pour ce qui concerne le reste de l'aménagement.

1.2. Intégration de l'aménagement n°1 dans le réseau hydrographique

Les deux réservoirs supérieurs se trouvent sur des bassins hydrographiques différents de l'ensemble des autres réservoirs de l'aménagement :

- L'étang de Lanoux se trouve sur le Carol, qui coule vers le Sud (vers l'Espagne), et est un sous-affluent de l'Èbre,
- Le lac des Bouillouses se trouve sur le Têt, un fleuve côtier qui se jette dans la mer Méditerranée.

L'ensemble des autres réservoirs se trouve sur le bassin versant de l'Ariège : les réservoirs de Naguilles et Orlu se jettent dans l'Ariège via un petit cours d'eau (l'Oriège). Les deux réservoirs aval se trouvent dans le bassin versant de l'Hers, qui est un affluent de l'Ariège.

Il est envisageable de coupler cet aménagement avec une prise d'eau dans l'Ariège au niveau d'Ax-les-Thermes (là où l'Oriège se jette dans l'Ariège), associée à une usine de pompage/turbinage de très faible capacité, qui permettrait de prélever des débits dans l'Ariège en période humide, et de les restituer en période d'étiage.

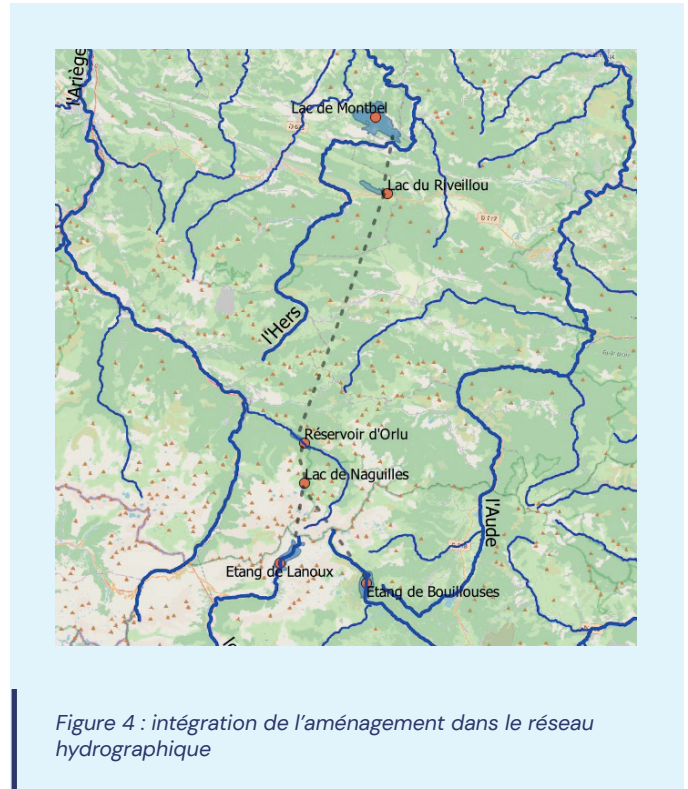


Figure 4 : intégration de l'aménagement dans le réseau hydrographique

1.3. Exploitation de l'aménagement n°1

Le schéma suivant permet de montrer où sont localisés le stockage d'énergie et la production d'énergie.

Il est donc pertinent de limiter les débits transitant dans les transferts amont et aval, et de maximiser les débits du tronçon central. Une telle démarche conduit à limiter les coûts des travaux souterrains pour les transferts les plus longs, tout en maximisant pour un coût raisonnable la puissance disponible en pointe.

Pendant des épisodes d'une à quelques semaines de tension du réseau, cela permet de produire de l'électricité en continu, ou presque, avec les transferts amont et aval. Le transfert central, de plus grande capacité, pourrait être limité à un soutien aux heures de pointe, pendant lesquelles le réseau est le plus sollicité.

A titre d'exemple, et dans l'hypothèse d'une durée de turbinage réversible de 200 h (i.e. ne saturant pas la capacité du réservoir inférieur), le débit correspondant est d'environ 270 m³/s dans les transferts amont et aval (pour l'aménagement médian)¹.

En dimensionnant le tronçon central pour turbiner à pleine capacité pendant 40 % du temps, cela correspond, pour le transfert central, à un débit 2,5 fois plus élevé. Soit une puissance, pour l'usine médiane, d'environ 5,5 GW électriques (après perte de charges et de conversion). Parallèlement, la puissance totale, produite, elle, en continu, par les autres médianes, serait de l'ordre de 1,9 GW.

Ces puissances dépendent naturellement de la constante de temps choisie : la durée de 200 h, comme le coefficient 40 % sont ici arbitraires. Des études intégrant l'ensemble du réseau électrique, ainsi que d'autres projet de STEP, sont nécessaires afin de déterminer quelles sont les constantes de temps optimales pour cet aménagement.

¹ Il s'agit de débits et de longueurs de transfert similaires à l'aménagement SNOWY 2.0, actuellement en construction en Australie.

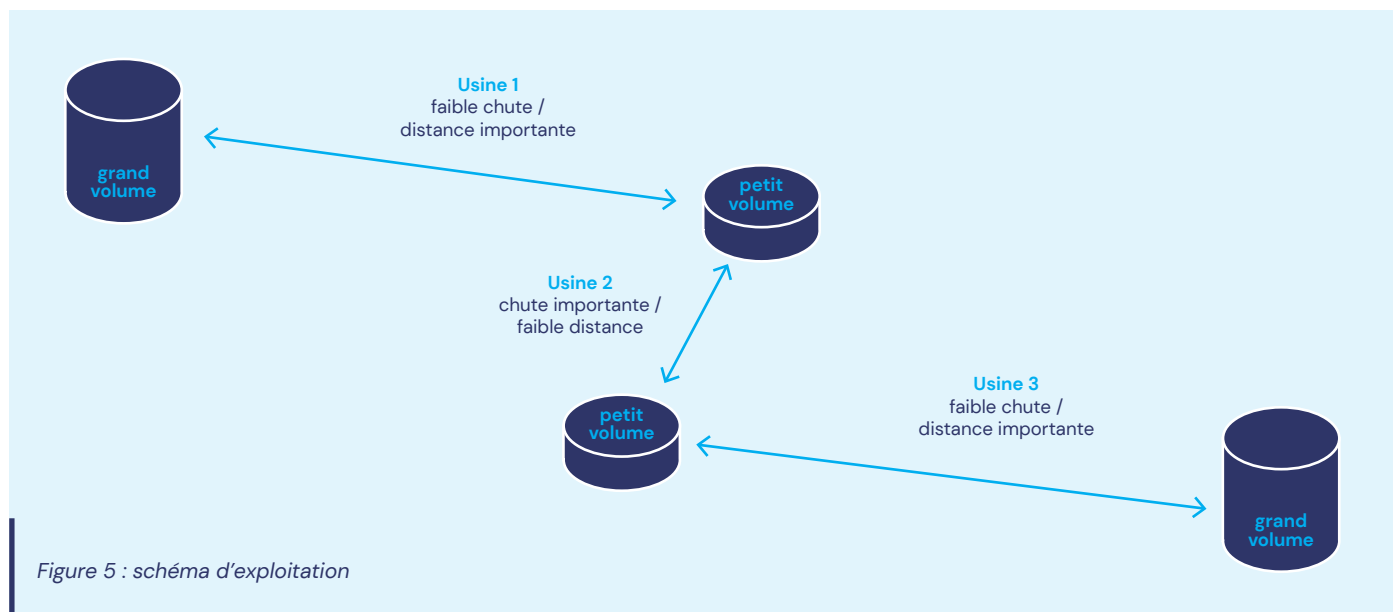


Figure 5 : schéma d'exploitation

1.4. Intégration avec les aménagements hydroélectriques existants

Deux cascades hydroélectriques, au départ des deux réservoirs supérieurs, permettent d'assurer une production électrique, non réversible.

La production d'électricité au départ du réservoir des Bouillouses a également vocation à assurer l'alimentation du Têt, et donc de servir de soutien d'étiage. Ce fonctionnement devra donc perdurer, avec potentiellement une capacité à alimenter le Têt depuis des réservoirs qui auront été remplis avec des eaux en provenance de l'Ariège, ce qui améliorera la production de cet aménagement aussi bien que le soutien d'étiage du Têt.

La production d'électricité au départ de l'étang de Lanoux renvoie les eaux dans l'Ariège, ce qui ne présente pas d'intérêt par rapport aux schémas déjà présentés. L'aménagement pourra néanmoins offrir un complément de puissance utile en période de pointe, en vidant une partie de l'eau présente dans l'aménagement, sans que cela pose de problèmes, l'aménagement recevant une alimentation naturelle, et étant donné la possibilité de prélever de l'eau dans l'Ariège quand les débits dans cette rivière sont importants.

02. Impacts sociaux et environnementaux, co-bénéfices

2.1. Impacts sociaux des réservoirs

Les travaux de rehaussement des réservoirs supérieurs n'occasionnent aucun impact direct sur des habitations, des voies de communication, ou sur d'autres activités économiques.

Le réservoir d'Orlu impactera (soit directement, soit plus probablement par une coupure de la route d'accès) certains bâtiments, qui semblent liés à la centrale hydroélectrique existante, ou à des espaces touristiques associés, sans impact attendu cependant, une nouvelle voie d'accès devant être construite dans le cadre de l'aménagement.

Le Lac de Riveillou (nouveau réservoir ; cf. annexe) est celui qui présente les impacts sociaux les plus importants : on dénombre environ 15 à 20 bâtiments qui seraient noyés par le réservoir, dont la moitié environ seraient des maisons ou hôtels. De plus, une route départementale (D205) serait coupée, avec possibilité d'une déviation sur la D117, qui longerait le réservoir. Il faut rappeler que ce réservoir n'est pas nécessaire dans la variante basse, et qu'il est également envisageable de s'en dispenser dans la variante médiane, au prix d'une augmentation du niveau du Lac de Montbel.

Le Lac de Montbel présente lui aussi des impacts sociaux, fortement dépendants de la cote de rehaussement retenue. Avec la cote présentée en option médiane, le quartier « Montbel d'en Bas » (5 ou 6 bâtiments, dont 1 restaurant, un atelier d'art, et 2 habitations) serait noyé, ainsi que le hameau « les Baylards », au Sud du lac (environ 5 à 10 bâtiments).

Ce dernier hameau serait épargné dans le cas de l'option basse.

En revanche, dans l'option haute, le centre de Montbel avec une quinzaine de bâtiments, dont la Mairie et l'église, serait directement impacté, ainsi que la zone basse du camping.

Globalement, on dénombre 5 ou 6 bâtiments qui seraient impactés dans l'option basse, une trentaine dans l'option médiane et une quarantaine dans l'option haute avec une église et une mairie.

2.2. Impacts environnementaux

Les deux réservoirs supérieurs se trouvent dans une zone Natura 2000¹ très vaste (approximativement 30 km de longueur sur 15 km de largeur), que le projet d'augmentation de capacité des réservoirs ne devrait pas modifier –significativement. Il ne conduirait qu'à décaler, suivant les endroits, le plus souvent entre 50 m et 150 m la limite existante déjà entre la montagne et lac. Pour autant, dans l'état actuel de la réglementation, de telles opérations restent très difficilement envisageables et ne peuvent se justifier qu'au nom des bénéfices environnementaux obtenus, également très importants, en termes d'émissions carbone évitées d'une part et d'augmentation du soutien d'étiage d'autre part.

Au-delà de l'impact des réservoirs, l'impact du chantier à proprement parler ne doit pas être négligé : des travaux d'augmentation de capacité de barrages impliquent une logistique importante, qui peuvent poser des difficultés quand ils ont lieu dans des périmètres classés.

Cet enjeu est plus particulièrement critique dans le cas de l'étang de Lanoux, du fait de l'absence de route d'accès existante jusqu'au barrage. Ce point nécessite une attention particulière, raison pour laquelle l'option d'un rehaussement de ce réservoir a été écartée en option médiane.

L'étang de Naguilles se trouve en bordure de zone Natura 2000, et n'est de toute manière pas prévu d'être rehaussé.

Le réservoir d'Orlu resterait, lui aussi, à l'extérieur des zones protégées, ainsi que le lac de Riveillou.

Enfin, le lac de Montbel n'est concerné par aucune mesure de protection particulière.

2.3. Soutien d'étiage

A des fins d'amélioration de la gestion des eaux, il est proposé d'associer à cet aménagement une petite usine de pompage-turbinage située sur l'Ariège, à proximité d'Ax-les-Thermes, qui permettrait d'injecter de l'eau de la rivière dans le réservoir d'Orlu en période de crue de l'Ariège, et d'assurer un soutien d'étiage en période estivale. Cette petite centrale de prélèvement et de restitution, d'une puissance qui ne dépasserait pas environ 10 MW, n'a pas de rôle de stockage d'énergie, mais exclusivement de prévention des crues, et de soutien d'étiage.

Les apports de l'Ariège à Ax-les-Thermes sont de l'ordre de 350 hm³ par an. En acceptant une variation annuelle totale du volume dans l'aménagement de l'ordre de 100 hm³, cela permet de régulariser fortement les débits de l'Ariège, et même d'envisager une régularisation à l'échelle pluriannuelle (stocker davantage d'eau pendant les années humides, pour pouvoir faire face à des années sèches).

Compte tenu de l'interconnexion créée entre des bassins versants, il serait également possible de soutenir des étiages du Têt avec des débits en provenance de l'Ariège (l'inverse est également possible, même si moins probable, compte tenu de la faiblesse des apports naturels dans le réservoir de Bouillouses). Cette option peut être particulièrement pertinente compte tenu de la fréquence et de la sévérité des sécheresses dans le bassin versant du Têt.

¹ Les sites Natura 2000 visent une meilleure prise en compte des enjeux de biodiversité dans les activités humaines. Ces sites sont désignés pour protéger un certain nombre d'habitats et d'espèces représentatifs de la biodiversité européenne. La liste précise de ces habitats et espèces est annexée à la directive européenne oiseaux et à la directive européenne habitats-faune-flore.

2.4.

Autres co-bénéfices de l'aménagement

Outre l'augmentation des capacités de soutien d'étiage, qui amélioreront la qualité écologique des cours d'eau à l'aval, tout en permettant plus facilement le développement de l'agriculture, d'autres bénéfices secondaires peuvent être espérés :

- En été, grâce à une absence de besoin en stockage d'électricité sur des périodes supérieures à 24h, il sera possible de ne pas affecter significativement la cote des lacs, qui ne devraient pas subir de variations très importantes, particulièrement pour les réservoirs amont et aval (les deux principaux réservoirs sollicités seraient les réservoirs de Naguilles et Orlu), au bénéfice des activités humaines qui souhaiteraient s'y développer.
- Par ailleurs, le soutien d'étiage à l'aval du lac de Montbel, pourra être assuré par un re-remplissage tout au long de la période sèche. Ainsi, le réservoir de Montbel, pourra, à la saison touristique, afficher un remplissage important et un niveau constant, optimal pour le développement des activités nautiques et touristiques,
- Au-delà de cette stabilité du nouveau plan d'eau (il n'est pas du tout stable aujourd'hui), celui-ci verra sa superficie significativement augmentée, renforçant l'intérêt touristique du lac,
- Le plan d'eau pendant l'été offrira une ligne droite de 4km suivant une direction Est-Ouest, et de 2,5km suivant une direction Nord-Sud. En cas d'incendie de forêt dans la région, il constituerait une réserve d'eau aisément utilisable par les avions bombardiers d'eau destinés à la limitation de la propagation des feux de forêt. Cela pourrait représenter une amélioration significative de l'efficacité des moyens aériens de la sécurité civile sur le département de l'Ariège et sur l'Est du département de l'Aude.



Aménagement n°2

Vue aérienne du barrage de Gnioure – Wikimedia Commons photo ©Jean-François Trinchero

📍 Le barrage de Gnioure, en amont de l'aménagement n°2

Ce deuxième aménagement se situe en totalité dans le département de l'Ariège, à cheval sur les communes d'Auzat, de Lercoul, de Siguer, de Gestières, de Baulou, de Aigues-Juntas, de La Bastide-de-Sérou, de Gabre et du Mas-d'Azil.

01. Présentation de l'aménagement n°2

1.1. Principe

L'aménagement n°2 présente une similitude importante avec le précédent : dans les Pyrénées, il connecte des réservoirs d'altitude existants avec des lacs se trouvant à une distance importante au pieds des montagnes, qu'il est nécessaire de rehausser pour absorber le volume des réservoirs d'altitude.

Cet aménagement est lui aussi présenté avec trois options aux différences très marquées que ce soit en termes de capacités ou d'impacts.

Les réservoirs supérieurs sont :

- L'étang de Gnioure, réservoir existant, qu'il est prévu de rehausser,
- L'étang de Soulcem, réservoir existant, qu'il est prévu de rehausser,
- Selon les options, le lac de Bassies, qui correspond à un ensemble de lacs naturels, qu'il est envisagé de rehausser

pour le transformer en lac artificiel (la plupart des lacs des Pyrénées sont des lacs qui étaient naturels à l'origine et qui ont déjà été rehaussés),

- Selon les options, deux projets de nouveaux réservoirs, nommés « Soulcem supérieur », immédiatement en amont de l'étang de Soulcem, et « Peyregrand supérieur », dans une vallée adjacente, peuvent être envisagés.

Les réservoirs inférieurs sont :

- Les lacs de Filheit et de Mondély, qu'il est prévu de fortement rehausser,
- Pour l'option la plus haute uniquement, un nouveau réservoir, nommé lac de Fajal pourrait être creusé.

Figure 7 – Schéma option basse

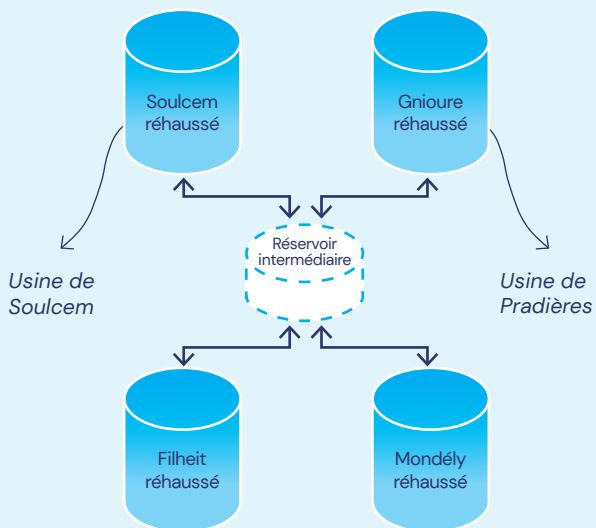


Figure 7ter – Schéma option haute

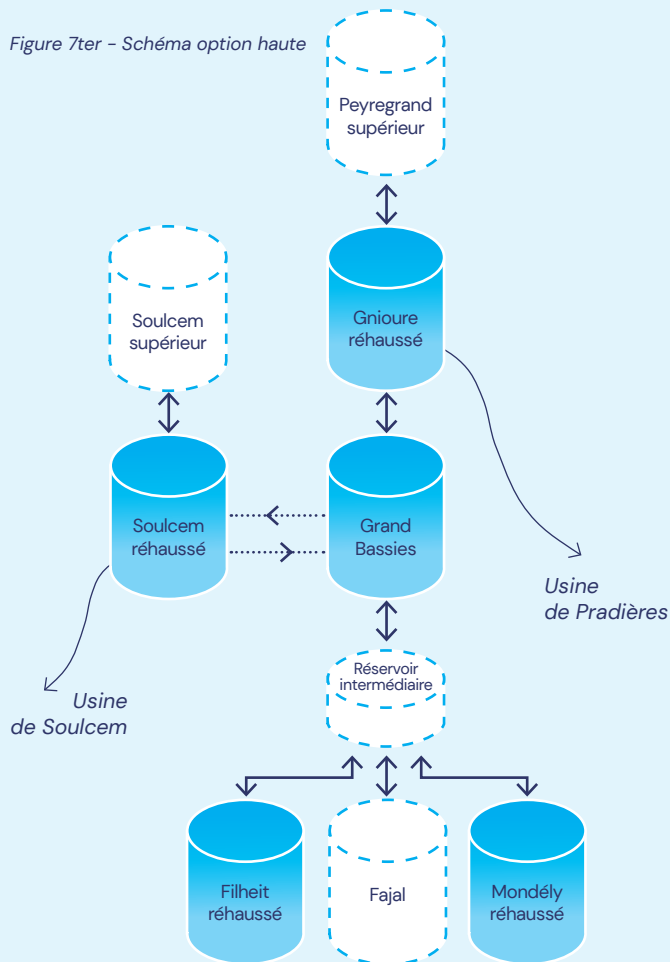


Figure 7bis – Schéma option médiane

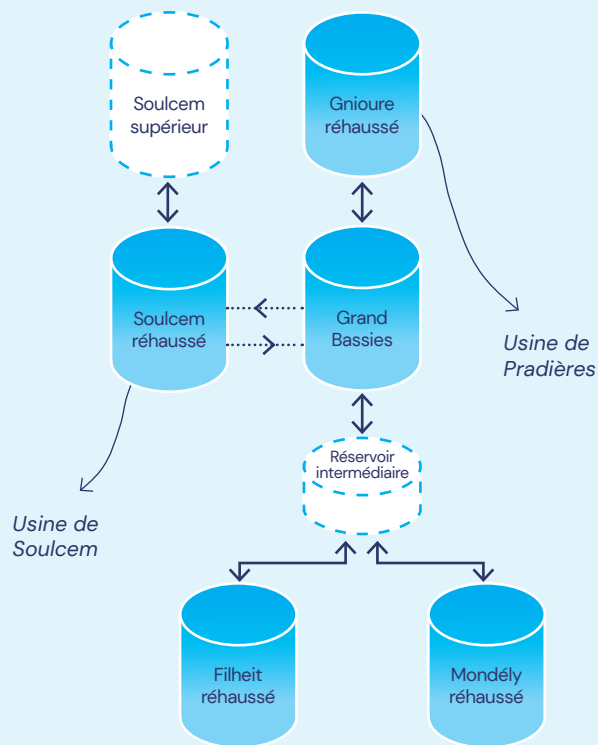


Figure 6 : Aménagement n°2 – positionnement sur la carte

La carte géographique donne un aperçu de la localisation dans l'espace des différents réservoirs de l'aménagement tandis que les schémas fonctionnels présentent l'organisation des différents réservoirs les uns par rapport aux autres dans les trois options basse, médiane et haute.

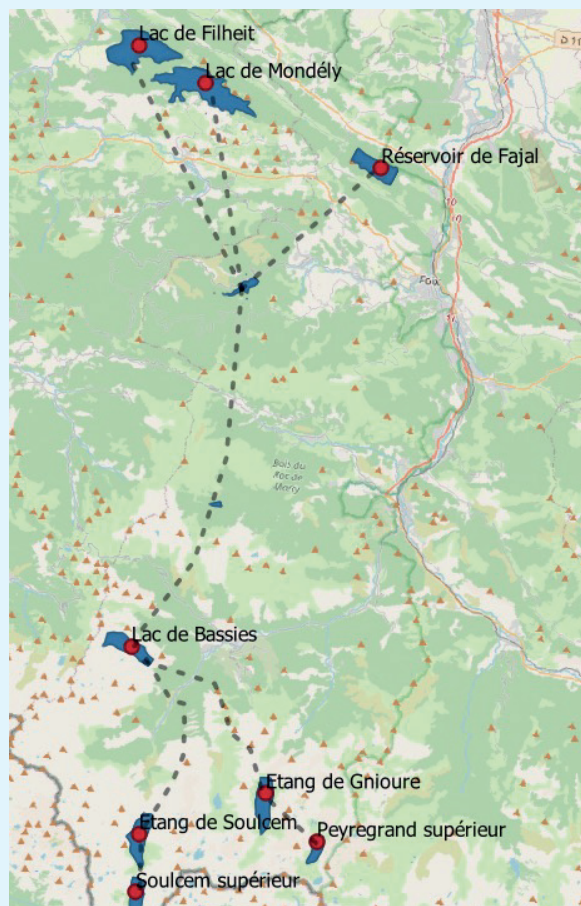


Figure 8 – caractéristiques des différentes options présentées

	Option basse	Option médiane	Option haute
Volume d'eau stocké réversiblement	275 hm ³	480 hm ³	550 hm ³
Quantité d'énergie «réversible»	1 000 GWh	1 820 GWh	2 330 GWh
Puissance moyenne correspondante sur 200h	5 GW	9,1 GW	11,65 GW

La hauteur moyenne turbinée entre les réservoirs supérieurs et inférieurs est comprise entre 1 300 et 1 400 m dans les variantes basse et moyenne, et supérieure à 1 500 m dans la variante haute.

1.2. Intégration de l'aménagement n°2 dans le réseau hydrographique

Les réservoirs supérieurs se trouvent tous sur le bassin du ruisseau de Vicdessos, qui se jette dans l'Ariège entre Pamiers et Toulouse.

Les deux réservoirs inférieurs principaux se jettent dans l'Arize et la Lèze, qui se jettent tous deux dans l'Ariège au Sud de Toulouse ; le 3^{ème} réservoir (option haute uniquement) se jette directement dans l'Ariège.

L'ensemble des réservoirs se trouve dans le grand bassin versant de l'Ariège.

Compte tenu des précipitations naturelles interceptées par les réservoirs supérieurs, il n'est pas nécessaire de prévoir d'alimentation spécifique (pour le remplissage initial, pour compenser l'évaporation, etc.). Toutefois, il serait envisageable de mettre en place une station de pompage / turbinage de faible capacité, sur l'Ariège en amont ou en aval de Foix et/ou sur l'Arize, au niveau du Mas d'Azil, afin d'utiliser les capacités de l'aménagement pour assurer du soutien d'étiage de l'Ariège.

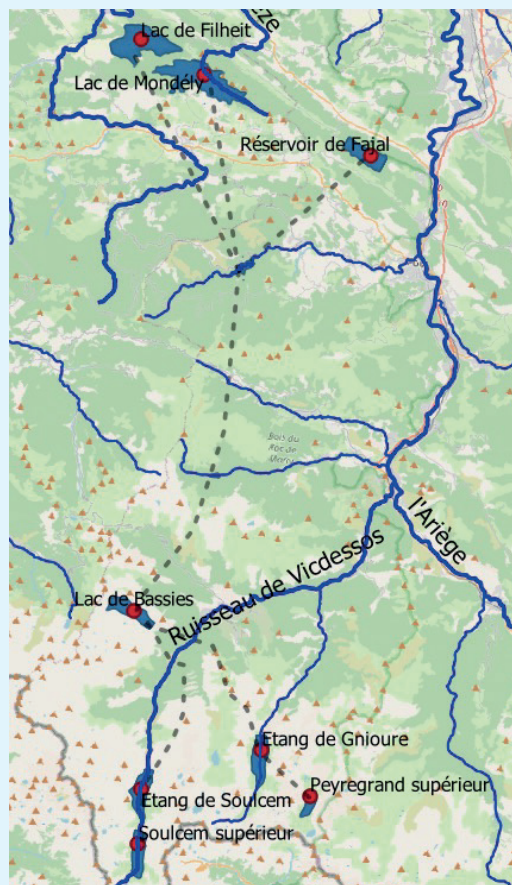
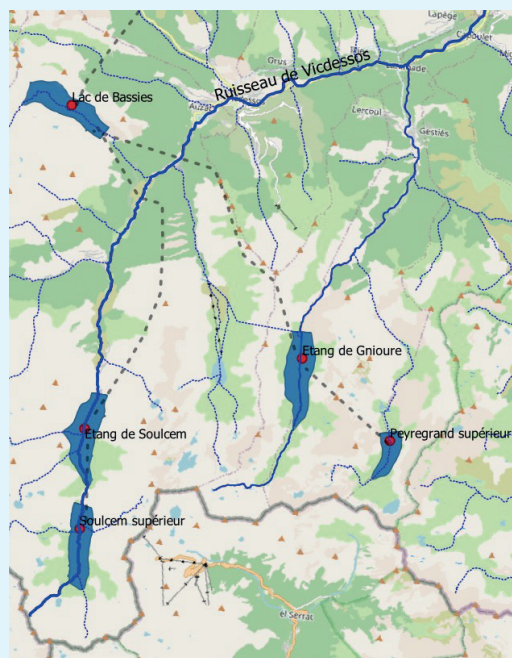
1.3. Intégration avec les aménagements hydroélectriques existants

Comme dans l'aménagement précédent, deux cascades hydroélectriques existantes turbinent les eaux en provenance de réservoirs exploités par l'aménagement.

Les usines de tête de ces deux cascades sont la centrale hydroélectrique de Pradières, qui turbine des eaux en provenance notamment de l'étang de Gnioure et de l'étang d'Izourt, et la centrale de Soulcem qui turbine les eaux de l'étang de Soulcem.

Ces deux centrales hydroélectriques pourraient continuer à opérer, ce qui offrirait une capacité d'appoint non réversible pour les pics de demande du réseau.

Figure 9 – Aménagement n°2 – intégration de l'aménagement dans le réseau hydrographique



02.

Impacts sociaux et environnementaux, co-bénéfices

2.1.

Impacts sociaux des réservoirs

Les réservoirs supérieurs n'occasionnent aucun impact direct sur des habitations, des voies de communication, ou des activités économiques. Les aménagements hydroélectriques existants de Pradères et Soulcem pourront être conservés, moyennant quelques adaptations.

Le réservoir de Filheit rehaussé conduit à noyer environ 15 bâtiments (seulement environ 5 à 7 dans l'option basse). Seule une voie communale, sans issue, qui s'achève dans le réservoir, est coupée par ce réservoir.

Le réservoir de Mondély rehaussé conduit à noyer environ 20 bâtiments, dont la majorité seront également affectés dans l'option basse. Une route communale est également coupée ; elle est essentiellement destinée à desservir les bâtiments isolés qui sont affectés par le réservoir.

Le réservoir de Fajal se trouve sur un col, fermé par un barrage de chaque côté. Aucun bâtiment ni aucune voie de communication n'est interceptée par ce réservoir.

Au total, environ 5 à 7 bâtiments seraient affectés dans l'option basse, et environ 35 dans les options médianes et hautes.

2.2.

Impacts environnementaux

Aucun réservoir de cet aménagement n'intercepte de zone Natura 2000 ou de parc national.

Les travaux prévus sur les lacs inférieurs ne posent pas de problème environnemental.

En revanche les travaux qui seraient nécessaires dans la partie supérieure de l'aménagement sont importants et le chantier aurait un impact significatif qui nécessiterait la construction de pistes, et engendrerait un trafic logistique important pendant la durée du chantier.

Cette difficulté affecte principalement l'aménagement de Peyre-grand supérieur, avec un barrage de très grande dimension, dans une vallée qui n'est pas accessible à des véhicules. C'est en partie pour cette raison que ce réservoir n'a été présenté que dans l'option haute.

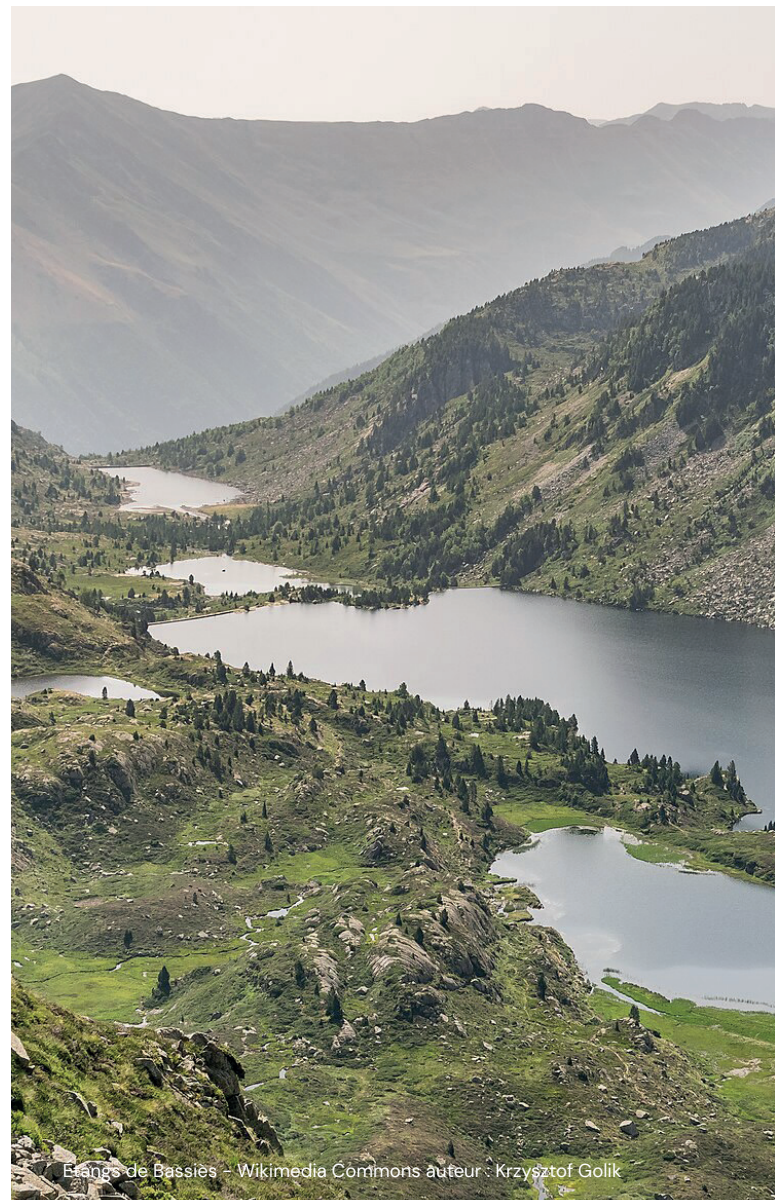
Cette difficulté affecte également le réservoir de Bassiès, même si les barrages ne sont pas de très grande taille, car il n'existe pas de voie d'accès aux véhicules. Pour le barrage de Gnioure il existe une voie d'accès, datant de la construction du barrage, mais il n'est pas certain que celle-ci soit encore praticable, ni qu'elle corresponde aux exigences actuelles de sécurité.

Parallèlement, même si elles ne sont pas classées, certaines de ces zones sont des zones de passage de chemins de randonnée, et il est possible que de fortes oppositions se fassent jour contre des projets qui dénatureraient le paysage. Ce risque est particulièrement important dans le cas du réservoir de Bassiès, puisqu'un ensemble de lacs naturels seraient artificialisés. Aussi, cette alternative n'est pas proposée en variante basse.

2.3.

Co-bénéfices de l'aménagement

Les deux cascades hydroélectriques existantes permettent d'assurer un soutien d'étiage qui concerne le bassin versant de l'Ariège. En outre, comme pour l'aménagement n°1, l'intérêt pour les lacs inférieurs de Filheit et Mondély pourrait se voir renforcé : en été, grâce à une absence de besoin en stockage d'électricité sur des périodes supérieures à 24 h, il sera possible de ne pas affecter significativement la cote des lacs. Des activités nautiques et touristiques pourraient alors s'y développer. Ces réservoirs constitueraient par ailleurs des réserves d'eaux pour lutter efficacement contre les feux de forêt.



Etangs de Bassiès – Wikimedia Commons auteur : Krzysztof Golik

Aménagement n°3

Barrage de Cap-de-Long | Wikimedia Commons, auteur : Clo-Pontduch

📍 Le barrage de Cap de Long, en amont de l'aménagement n°3

L'aménagement n°3 se situe en totalité dans le département des Hautes-Pyrénées, à cheval sur les communes d'Aragnouet, de Saint-Lary-Soulan, de Vieille-Aure, de Bourg-de-Bigorre, de Castillon, de Bonnemazon, de Argelès-Bagnères, de Bettès, d'Espieilh, de Barbazan-Dessus, d'Hitte, de Bernac-Dessus, de Vieille-Adour et de Orignac.

01. Présentation de l'aménagement n°3

1.1. Principe

Les réservoirs supérieurs sont :

- Le réservoir principal, le lac de Cap de Long, constitué initialement de deux lacs naturels, qui ont été fermés par un barrage de 18 m de hauteur, réhaussé ultérieurement à une hauteur de 85 m. Ce réservoir est prévu d'être utilisé dans toutes les configurations sans qu'il soit nécessaire de le rehausser à nouveau,
- Le réservoir d'Aubert, qu'il n'est prévu d'exploiter (et de rehausser) que dans les variantes médiane et haute,
- Le réservoir d'Orédon, qu'il ne semble pas possible techniquement de rehausser sur son emplacement actuel. Il n'est pas prévu d'être exploité dans la variante basse mais il est prévu d'être exploité à sa cote actuelle dans la variante médiane. Dans la variante haute, il est envisagé de rehausser le réservoir, en construisant un barrage de hauteur plus importante, dans des gorges situées à quelques centaines de mètres à l'aval du barrage actuel,
- Le réservoir de l'Oule, fermé par un barrage d'une hauteur initiale de 30 m, et qui a déjà été rehaussé à une hauteur de 50 m environ, est prévu d'être utilisé en l'état dans la variante basse, et d'être rehaussé dans les deux autres variantes (une trentaine de mètres dans la variante médiane, et un peu plus d'une cinquantaine dans la variante haute).

Deux sites de réservoirs inférieurs ont été identifiés. Ils correspondent à des aménagements à construire, qui ont été baptisés « Escaladiou » et « Arrêt Darré ». L'ensemble des variantes peut être conçu avec une priorité mise sur l'un de ces deux réservoirs.

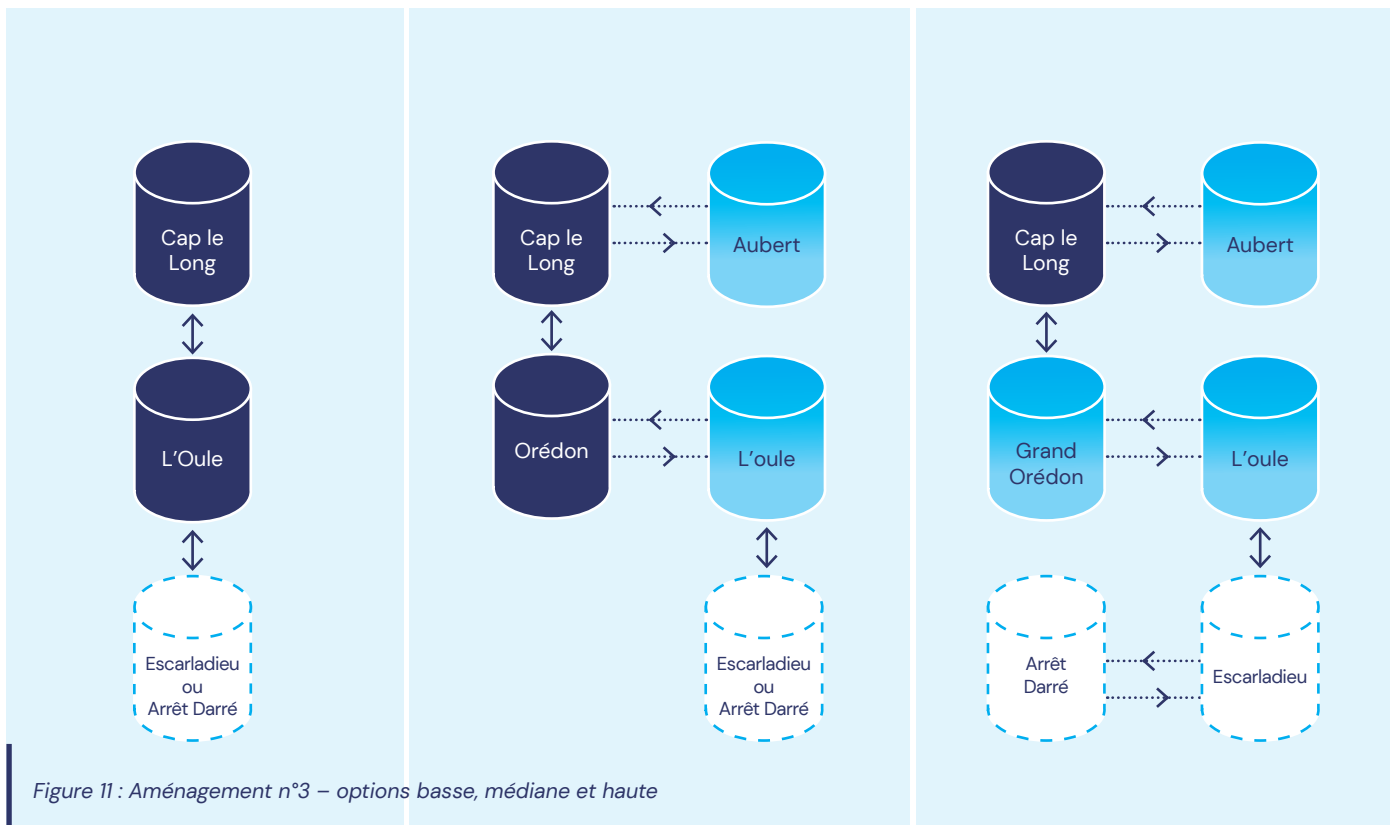


Figure 11 : Aménagement n°3 – options basse, médiane et haute

Dans les variantes basse et médiane, un seul des deux aménagements est nécessaire. Dans la variante haute, il est nécessaire de réaliser les deux aménagements, mais sans qu'il soit nécessaire de les exploiter tous deux aux cotes maximales étudiées. Il est également possible de les exploiter à la même cote, pour simplifier l'exploitation de l'aménagement.

La carte géographique donne un aperçu de la localisation dans l'espace des différents réservoirs de l'aménagement tandis que les schémas fonctionnels présentent l'organisation des différents réservoirs les uns par rapport aux autres pour les trois options.

Schématiquement, l'aménagement est un aménagement en série de deux usines de pompage turbinage :

- Une 1^{ère}, entre les deux réservoirs supérieurs (ou paires de réservoirs supérieurs) avec une faible hauteur de chute de l'ordre de 250 m,
- Une 2^{ème}, entre les plus bas des réservoirs supérieurs et le réservoir inférieur. La hauteur de chute est très importante, de l'ordre de 1500m, avec également une distance importante imposant probablement de « casser » la chute en deux, voire en trois, avec des usines intermédiaires et des réservoirs tampons de très faible capacité. Certains réservoirs existants de très faible capacité pourraient être utilisés à cet effet.

Dans la variante basse, seuls les deux réservoirs ayant la plus grande capacité (Cap de Long et l'Oule) sont utilisés. Ils seront liés par une première usine ; et le réservoir de l'Oule est lui-même lié à un réservoir inférieur situé à grande distance, à basse altitude, et pouvant contenir la totalité du volume des deux réservoirs supérieurs.

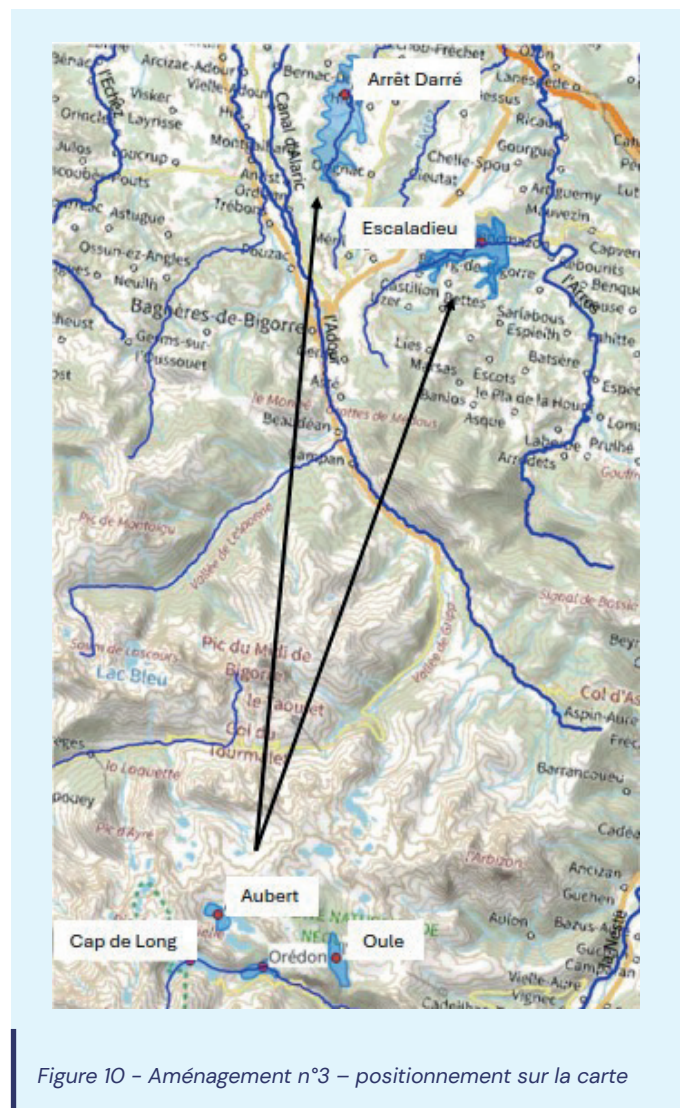


Figure 10 – Aménagement n°3 – positionnement sur la carte

La variante médiane est similaire dans son principe, mais les barrages d'Aubert et de l'Oule sont rehaussés, de manière à pouvoir créer une circulation à double sens entre les deux paires de réservoirs. Cela permet de n'utiliser qu'une seule usine hydroélectrique entre les deux couples de réservoirs, tout en utilisant la totalité des volumes des réservoirs. Cela permet également une nette diminution de la longueur de l'aménagement hydroélectrique de tête (distance entre les réservoirs qui passe d'environ 5 km à 1,5 / 2 km).

La variante haute reprend le principe précédent, en cherchant à augmenter la capacité de l'aménagement en rehaussant la cote d'exploitation des ouvrages.

Cette augmentation de cote n'a été imaginée que pour le couple « Orédon / Oule », pour de nombreuses raisons :

- La périphérie du barrage de Cap de Long se trouve en cœur de parc national, dans lequel il a été jugé qu'aucune nouvelle construction ne pouvait être envisagée,
- Les conditions topographiques de l'appui rive droite du barrage de Cap de Long font douter de la possibilité technique de rehausser celui-ci,
- Les conditions topographiques au niveau du barrage d'Aubert, avec une topographie en fond de vallée qui descend fortement, conduirait à des ouvrages de très grande dimension,
- L'augmentation du niveau du barrage d'Aubert conduirait à la construction de digues de longueur bien plus importante que dans la variante médiane, jugée déraisonnable.

Figure 12 : Aménagement n°3 – caractéristiques des différentes options présentées

	Option basse	Option médiane	Option haute
Volume d'eau stocké réversiblement	75 hm ³	120 hm ³	160 hm ³
Quantité d'énergie «réversible»	330 GWh	500 GWh	650 GWh
Puissance moyenne correspondante sur 200h	1,15 GW	2,5 GW	3,25 GW

Cet aménagement aurait pu être complété par un réservoir supplémentaire, situé à une quinzaine de kilomètres (vallée immédiatement en amont du barrage des Gloriettes), et qui aurait pu se trouver en iso-altitude avec les réservoirs d'Orédon et/ou de l'Oule, augmentant considérablement la quantité d'énergie stockée dans l'aménagement. Ce complément (potentiel de 400 à 500 GWh) n'a pas été intégré à cette étude, même en variante haute, car il aurait conduit à créer un nouvel aménagement, avec barrage de très grande dimensions (similaire au barrage de Tignes), dans une vallée sensible d'un point de vue environnemental (située dans une zone classée Natura 2000 et Parc National). Afin de pouvoir intégrer ce réservoir supérieur supplémentaire de manière parfaitement réversible, il aurait par ailleurs été nécessaire, dans le cadre de la variante haute, de réaliser les deux réservoirs inférieurs, tous les deux à leurs capacités maximales.

1.2.

Intégration de l'aménagement n°3 dans le réseau hydrographique

Les quatre réservoirs supérieurs se trouvent dans le bassin versant de la Neste d'Aure, qui coule vers le Nord-Est, avant de rejoindre la Garonne à Toulouse.

Les deux réservoirs inférieurs se trouvent sur des affluents de l'Arros, qui se jette elle-même dans l'Adour (en amont de Aire sur l'Adour).

Il convient également de mentionner que des aménagements existants conduisent, actuellement, à dériver des eaux hors de leurs bassins versants naturels :

- Des aménagements hydroélectriques d'EDF, qui turbinent des débits de certains des réservoirs supérieurs vers la Gave de Pau (qui rejoint l'Adour peu avant l'océan),
- Le canal de Neste qui prélève des débits dans le Neste, les redirigeant vers l'Arros.

Compte tenu des précipitations annuelles, il n'est probablement pas nécessaire de prévoir de dispositif de prélèvement additionnel pour remplir l'aménagement, mais un tel dispositif pourrait aisément être envisagé, avec prélèvement dans l'Adour, en direction de l'un des deux réservoirs aval envisageables.

La restitution des débits au milieu naturel, en période d'étiage, peut se faire, sans aménagement particulier, de deux manières :

- Par les cascades hydroélectriques existantes soit vers la Neste d'Aure soit vers la Gave de Pau,
- Pas des dispositifs de restitution à prévoir dans l'aménagement aval (rivière dépendante du réservoir aval choisi),

Il est également envisageable d'alimenter directement l'Adour depuis le réservoir aval, dans les deux cas.

Cet aménagement offre donc la possibilité, en période d'étiage, de choisir quels bassins versants devront être prioritairement alimentés.

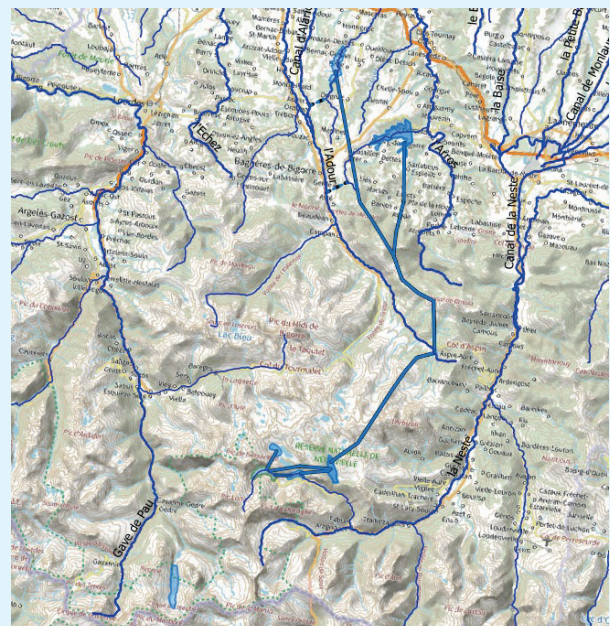


Figure 13 : Aménagement n°3 – intégration de l'aménagement dans le réseau hydrographique

1.3.

Intégration avec les aménagements hydroélectriques existants

Les réservoirs de Cap Long et Aubert sont exploités par EDF ; les réservoirs d'Orédon et de l'Oule sont exploités par la Société Hydro-Électrique du Midi (SHEM).

Ces deux paires de réservoirs appartiennent en effet à deux aménagements hydroélectriques distincts :

- Pour EDF (Cap Long et Aubert), ces deux réservoirs font partie de l'aménagement de Pragnières, un ensemble complexe de deux usines hydroélectriques (Pragnières et Luz), quatre réservoirs (Oussoué, Cap de Long, Aubert, et Escoubous), des stations de pompage, et environ 40 km de galeries souterraines. L'ensemble des eaux captées et turbinées se retrouvent finalement restituées dans la Gave de Pau, au niveau de l'usine de Luz,
- Pour la SHEM (Orédon et l'Oule), ces deux réservoirs sont les réservoirs de tête d'un aménagement hydroélectrique comprenant l'usine d'Eget (37 MW, production annuelle : 85,8 GWh), et restituant les eaux dans la Gave d'Ossau.

Les questions relatives au partage des eaux entre les aménagements de Cap de Long et d'Orédon font l'objet de difficultés entre la SHEM et EDF¹, et il semble évident que des difficultés bien plus importantes se feraient jour si l'ensemble des réservoirs étaient mis à contribution dans le cadre du projet de l'aménagement n°3. Il semble donc que, du point de vue administrativo-financier également, cet aménagement soit particulièrement complexe, puisqu'il faudrait fusionner des aménagements appartenant à des exploitants concurrents.

Cependant les aménagements hydroélectriques existants ne sont à priori pas impactés directement par les projets proposés :

- S'agissant de l'aménagement EDF, la cote supérieure de la cascade hydroélectrique est définie par le réservoir de Cap de Long, dont la cote est maintenue inchangée dans tous les scénarios présentés
- S'agissant de l'aménagement SHEM, la cote supérieure est définie par le réservoir de l'Oule, prévu d'être rehaussé dans les options moyenne et haute. Compte tenu de la faible augmentation relative de charge sur les conduites forcées et les groupes, il est probable que le maintien de la cascade ne pose pas non plus de difficultés.

02.

Impacts sociaux et environnementaux, co-bénéfiques

2.1.

Impacts sociaux des réservoirs

Les réservoirs supérieurs n'occasionnent quasiment aucun impact direct sur des habitations², voies de communication, ou autres activités économiques, à l'exception majeure des activités touristiques dans le massif du Néouvielle, qui pourraient être impactées à plusieurs titres :

- En cas de rehaussement de certains des ouvrages, les paysages seraient modifiés. Il n'est pas aisé de définir à l'avance si ces modifications seront de nature à rendre le massif moins ou plus attractif pour les randonnées et autres activités touristiques,
- En cas d'utilisation en STEP, le rythme de marnage des ouvrages serait modifié, avec des variations de niveau qui ne se feraient plus, comme actuellement, sur un rythme essentiellement annuel. Là encore, il n'est pas certain que cette modification soit de nature à rendre les sites moins attractifs pour le tourisme,
- Le parc de stationnement en rive gauche du lac d'Orédon, qui sert de départ à des randonnées, serait partiellement noyé dans la variante haute ; il est vraisemblable qu'il serait possible de le reconstituer à un autre endroit dans les environs.

Les impacts sociaux sont donc minimes pour les réservoirs supérieurs.

Les travaux de construction de nouveaux réservoirs dans la partie inférieure auront eux, cependant, des impacts non négligeables mais qui dépendent de l'option retenue puisque seul l'un des deux réservoirs, de l'arrêt Darré ou d'Escaladieu, serait construit dans les variantes basse et médiane. Environ 15 à 20 bâtiments pour Escaladieu et 5 à 10 bâtiments pour Darré devraient être déplacés si les deux réservoirs étaient construits et s'ils étaient exploités à leur cote maximale. Certaines pistes et voies communales seraient également affectées.

2.2.

Impacts environnementaux

L'aménagement n°3 est le plus sensible du point de vue environnemental : les quatre réservoirs supérieurs sont des lacs existants dans le massif du Néouvielle : le lac de Cap de Long, le lac de l'Oule, le lac d'Aubert, et le lac d'Orédon. Ces quatre réservoirs se trouvent dans des zones doublement classées (Natura 2000 et parc national), avec en outre une forte valeur patrimoniale et touristique.

Compte tenu du caractère extrêmement sensible du massif du Néouvielle, la simple augmentation de capacité de certains réservoirs posera des difficultés importantes. Aussi, la variante basse ne prévoit-elle aucune modification des quatre réservoirs supérieurs.

Pour les deux réservoirs inférieurs, de l'arrêt Darré ou d'Escaladieu, qui doivent être construits, aucun impact environnemental majeur n'est à signaler mais des terres agricoles seront inondées et des dédommagements sont à prévoir.

¹ www.courdecassation.fr/decision/export/6513c69eb8a50d83186994f3/1

² A priori, seul un restaurant situé à proximité immédiate du barrage d'Orédon serait impacté, par la variante haute uniquement.

2.3.

Soutien d'été et co-bénéfices

Comme les aménagements précédents, celui-ci dispose d'apports annuels en eau importants, qui peuvent être stockés, afin d'augmenter les débits des cours d'eau en période d'été.

Cet aménagement étant, comme l'aménagement n°1, multi-bassins, il permet, dans une certaine mesure, d'arbitrer entre différents cours d'eau devant être alimentés de manière plus ou moins prioritaire.

Comme pour les aménagements précédents, les réservoirs aval offrent une importante superficie. Ils peuvent donc être exploités en été avec une cote relativement élevée (les réservoirs supérieurs sont vidangés prioritairement), de manière à conserver un plan d'eau utilisable pour les activités nautiques de loisir et de tourisme.



Barrage de Cap-de-Long | Photo : Unsplash

Conclusion

Les aménagements présentés dans ce rapport s'inscrivent dans une logique ambitieuse de développement de STEP à très grande échelle.

Leur dimension exceptionnelle, notamment les longueurs de transfert souterrain, constitue une faiblesse évidente : ces distances importantes complexifient les travaux, augmentent les incertitudes géologiques, et peuvent fortement impacter les coûts. Ces longueurs s'accompagnent toutefois de hauteurs de chute très importantes, ce qui permet de maintenir un ratio longueur sur hauteur (L/H) élevé, mais raisonnable — comparable à celui d'aménagements comme SNOWY 2.0 en Australie, actuellement en construction.

Ce choix traduit une volonté assumée de viser des capacités de stockage très élevées, avec des durées caractéristiques de plusieurs centaines d'heures. Cela implique un coût du MW installé élevé, mais permet en contrepartie un coût du MWh stocké qui devrait sans difficulté s'avérer compétitif dans un marché offrant des conditions non biaisées de rémunération aux différentes technologies de stockage mises en compétition. Entre les variantes basse et haute, le potentiel brut identifié varie de 1 830 GWh à 4 280 GWh, à comparer avec environ 150 GWh / 200 GWh de potentiel total de STEP existant actuellement en France, et qui rendent déjà des services inestimables au réseau électrique.

Il ne s'agit pas d'un modèle unique dont le choix s'imposerait : des aménagements plus compacts, avec des puissances unitaires plus faibles et des linéaires réduits, pourraient être envisagés si seuls les besoins du système électrique étaient pris en considération. Or, plus les volumes d'eau mobilisés sont importants, plus les aménagements peuvent répondre à des usages multiples : stockage d'électricité, régulation des débits, soutien d'étiage, prévention des crues, sécurité incendie, et développement touristique et aujourd'hui l'adaptation au changement climatique en plus des efforts nécessaire à sa mitigation encouragent à envisager le développement d'autant de capacités que raisonnablement possible.

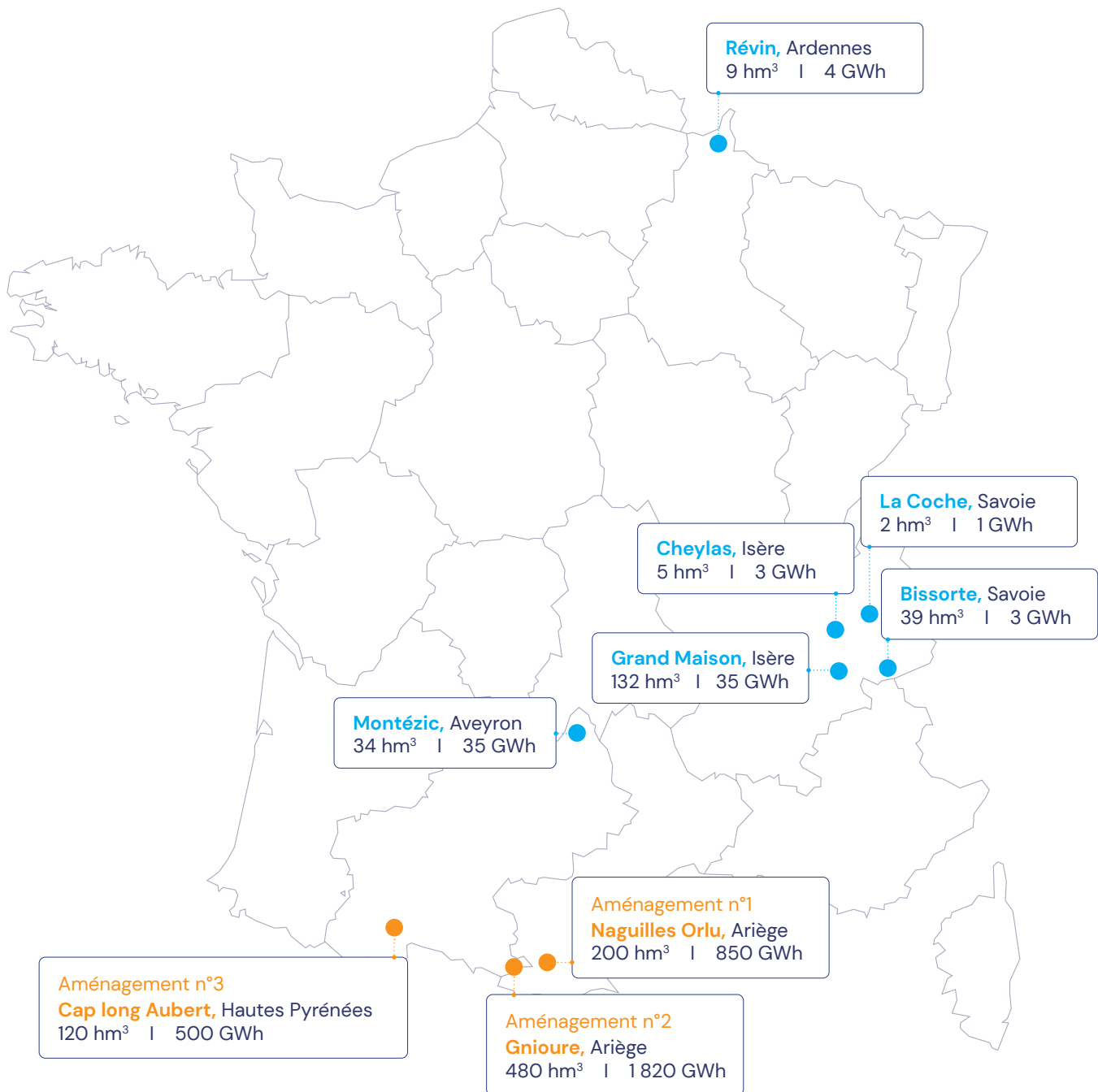
Ces projets doivent en effet être envisagés comme des outils de gestion intégrée de la ressource en eau, particulièrement adaptés aux territoires du Sud et du Sud-Ouest de la France. En réponse aux effets du changement climatique — fonte des neiges plus précoce, étiages plus longs et plus sévères — ils offrent une capacité précieuse de régulation annuelle, voire interannuelle, des débits. Ils participent ainsi pleinement à l'adaptation des territoires pyrénéens aux nouvelles réalités climatiques.

Enfin, ces aménagements doivent également être pensés à l'échelle européenne. Leur intégration dans le réseau électrique français peut être couplée à des interconnexions vers l'Espagne, renforçant la stabilité du réseau ibérique, qui a montré ses fragilités en avril 2025. L'Espagne, déjà engagée dans plusieurs projets de STEP (Aguayo II, Navaleo, Alcántara II, Edrada, Salas-Conchas, Valdecañas, Salto de Chira), pourrait bénéficier de synergies transfrontalières tout en poursuivant ses propres développements.

Ces projets ne sont donc pas seulement des infrastructures énergétiques : ce sont des investissements stratégiques pour la résilience climatique, la sécurité hydrique, et la stabilité du réseau électrique européen. Leur réalisation, bien que complexe, mérite une attention prioritaire dans les politiques publiques à venir.

Présence régionale des STEP en France

- Aménagements existants, France entière : 81 GWh
- Exemple de nouveaux aménagements identifiés, Pyrénées : ~3200 GWh



REMERCIEMENTS

Co-Auteurs

Vincent Mouy

Expert aménagements hydroélectriques pour l'Institut TerraWater, ingénieur en génie civil hydraulique.

Benjamin Larédo

Analyste senior de l'Institut TerraWater, ingénieur science des matériaux, ingénieur spécialisé en génie atomique. Auteur de la version initiale du rapport STEP établie en soutien au scénario TerraWater 1.0 publié en novembre 2022.

Myrto Tripathi

Directrice générale de l'Institut TerraWater, ingénieur industriel.

Relecteurs

Bernard Tardieu

Président d'honneur, Coyne et Bellier
Vice président, Pôle Energie, Académie des Technologies.

David Levrat

Expert en Station de Transfert d'Énergie par Pompage pour l'Institut TerraWater, ingénieur hydraulicien.

Graphisme : **Charlotte Grégoire**



l'Institut TerraWater

Think tank de la transition énergétique bas carbone - statut juridique fonds de dotation
organisation d'intérêt général à but non lucratif

Siège social : 20, avenue de Wagram, 75008 Paris | N° Siret : 92439538700021