

Réponse du Comité Français des Barrages & Réservoirs (CFBR) à la concertation nationale sur le mix énergétique

<https://concertation-strategie-energie-climat.gouv.fr/>

Madame la Ministre de la Transition énergétique,

Au nom du Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR), je souhaite apporter par le présent document la contribution de notre association professionnelle, qui regroupe toutes les composantes françaises du monde des barrages-réservoirs et des digues (constructeurs, opérateurs et gestionnaires d'ouvrages, sociétés d'ingénierie, recherche, monde académique, experts indépendants), à la concertation nationale sur le mix énergétique de demain, en vous remerciant d'avoir engagé cette initiative. Pour mémoire, le CFBR, organisation reconnue de longue date au-delà des frontières nationales, est très actif dans le développement et le partage des savoir-faire et des technologies pour la conception, l'exploitation, et la maintenance des barrages, réservoirs, digues et ouvrages hydrauliques, en réponse aux besoins et enjeux eau & énergie des populations (voir : www.barrages-cfbr.eu).

La présente contribution est constituée :

- du texte principal ci-après ;
- de quelques sections complémentaires en fin de document, permettant d'illustrer et de préciser les messages du texte principal avec quelques informations documentées et chiffrées.

A l'heure où des choix énergétiques stratégiques majeurs se posent à notre pays, comme jamais probablement depuis de nombreuses décennies, il nous est apparu essentiel d'éclairer le débat public sur **le rôle, la place et le potentiel de l'hydro-électricité**, énergie placée au cœur de notre profession et au service des besoins en eau & énergie de la nation et de ses territoires.

L'enjeu stratégique global pour le mix énergétique de demain

L'enjeu global qui se pose à notre pays et à l'Europe pour le mix énergétique de demain se pose globalement dans les termes suivants :

1. **Décarboner notre modèle énergétique et tendre vers le « Zero-Net » le plus vite possible**, et au plus tard à l'horizon 2050 pour contenir le réchauffement climatique. Nous savons que cela passera par plusieurs leviers complémentaires : la sobriété énergétique, l'efficacité

énergétique, et une réduction drastique de la consommation énergétique à base d'énergies fossiles dans tous les secteurs d'activité socio-économiques (transport, industrie, ...)

Nous savons aussi, grâce aux résultats de l'analyse prospective de RTE pour l'horizon 2050¹, que cela induira **un transfert important d'un grand nombre d'usages vers l'électricité**, usages encore aujourd'hui dépendants des énergies fossiles.

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : l'hydro-électricité présente un **facteur d'émission de gaz à serre très faible – médiane mondiale de 24 gCO₂eq/kWh, moyenne inférieure à 10 gCO₂eq/kWh en France métropolitaine**, la plaçant parmi les technologies de production d'électricité les moins émettrices (avec d'autres renouvelables et le nucléaire)
De plus, l'hydro-électricité affiche **le meilleur « retour sur investissement énergétique » (EROEI) de toutes les formes de production d'énergie électrique, atout très largement méconnu et totalement occulté dans le débat public.**
Ces atouts concernent autant la « grande » que la « petite » hydro-électricité qui présentent toutes deux un potentiel de développement réel.
– voir informations complémentaires dans la **Section A** en fin de document

2. **Sécuriser l'équilibre Offre-Demande du système électrique à chaque instant**, et ce tout au long de l'année (cf. cycles été-hiver), notamment dans les périodes de forte tension comme celles que nous vivons actuellement, et en tenant compte du caractère variable et non pilotable de l'éolien et du solaire

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : l'hydro-électricité présente ici l'un de ses atouts majeurs : **c'est la seule « grande » énergie renouvelable qui soit pilotable** grâce aux barrages-réservoirs de grande capacité, et grâce aux STEP² ; **sa flexibilité inégalée** permet d'injecter très rapidement des puissances très importantes sur le réseau, pour satisfaire les pics de consommation (quelques minutes à quelques dizaines de minutes) ; l'analyse prospective RTE sur les futurs énergétiques 2050 déjà mentionnée, a clairement mis en évidence la **nécessité de développer des moyens de flexibilité pilotables supplémentaires**, quels que soient les scénarios de mix considérés, et **notamment de nouvelles STEP hydro-électriques (+4 GW a minima, pour doubler la capacité actuelle de la France qu'il faudra aussi garantir sur la durée)**. D'autres scénarios affichent un besoin de STEP encore plus important. Un développement progressif est à lancer dès à présent, avec certainement une cible de +1.5 GW à l'horizon 2030-2035.
– voir informations complémentaires dans la **Section B** en fin de document

3. **Préserver la biodiversité et les ressources naturelles**

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : l'hydro-électricité est une énergie renouvelable, rappelons-le, très souvent pointée du doigt pour son empreinte locale sur les rivières et les écosystèmes aquatiques en occultant ses autres atouts globaux. Notre profession a engagé depuis plusieurs décennies des programmes d'étude et de recherche permettant de développer et implémenter **les meilleures techniques disponibles en vue d'éviter, réduire, ou compenser les impacts environnementaux** des aménagements et de leur fonctionnement sur les hydrosystèmes naturels (principe ERC) – adaptation de aménagements existants ou intégration dans les nouveaux projets.
– voir informations complémentaires dans la **Section C** en fin de document

¹ RTE (Oct. 2021) : Futurs énergétiques 2050 : scénarios de mix de production électrique – <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>

² STEP : Station de Transfert d'Énergie par Pompage : système à deux réservoirs qui permet alternativement de stocker l'eau par pompage du réservoir inférieur vers le réservoir supérieur, puis turbiner et produire dans le sens inverse, en fonction des besoins du réseau électrique

4. Garantir un accès de l'électricité à un prix compétitif et raisonnable pour tous

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : l'hydro-électricité est une **technologie mature** qui affiche un **coût de production compétitif**, indépendant des fluctuations de prix des combustibles, et offre un **gage de stabilité dans la durée** par la structure de ses coûts de production. C'est un atout majeur dans la période particulièrement instable que nous vivons actuellement sur le système électrique et énergétique européen
– voir informations complémentaires dans la **Section D** en fin de document ;

5. Garantir une résilience du système énergétique aux effets du changement climatique

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : notre profession est très engagée dans l'**évaluation des risques**, mais **aussi des opportunités**, induits par le changement climatique sur l'hydro-électricité et plus généralement sur les systèmes de ressources en eau et de protection contre les crues. Face à une ressource en eau potentiellement plus variable dans le temps et dans l'espace, **l'existence de réservoirs de grande capacité à gestion saisonnière doit être vue comme une assurance et un outil de résilience des territoires** pour réguler la variabilité et limiter les conséquences d'épisodes de sécheresse sur les usages de l'eau
– voir informations complémentaires dans la **Section E** en fin de document ;

6. Garantir une indépendance et une souveraineté de notre approvisionnement en électricité

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : l'hydro-électricité est, par nature, une **énergie souveraine**, ancrée dans les territoires de notre pays, à l'abri des principales turbulences économiques et géopolitiques, qui aide ainsi largement à sécuriser notre système électrique.
De plus, **la chaîne de valeur de l'hydro-électricité est à 90% européenne et très majoritairement d'origine Française**, avec des retombées importantes pour l'activité des entreprises françaises et les emplois directs (entreprises de construction / maintenance, exploitants, ingénieries) et indirects (développement des territoires, multifonctionnalité des ouvrages, activités touristiques). Cette création de valeur territoriale est très largement méconnue et sous-estimée.

7. Maintenir le haut niveau de sûreté des installations de production

- ⇒ **La réponse de l'Hydro** : la **sûreté des ouvrages de production est la pierre angulaire** de l'énergie hydro-électrique, comme pour d'autres technologies de production. En France, **les aménagements hydro-électriques sont soumis à des exigences réglementaires renforcées depuis la fin des années 2000** et modulées selon le classement des ouvrages. Le retour d'expérience très largement positif depuis des décennies place la France dans la liste des pays les plus performants en matière de sûreté.
– voir informations complémentaires dans la **Section F** en fin de document

Réussir à satisfaire tous ces objectifs stratégiques n'est pas simple. Il n'y a pas UNE unique solution, mais un **ensemble de solutions qui doit être pensé dans une vision « système », sur le long terme.** L'hydro-électricité fait partie de la solution.

L'hydro-électricité, une énergie restée trop longtemps oubliée dans le débat public

En 2021, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a publié un rapport spécial sur l'hydro-électricité, offrant un panorama synthétique mondial sur la place et les atouts de l'Hydro-électricité dans le contexte d'évolution des systèmes énergétiques. Le Directeur exécutif de l'AIE, Dr. Fatih Birol, sous-titrait ainsi

le rapport : « **L'hydro-électricité est le géant oublié de la transition énergétique, et doit impérativement être remis sur la table de l'agenda énergétique et climatique** »³.

S'il fallait n'illustrer les atouts et la valeur de l'hydro-électricité que par un seul fait, on pourrait tout simplement rappeler la situation du système électrique français il y a quelques semaines, **le lundi 12/12/2022** (voir la Section B pour les détails) : **entre 6h et 8h du matin, la puissance hydro-électrique délivrée sur le réseau passe de 3 GW à 16 GW (en moins de 2 heures), et assure à elle seule la variation à la hausse de la consommation, classée d'un début d'activité hebdomadaire dans notre pays.** Ce type de situation se rencontre fréquemment.

⇒ **Qui, à part les spécialistes du domaine, a conscience de ce rôle majeur de l'hydro-électricité sur le système électrique français et sur l'équilibre Offre-Demande ?**

Rendre la filière hydro-électrique industrielle française attractive pour les futures générations

La France dispose d'atouts humains, territoriaux, technologiques, scientifiques et industriels considérables en matière d'hydro-électricité. Les acteurs français de l'hydro-électricité (industriels opérateurs et constructeurs, ingénierie, académie, recherche, associations professionnelles) ont développé une filière reconnue au plan mondial. Ils continuent d'innover dans tous les domaines : sûreté des ouvrages ; performance, flexibilité et durabilité des machines ; environnement ; technologies numériques pour l'exploitation et la maintenance ; multi-usage de l'eau ; co-développement avec d'autres filières (hydrogène, solaire PV flottant, hybridation avec batteries) ; énergies marines (hydrolien, nouveau marémoteur/marélienne, puissance osmotique) ; ...

Mais cette place de choix est fragile. **L'attractivité vers nos métiers et le renouvellement des générations de professionnels et des compétences ne seront une réalité que si des projets d'ampleur voient le jour** : programmes de maintenance, de modernisation, et de développement. Ces futurs projets, qui répondent comme on l'a montré à un besoin crucial pour notre système électrique et notre futur modèle de société, requièrent des signaux politiques et industriels clairs, à poser maintenant compte-tenu des durées de développement de projets durables : **il faut de l'ordre de 8 à 10 ans pour développer et mettre en service un nouveau projet concerté et co-construit avec les territoires, en mobilisant des compétences suffisamment formées avec anticipation.**

Le mix électrique de demain ne réussira pas sans l'hydro-électricité.

L'hydro-électricité constitue un atout majeur pour le mix énergétique d'aujourd'hui, mais surtout **pour réussir le mix énergétique de demain**, qui sera fait d'énergie décarbonée avec une large part d'énergies renouvelables intermittentes non pilotables.

Nous formons le vœu que les informations que nous apportons dans ce document permettent de mieux (re)faire connaître une hydro-électricité restée trop longtemps ignorée dans le débat public, et de montrer qu'elle est ...

- ... une énergie renouvelable, rappelons-le
- ... une énergie pilotable et flexible (avec des temps de réponse rapides)
- ... une énergie très peu émettrice de CO₂ et de gaz à effet de Serre, qui présente le meilleur retour sur investissement énergétique (EROEI)
- ... une énergie qui s'applique à éviter, réduire ou compenser ses impacts environnementaux locaux sur les rivières et les écosystèmes aquatiques
- ... une énergie compétitive sur le plan économique et qui continue d'innover
- ... une énergie souveraine

³ « *Hydropower is the 'forgotten giant' of clean electricity, and it needs to be put squarely back on the energy and climate agenda* » – *Hydropower special market report (AIE, 2021)* : <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report>

- ... une énergie sûre
- ... une énergie au cœur des besoins en eau et en énergie des territoires, offrant des services multi-usage de l'eau très attendus : irrigation, loisirs et tourisme, eau potable, transport et connectivité entre rives de vallée, ...

Dans le sillage du congrès mondial des barrages et réservoirs de la CIGB / ICOLD⁴ que le CFBR a organisé à Marseille en Juin 2022 (plus de 1 400 participants du monde entier rassemblés malgré la situation sanitaire), notre organisation s'engagera, en mobilisant toutes ses forces vives et avec ses partenaires français et internationaux, dans des actions d'information et de sensibilisation auprès du public pour encore mieux faire connaître l'hydro-électricité, son rôle et ses atouts, et démontrer qu'elle constitue un catalyseur essentiel pour réussir la transition énergétique et le mix énergétique de demain ; et convaincre ainsi les décideurs nationaux et régionaux de la nécessité d'agir, sans tarder.

Je vous prie de recevoir, Madame la Ministre, nos considérations les plus distinguées

Denis Aelbrecht
Président du CFBR

Contact : secretariat@barrages-cfbr.eu

Nota : les informations complémentaires sont fournies dans les sections des pages suivantes

• = • = • = •

⁴ CIGB-ICOLD : Commission Internationale des Grands Barrages - <https://www.icold-cigb.org/>

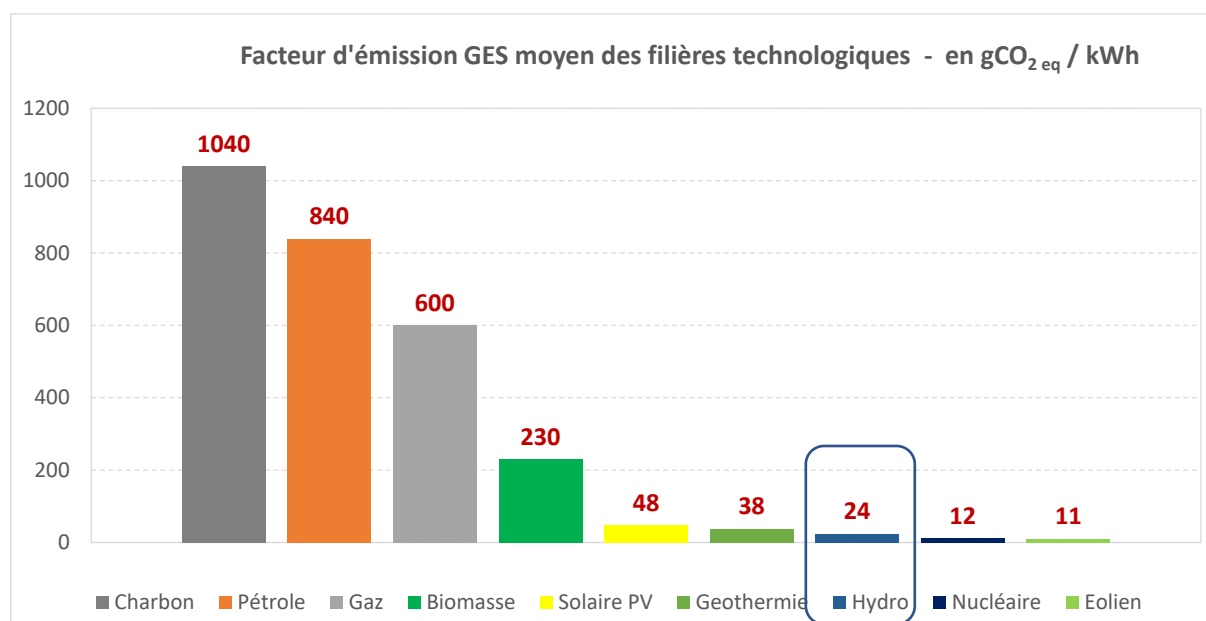
A. Contribution de l'Hydro-électricité à l'objectif stratégique 1 : décarbonation du mix énergétique

Le facteur d'émission de gaz à effet de serre (GES) de l'hydro-électricité, compté en $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$, établi selon des méthodes internationales reconnues et comptabilisées sur le cycle de vie des installations (couvrant construction, exploitation, maintenance, et fin de vie), **est parmi les plus bas** des différentes technologies de production électrique : **la valeur médiane mondiale est de 24 $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ pour l'hydro-électricité, sachant qu'en France métropolitaine et en Europe, ce taux est encore bien plus faible**, de l'ordre de 10 $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ – voir Figure suivante (source : GIEC (2014), 5^{ème} rapport d'évaluation).

Depuis deux décennies, la profession a largement étudié la question des émissions de GES par les réservoirs et il est désormais admis par les grandes organisations internationales de financement et de labellisation (cf. taxonomie européenne, ...) que dès qu'un aménagement hydroélectrique affiche un taux de puissance surfacique de réservoir supérieur à 5 W/m^2 de surface inondée, les émissions de GES sont jugées très faibles et satisfont les critères de durabilité – voir Gray D. (2022) : communication de l'IHA⁵ au congrès CIGB Marseille 2022 :

https://www.barrages-cfbr.eu/IMG/pdf/marseille_atelierct_y_6_icold-climate-ihha_presentation_tcy.pdf

Dans certaines régions climatiques et configurations localisées dans le monde, les émissions peuvent être plus importantes ; elles décroissent après plusieurs années avec l'âge du réservoir.



Source des données : GIEC (2014), 5^{ème} rapport d'évaluation

Le « retour sur investissement énergétique » : un indicateur de durabilité trop méconnu

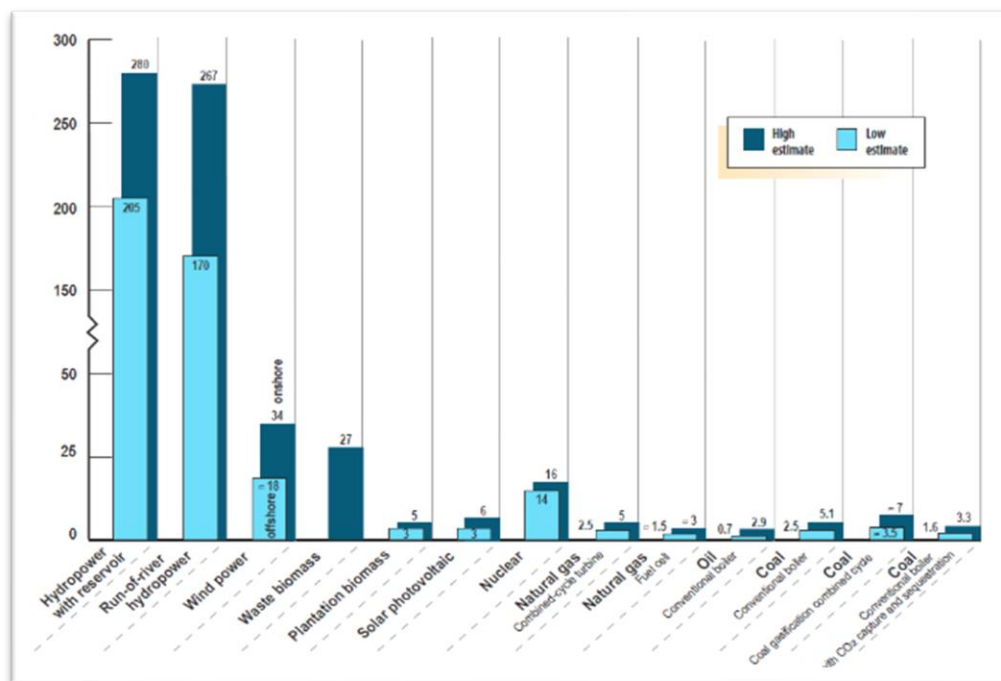
Un autre indicateur de durabilité reste beaucoup trop méconnu du public et des décideurs : c'est le « retour sur investissement énergétique » ou EROEI⁶ : c'est le ratio entre (1) l'énergie délivrée par un système pendant toute sa durée de vie, sur (2) l'énergie nécessaire à sa construction, son

⁵ IHA : International Hydropower Association : <https://www.hydropower.org/>

⁶ EROEI : Energy Return On Energy Investment

exploitation, sa maintenance et son démantèlement ». Dit autrement, ce ratio quantifie la capacité d'un système à restituer N fois l'énergie qui a été nécessaire à sa construction et à son exploitation.

Quelles que soient les méthodes utilisées, l'hydro-électricité affiche le meilleur score EROEI loin devant les autres filières de production évaluées (EROEI supérieur à 100) – voir figure suivante (source : Ruggieri, CIGB/ICOLD 2009, rapport général de la question Q.88).



Garantir la maintenance du parc existant ; implémenter le potentiel de développement futur

Le patrimoine hydro-électrique français existant exploité par EDF, la CNR, la SHEM et de multiples producteurs territoriaux, et les futurs projets, ne pourront continuer à mettre les atouts de cette énergie au service des besoins de la collectivité, que s'ils bénéficient d'une stratégie de maintenance industrielle et de développement suffisante. L'âge moyen des installations est de l'ordre de 75 à 80 ans. Si plusieurs aménagements ont fait l'objet de travaux de modernisation/maintenance lourde, il y a un réel défi à réussir la maintenance sur la durée. Au-delà des besoins de financement, c'est aussi la question de la viabilité d'une filière industrielle qui est en jeu (constructeurs, mainteneurs, équipementiers).

En matière de développement, l'IHA table sur un besoin de développer +850 GW d'installations hydro-électriques dans le monde (la capacité mondiale existante est de 1600 GW). En France, s'il est clair qu'une partie importante du potentiel de développement a déjà été réalisé sur notre territoire national, il reste des opportunités de développement significatives, que ce soit pour la grande et la « petite » hydro-électricité, pour accroître les services que cette énergie peut offrir :

- Modernisation et reconfiguration de projets existants (à l'image du projet EDF de Romanche-Gavet en Isère, ou du projet CNR de petite centrale hydraulique de turbinage du débit réservé à Rochemaure en Ardèche)
- Surpuissance d'usines existantes
- Augmentation de capacité sur aménagements existants, par exemple par le biais de rehausse de barrages existants. Pour information, les autorités Suisses examinent actuellement plus

d'une vingtaine de nouveaux projets de ce type, de même que des projets d'équipement de combes glaciaires affectées par le réchauffement climatique

- Projets d'aménagements gravitaires purs (turbinage depuis un ou plusieurs réservoirs)
- Projets de STEP – voir Section B plus loin
- Développement de nouvelles filières de production hydraulique innovantes – voir ci-après

Focus : développement de nouvelles formes d'énergie hydraulique ; innovations

Hydrolien : la technologie hydrolienne consiste à exploiter l'énergie cinétique des courants de marée par des turbines immergées en mer ouverte. La filière cherche encore son modèle de viabilité, mais certains concepts de machines présentent des résultats prometteurs, comme le concept Français OceanQuest développé par le groupement CMN/HydroQuest et testé pendant près de deux ans jusqu'en Octobre 2021 sur le site d'essais EDF de Paimpol-Bréhat :

<https://www.energiesdelamer.eu/2021/10/05/lhydrolienne-marine-dhydroquest-a-terminer-ses-essais/>

Nouveau marémoteur : en 2019, la SHF⁷ a publié un livre blanc, pour exposer le potentiel de développement de cette technologie. A l'échelle de notre pays, un potentiel « pragmatique » de plusieurs centaines de MW est envisageable, **en alliant service de production d'électricité et protection du littoral**, avec possibilité de colocalisation d'autres technologies de production électrique (houlomoteur, hydrolien, éolien offshore, ...). Ces couplages permettent d'envisager une mutualisation des coûts d'investissement des infrastructures assurant ces différents services. Les opportunités locales existent, certains territoires sont prêts à avancer – réf. SHF (2019) : [Livre-Blanc-Nouveau-Maremoteur-Version-10-BD.pdf \(shf-hydro.org\)](#)

Puissance osmotique : il s'agit d'un nouveau type d'énergie hydraulique en émergence. Il consiste à produire de l'électricité en continu grâce à la rencontre d'eau salée et d'eau douce (en zone côtière ou estuarienne par exemple). De récentes ruptures technologiques ont été franchies grâce au développement de technologies de membranes innovantes. C'est une solution modulaire, non intermittente, pilotable, à très faible impact environnemental (pas de bruit, pas d'émissions gazeuses, pas de chaleur, ...) qui présente un réel potentiel, laissant entrevoir la possibilité de création d'une nouvelle filière industrielle d'énergie hydraulique renouvelable. D'ores et déjà, des projets démonstrateurs à taille progressive sont en développement.

Couplage de l'hydroélectricité avec d'autres énergies : depuis environ 10 ans maintenant, la profession a fait avancer les possibilités de coupler différentes technologies pour assurer un meilleur service énergétique, mutualiser les coûts, etc ... on peut citer :

- Le développement de centrales de production virtuelle (VPP), combinant la conduite de centrales de production (hydroélectrique, solaire, éolienne) et de stockage (STEP, batteries), distantes les unes des autres, selon une logique coordonnée au regard des besoins du réseau
- Le développement du solaire PV flottant
- Le développement de la filière Hydrogène

Technologies du numérique au service de l'hydro-électricité : les technologies avancées du numérique (IA, internet des objets/IoT, Data analyse, capteurs intelligents, ...) sont intégrées dans les programmes d'innovation et de modernisation des installations existantes ou des projets futurs. Ces technologies visent à améliorer la performance des installations dans tous les registres : production, sûreté, environnement ; mais aussi à faciliter le rôle de l'exploitant dans ses gestes quotidiens

⁷ SHF : Société Hydrotechnique de France – <https://www.shf-hydro.org/>

B. Contribution de l'Hydro-électricité à l'objectif stratégique 2 : équilibre du système électrique

La France dispose d'environ **25 GW de puissance hydro-électrique installée** sur le territoire national, sur un total d'environ 136 GW de puissance installée toutes filières confondues (puissance évidemment pas toujours disponible ni mobilisable en fonction des circonstances : disponibilité effective des ressources, indisponibilité pour maintenance programmée ou aléa fortuit, ...

Quelques points de repère sur la consommation électrique Française :

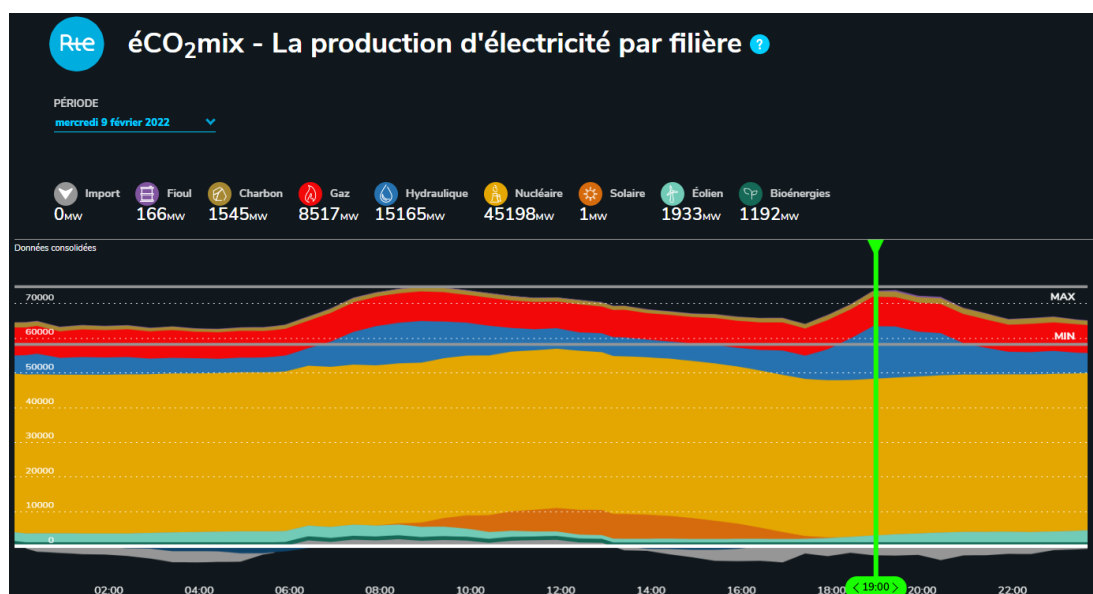
- Un jour de semaine d'été « classique », la France consomme une puissance variant entre 40 et 55 GW sur la journée
- Un jour de semaine d'hiver « classique », la France consomme une puissance variant entre 60 et 85 GW, selon les conditions météo
- Des valeurs exceptionnelles peuvent dépasser ces valeurs repères, en fonction du niveau de consommation, i.e. de l'activité socio-économique et de la météo : le record de pointe de consommation des dernières années a été observé en Février 2012 (102 GW)

L'énergie hydro-électrique est la première source de production d'énergie renouvelable en France : elle fournit de **12% à 14% de la production annuelle** selon l'hydraulicité (voir par exemple le bilan électrique France 2021 établi par RTE : <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-electrique-2021>). A l'échelle de l'Europe, cette part monte à 17% en moyenne

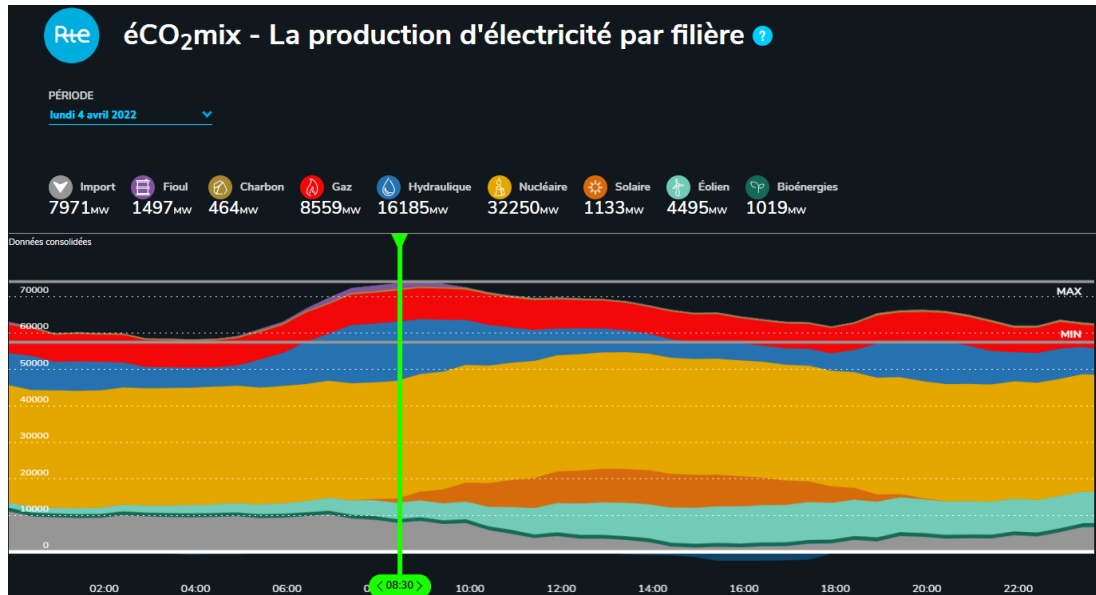
L'énergie hydro-électrique est pilotable et flexible : l'hydro-électricité est la seule énergie renouvelable de grande puissance pouvant être pilotée à la demande pour une large part de sa capacité installée, grâce à sa capacité de stockage hydraulique dans les grands réservoirs des barrages d'altitude et grâce aux STEP : l'hydro-électricité dite au fil de l'eau sur les grands fleuves de faible altitude (Rhin, Rhône, ...) est une énergie moins pilotable et soutient la production de base.

Nous illustrons à travers quelques exemples concrets et récents ci-après la capacité déterminante de l'hydro-électricité pour garantir les pointes de consommation et réussir à sécuriser l'équilibre Offre-Demande d'électricité de notre pays – les graphiques sont extraits des données publiques du site ou de l'application RTE-Eco2mix : <https://www.rte-france.com/eco2mix>

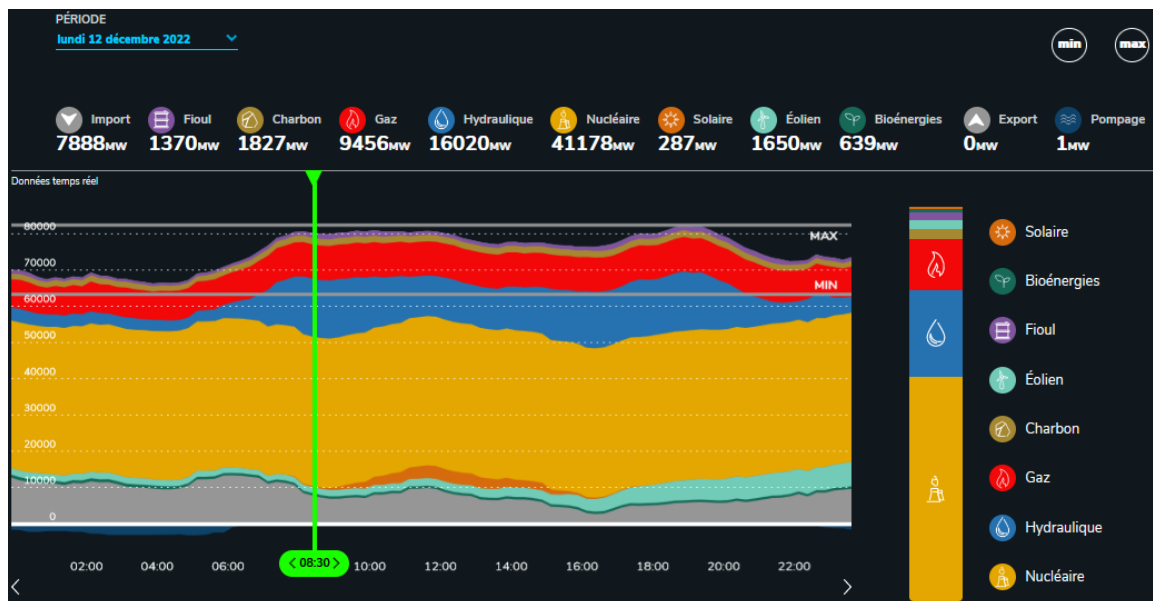
- Exemple 1 : une journée d'hiver typique : **mardi 09/02/2022**, pas de vent ; pas de soleil après 16h30 : **L'hydro France passe de 5500 MW à 16h30 à 15150 MW à 19h => +10 GW en 2h**



- Exemple 2 : **Journée du 04/04/2022** : La France vit une vague de froid subite assez rare pour la saison (avril) ; il y a peu de production éolienne, et le soleil ne brille pas encore le matin : l'Hydro France passe de 5500 MW à 05h à 16200 MW à 08h30, pour satisfaire la pointe de consommation du lundi matin, au moment où l'activité socio-économique des Français redémarre en ce début de semaine très froid



- Exemple 3 : journée du lundi 12/12/2022 : entre 6h et 8h du matin, la puissance hydro-électrique délivrée sur le réseau passe de 3 GW à 16 GW (en moins de 2 heures), et assure à elle seule la variation à la hausse de la consommation, classique d'un début d'activité hebdomadaire dans notre pays.

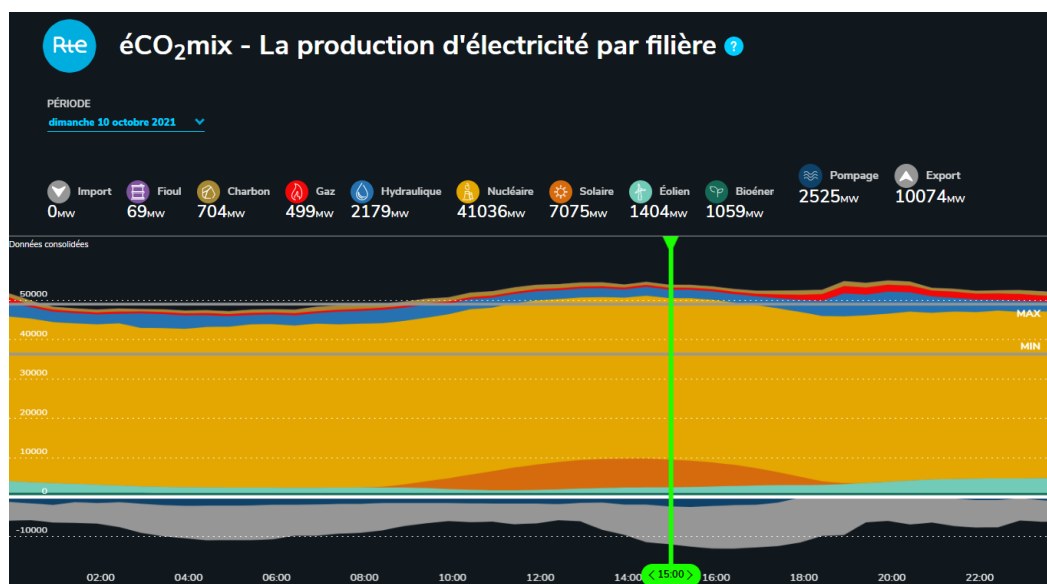


Les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (**STEP**) : ces « batteries bleues » permettent le stockage d'eau par pompage d'un bassin inférieur vers le bassin supérieur lors des périodes de faible consommation, puis le turbinage dans le sens inverse lors des pics de consommation (<https://www.edf.fr/hydraulique-lot-truyere/chantier-de-montezic-ca-demonte/une-step-comment-ca-marche>). Elles constituent à ce jour l'essentiel des capacités de stockage d'énergie en France, en

Europe et dans le monde – voir rapport AIE (2021) déjà mentionné dans le texte principal du document. Les STEP assurent un service de lissage et de report/transfert d'énergie essentiel pour le système électrique Français. Avec le développement des énergies renouvelables variables non pilotables (solaire PV et éolien), le rôle des STEP va devenir de plus en plus nécessaire, tout en évoluant. A titre d'exemple, la journée du dimanche 10/10/2021 montre comment en milieu d'après-midi le pompage intervient pour stocker une part de la surproduction (2,5 GW) au moment où le solaire atteint presque 12% (7 GW) de la puissance délivrée sur le réseau, l'autre partie de surproduction étant dédiée à l'exportation sur le réseau européen.

Focus : développement de nouvelles STEP

Les sites potentiels de STEP sont nombreux sur notre territoire. Ils concernent la France métropolitaine et aussi certains territoires d'outre-mer. Pour certains ils s'appuient sur des réservoirs et barrages existants. Les développements seront à considérer au regard des critères de priorisation technico-économiques et environnementaux, en s'appuyant sur les recommandations du Forum International STEP coordonné par l'IHA en 2020-2021 avec l'engagement de nombreux gouvernements, industriels, organisations internationales, banques institutionnelles et ONG de rang mondial – voir les livrables du Forum international IFPSH : <https://pumped-storage-forum.hydropower.org/>. Ces développements nécessiteront également **la définition d'un nouveau cadre économique et réglementaire** pour mieux reconnaître la valeur apportée par les STEP à l'équilibre du système électrique.



Dans sa prospective du mix énergétique 2050, et quel que soit le scénario considéré, RTE annonce la nécessité de disposer de 8 GW de capacité de STEP a minima pour réussir l'intégration d'une grande part d'énergies renouvelables non pilotables (éolien et solaire), soit **le besoin de développer +4 GW de capacité STEP supplémentaire a minima**, ce qui suppose également de préserver les capacités actuelles par une maintenance industrielle ambitieuse. D'autres scénarios prospectifs annoncent des besoins en STEP encore plus importants.

Sans de nouvelles STEP, la transition énergétique ne se fera pas

C. Contribution de l'Hydro-électricité à l'objectif stratégique 3 : biodiversité et préservation des ressources naturelles

Nous avons présenté dans la section A les avantages de l'hydro-électricité en France en matière d'émission de gaz à effet de serre, de même que son indicateur EROEI très favorable. Les aménagements hydro-électriques affichent par ailleurs des résultats d'empreinte écologique sur les ressources naturelles très performants.

Au-delà de ces indicateurs globaux de durabilité, très positifs pour l'hydro-électricité, **il est clair que les aménagements peuvent aussi induire des impacts environnementaux et sociaux à l'échelle locale sur les hydrosystèmes fluviaux.** Ces impacts potentiels sont bien identifiés, et concernent les enjeux suivants :

- continuité biologique des cours d'eau : migration piscicole, débits réservés et vie aquatique
- gestion sédimentaire des réservoirs et morphologie des rivières
- qualité d'eau pour les réservoirs et les tronçons de rivière à l'aval des barrages
- effets des éclusées
- enjeux d'empreinte territoriale

Les aménagements **hydro-électriques doivent maîtriser les impacts environnementaux liés à leur présence et à leur fonctionnement** ; ces exigences sont formalisées au travers des obligations de l'exploitant dans les titres de concession ou d'autorisation délivrés aux exploitants par les services de l'Etat, et font l'objet d'un cycle de réexamen régulier. Les études d'impact environnemental pour les nouveaux projets sont calées sur les meilleurs standards internationaux (IHA, CIGB).

La profession, en partenariat avec le monde scientifique et les associations de préservation de l'environnement, développe depuis plusieurs décennies des standards et guides permettant d'évaluer les impacts et de trouver les meilleures solutions par application du principe **ERC : Eviter, Réduire, Compenser.**

Au plan international, l'IHA a mis au point le protocole de durabilité de l'Hydro, qui constitue le standard de référence pour garantir le développement d'une hydro-électricité effectivement durable aussi au regard de ses impacts locaux sur les hydrosystèmes : [Assessment Protocol \(HSAP\) — Hydropower Sustainability Council \(hydrosustainability.org\)](https://www.hydrocouncil.org/)

Tous ces outils sont disponibles pour le développement de projets hydro-électriques effectivement durables, permettant de bénéficier des atouts environnementaux globaux de cette énergie tout en limitant au maximum, et si nécessaire en compensant, les impacts locaux des aménagements.

Enfin, rappelons que les aménagements hydro-électriques sont aussi créateurs de **valeur territoriale** à travers des services de multi-usage de l'eau ou des services territoriaux plus généraux très attendus : irrigation et usage agricole, alimentation en eau potable (AEP), usages touristiques, services écosystémiques, facilitation du transport et connectivité routière (pont sur barrage), ...

D. Contribution de l'Hydro-électricité à l'objectif stratégique 4 : une électricité à prix raisonnable

Hydro-électricité et compétitivité économique

Les coûts de revient (LCOE⁸) de l'énergie hydro-électrique sont de l'ordre de 30 à 50 euros le MWh, fonction du type, de la taille, de la nature de fonctionnement des aménagements, de la durée de

⁸ LCOE : Levelized Cost Of Energy : c'est le coût moyen de production par unité d'énergie électrique, actualisé sur la durée d'exploitation avec un taux donné (ici, les valeurs correspondent à un taux de référence de 6%)

fonctionnement, et selon les critères financiers de référence – cf. rapport AIE (2021) ; dans certaines situations singulières, les coûts de revient peuvent aller au-delà ou en-deçà de ces valeurs moyennes repères.

Le coût moyen d'investissement (CAPEX) par unité de puissance installée est de l'ordre de 2000 €/kW, avec une variation possible entre 1000 et 4000 €/kW selon les conditions de développement.

Fondamentalement, l'énergie hydraulique présente une volatilité et une exposition aux risques marché extrêmement faible, sans dépendance majeure aux variations de prix des matières premières comme le gaz, et offre de ce fait une assurance de stabilité et de robustesse essentielle pour l'activité socio-économique à moyen et long terme du pays.

La chaîne de valeur de l'hydro-électricité est à 90% européenne et très majoritairement française. Cela constitue un atout important pour la filière industrielle Française, avec des retombées importantes pour l'activité des entreprises Françaises et les emplois directs (entreprises construction/maintenance, exploitants, ingénierie) et indirects (développement des territoires, multi-fonctionnalité des ouvrages, activités touristiques).

E. Contribution de l'Hydro-électricité à l'objectif stratégique 5 : résilience climatique

Résilience climatique de l'hydro-électricité, résilience des territoires

C'est une question clé, et si l'hydro-électricité présente un profil globalement très favorable sur la question des émissions de gaz à effet de serre (GES), elle peut à l'inverse subir des effets du réchauffement climatique, positifs ou négatifs. A ce titre, il y a lieu de distinguer :

- Les effets directs induits par les paramètres physiques hydro-climatiques ...
- ... et les effets indirects induits par les modifications de l'environnement socio-économique des aménagements : besoins en eau des autres usages par exemple. Les ouvrages hydroélectriques sont aussi des outils potentiels de résilience des territoires pour la sécurisation de l'approvisionnement en eau
- Les changements de régime possibles des valeurs moyennes (débit moyen des rivières, saisonnalité) ...
- ... et des valeurs extrêmes (crues, étiages, températures extrêmes)

Toutes les fonctions assurées par les aménagements hydro-électriques – sûreté, production, environnement, multi-usage de l'eau – ne sont pas sensibles de la manière à ces évolutions. Aussi, notre profession a contribué, via la CIGB à l'échelon international, à l'élaboration d'un guide pour la résilience climatique de l'hydro-électricité (IHA, 2019⁹). Ce guide est désormais reconnu comme un standard international et permet d'adapter les ouvrages existants, ou développer les projets futurs, en intégrant dès à présent les mesures structurelles ou fonctionnelles garantissant la résilience climatique des aménagements hydro-électriques.

Ces questions ont été au cœur des débats du congrès mondial des barrages et réservoirs organisé par le CFBR en Juin 2022 à Marseille. Le rapport général de la Question 107 (barrages, réservoirs et changement climatique) et le recueil des communications de ces sessions¹⁰ fournissent de multiples exemples :

⁹ Hydropower Sector Climate Resilience Guide (IHA, 2019) :

<https://www.hydropower.org/publications/hydropower-sector-climate-resilience-guide>

¹⁰ Recueil des rapports généraux et communications au Congrès mondial CIGB/ICOLD (Marseille-France, 2022) :

https://www.icold-cigb.org/GB/publications/congresses_proceedings.asp

- d'évaluation des risques et des opportunités liés aux effets du changement climatique sur les barrages et réservoirs,
- d'adaptation d'aménagements existants,
- et de développement de nouveaux projets permettant de renforcer la résilience des territoires et des systèmes de ressources en eau.

Le CFBR s'engagera sur les prochaines années, en écho à l'appel lancé lors du congrès 2022 par M. Loic Fauchon, président du Conseil Mondial de l'Eau, pour bâtir un diagnostic lucide, concerté et partagé avec les partie-prenantes sur les besoins et l'équilibre ressources-usages de l'eau, et mettra toute son énergie pour faire évoluer et diffuser les connaissances et les savoir-faire permettant de développer des systèmes de barrages-réservoirs et de digues résilients répondant durablement aux enjeux de notre temps.

= = =

F. Contribution de l'Hydro-électricité à l'objectif stratégique 7 : sûreté des installations

La Sûreté des ouvrages : pierre angulaire de notre industrie

La profession, en France et dans le monde, a tiré les enseignements d'incidents ou d'accidents marquants du passé. Désormais, la France affiche un niveau de sûreté de son parc d'ouvrages et de barrages parmi les plus élevés à l'échelle mondiale ; notre association est particulièrement impliquée dans les instances internationales (CIGB, Banque mondiale, IHA, ...) et dispose d'une capacité d'influence importante pour faire valoir les approches françaises dans les débats techniques. L'approche Française en matière de sûreté est reconnue à l'international, et le CFBR a élaboré une série de guides et recommandations traitant de l'ensemble des enjeux de sûreté (voir notre site internet : <https://www.barrages-cfbr.eu/Recommandations.html>) :

- Justification pour la stabilité des barrages et digues en en remblai
- Techniques de réparation des digues en remblai
- Justification pour la stabilité des barrages poids
- Sûreté et dimensionnement des évacuateurs de crue, approches par les risques (dommages incrémentaux/différentiels)
- Sûreté et comportement des barrages voûtes
- Barrages et séisme
- Pratiques françaises globales de l'analyse de risque et de l'évaluation de la sûreté des barrages
- etc ...

Notre association assure également la mise en partage régulière du retour d'expérience international auprès des acteurs Français pour alimenter les bases de connaissance et ainsi renforcer encore et toujours la pratique de sûreté de notre profession.

Depuis le décret de décembre 2007, la France a significativement renforcé son cadre réglementaire relatif à la sûreté des barrages, à travers les Etudes de Danger de barrages et de digues de protection contre les crues, et les exigences de l'Arrêté Technique Barrages de 2018. Tout récemment, les études de danger ont été élargies aux conduites forcées des installations. Ce cadre renforcé a aussi été l'occasion de clarifier les rôles et responsabilités entre les acteurs de la profession : propriétaires/gestionnaires d'ouvrages ; services du contrôle ; ingénieries agréées ; etc ...

Enfin, il faut mentionner que les aménagements peuvent aussi renforcer le niveau de protection et de résilience des territoires vis-à-vis du risque inondation. Les situations sont cependant à examiner au cas par cas en fonction de plusieurs facteurs : dynamique des crues, taille du réservoir, ...

La sûreté reste bien la priorité absolue de notre profession.

• = • = • = •