



La relation entre les débits & la production hydroélectrique



Rédaction : Cécile Bellot

*Relecture : Christine Etchegoyhen, Déborah Lepoutre,
Claire-Emmanuelle Mercier, Sophie Lamachère,
Aurélié Dousset, Julien Neveu, Luc Bazerque*

OCTOBRE 2023

Préambule

Le calcul du débit réservé est un point particulièrement important d'un dossier administratif de création ou d'aménagement d'une centrale hydroélectrique, car sa valeur va influencer le débit turbiné et donc la production annuelle d'hydroélectricité de la centrale. Pour fixer sa valeur, un équilibre doit être trouvé entre tous les usages, notamment en protégeant la biodiversité du cours d'eau tout en permettant la production d'hydroélectricité.

Cette fiche explicite le lien entre débit du cours d'eau et production d'hydroélectricité : quels sont les débits turbinables et ceux qui ne peuvent l'être ? Comment calculer la production d'une centrale hydroélectrique au regard des débits du cours d'eau ? Et comment l'évolution de ces débits est susceptible d'impacter le productible de la centrale ?

Table des matières

I.	Le débit turbiné et les débits non turbinables	3
A.	Le débit turbiné	3
B.	Les débits non turbinables	3
II.	Le lien entre production hydroélectrique et débits du cours d'eau	6
A.	Le calcul de la production hydroélectrique est directement lié aux débits	6
B.	L'impact de l'évolution des débits sur la production hydroélectrique	7

LES DÉBITS

Cette note fait partie d'une série de publications sur les débits

- > Comprendre les débits : Débits moyens, débit minimum, débit réservé... | Octobre 2023
- > La relation entre les débits & la production hydroélectrique | Octobre 2023
- > L'utilisation du QMNA5 et la fixation du débit réservé | Octobre 2023
- > Les débits : réglementation, retours d'expérience et échanges | Juin 2022

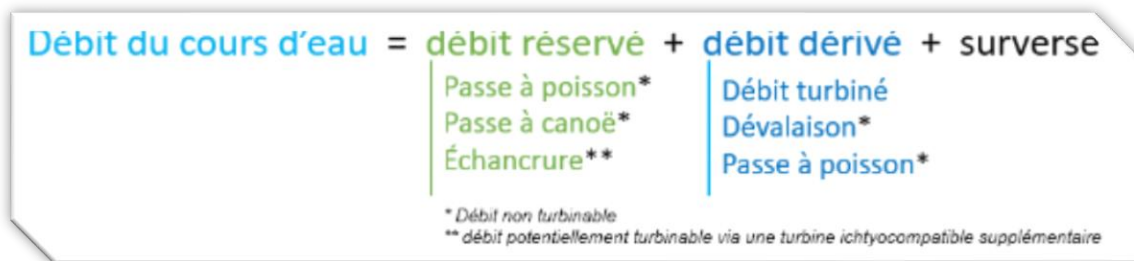
A consulter sur www.france-hydro-electricite.fr

I. Le débit turbiné et les débits non turbinables

A. Le débit turbiné

Une partie du débit du cours d'eau est dérivée vers la centrale hydroélectrique pour y être turbinée.

Le débit du cours d'eau va être réparti entre les différents aménagements d'un site hydroélectrique comme décrit ci-dessous (voir également la Figure 1).



A noter que, dans la majorité des cas¹, le débit réservé n'est pas turbiné. C'est donc une quantité d'eau « perdue » en terme énergétique, puisqu'elle ne pourra pas être utilisée pour la production d'électricité.

B. Les débits non turbinables

En présence d'un tronçon influencé, une partie du débit du cours d'eau ne peut être dérivée et doit rester dans le cours d'eau, c'est le **débit réservé**, à restitué obligatoirement au pied de l'ouvrage (débit minimal article L214-18 du code de l'environnement). Ce débit peut inclure les débits alimentant certains aménagements environnementaux (passe à poissons notamment) tant que leur restitution se fait en pied de barrage.

Le **débit maximum** pouvant être **dérivé** vers la centrale va dépendre de l'installation (dimensionnement des canaux). Mais une partie du débit dérivé peut ne pas être turbinée et être utilisée pour alimenter des aménagements environnementaux (dévalaison, passe à poissons...). Ils ne sont pas inclus dans le débit réservé (puisque non restitués en pied de barrage). Ce sont autant de débits « perdus » pour la production hydroélectrique.

Le **débit maximal turbiné** va dépendre de l'installation : dimension des canaux et des capacités de la (ou des) turbine(s). Pour pouvoir se mettre à turbiner, il faut que le débit dans le cours d'eau soit supérieur à la somme du débit réservé et du **débit d'armement** de la turbine (débit minimal nécessaire à lancer la turbine).

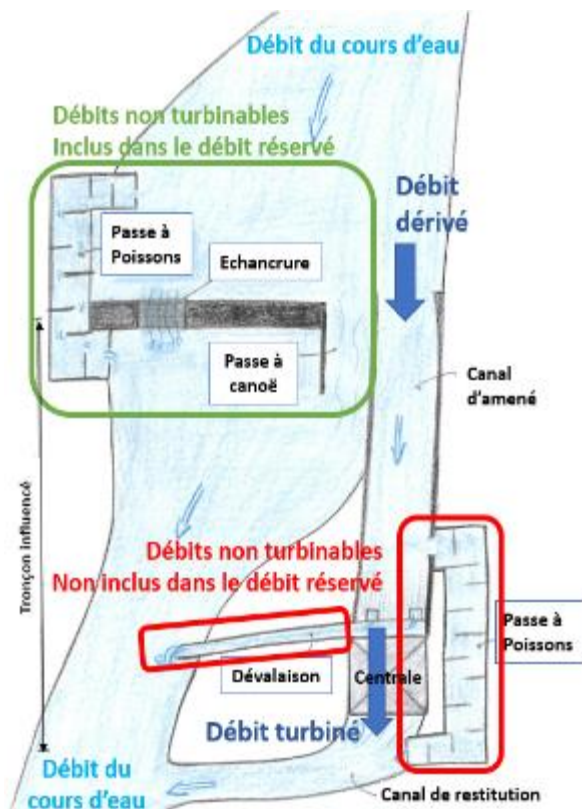


Figure 1: répartition des débits sur un site hydroélectrique

¹ Dans certains cas, le débit réservé peut être turbiné. Mais cela n'est pas toujours possible car cela dépend de l'aménagement du site et de l'importance du débit réservé.

Tant que le débit du cours d'eau sera inférieur à la somme du débit réservé et du débit d'armement, la quantité d'eau dans le cours d'eau sera insuffisante pour lancer la turbine.

Débit du cours d'eau < (débit réservé + débit d'armement) => insuffisant pour turbiner

A l'inverse, lorsque le débit du cours d'eau est supérieur à la somme du débit réservé et du débit maximum dérivé, le débit supplémentaire passe par surverse sur le barrage et alimente le tronçon influencé. Cela se produit plus ou moins fréquemment selon les sites.

Débit du cours d'eau > (débit réservé + débit maximum dérivé) => surverse

Les **débits non turbinables** (le débit réservé et les débits alimentant certains aménagements environnementaux) vont donc limiter la production de la centrale hydroélectrique en réduisant la plage de fonctionnement de la centrale (voir également Figure 3). Ils vont constituer un débit « perdu » tout au long de l'année et augmenter la valeur du débit de base dans le cours d'eau nécessaire pour lancer la centrale. D'où l'importance pour un hydroélectricien de fixer une **valeur adaptée à la biodiversité du cours d'eau sans trop impacter la production d'hydroélectricité**.

La Figure 2 illustre, dans le cas de la centrale de Caü Aval, en Pyrénées Atlantiques, la répartition des débits du cours d'eau entre les différents aménagements du site hydroélectrique. Sur une année, 67% du volume d'eau du cours d'eau sera turbiné par la centrale. Les 33% restant alimenteront : le débit minimum, les aménagements environnementaux ou passeront sur le barrage par surverse. Il est intéressant de déterminer cette répartition sur chaque aménagement hydroélectrique pour illustrer son incidence sur la ressource en eau.

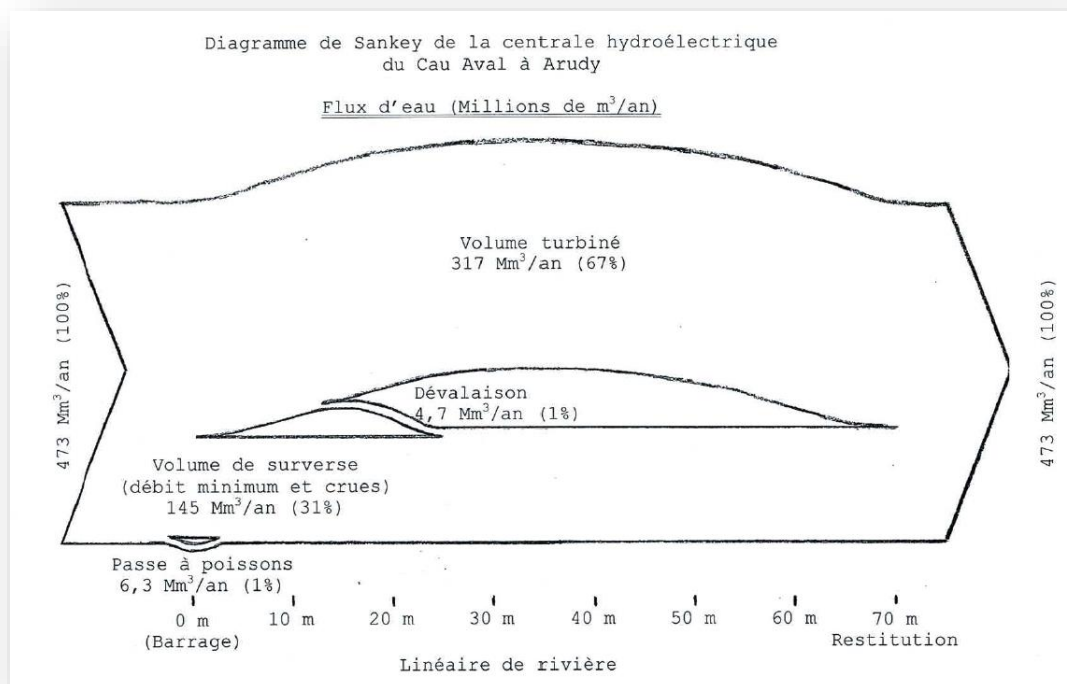


Figure 2 : Diagramme de Sankey de la centrale hydroélectrique du Cau Aval à Arudy : flux d'eau (millions de m³/an)

Une autre façon d'illustrer cette répartition des débits est l'utilisation d'une courbe des débits classés (Figure 3). Cette courbe permet de caractériser le régime d'écoulement représentatif du cours d'eau.

La courbe des débits journaliers du cours d'eau sur une année (a) donne un aperçu de l'ensemble des débits circulant dans le cours d'eau cette année-là. Pour obtenir une courbe des débits classés pour l'année (b), il suffit de classer les débits mesurés chaque jour du plus élevé au plus faible. Mais selon si l'année a été sèche ou humide, la courbe n'aura pas la même allure pour un même cours d'eau.

Pour « s'affranchir » des variations interannuelles de débit entre les années sèches et les années humide, on utilise les données de plusieurs années que l'on moyenne, ce qui donne la **courbe des débits classé du cours d'eau** (c).

Cette connaissance des débits caractéristiques du cours d'eau permet de guider le choix de dimensionnement des équipements d'une centrale. Car il faut bien noter que la grande majorité des centrales ne fonctionnent pas toute l'année : les débits de crue ne sont pas turbinés et une part des écoulements est laissée en permanence dans le cours d'eau. **A partir de cette courbe des débits classés et des caractéristiques de turbinage d'un site, il est possible d'évaluer les volumes d'eau turbinable et donc la production hydroélectrique potentielle de ce site.**

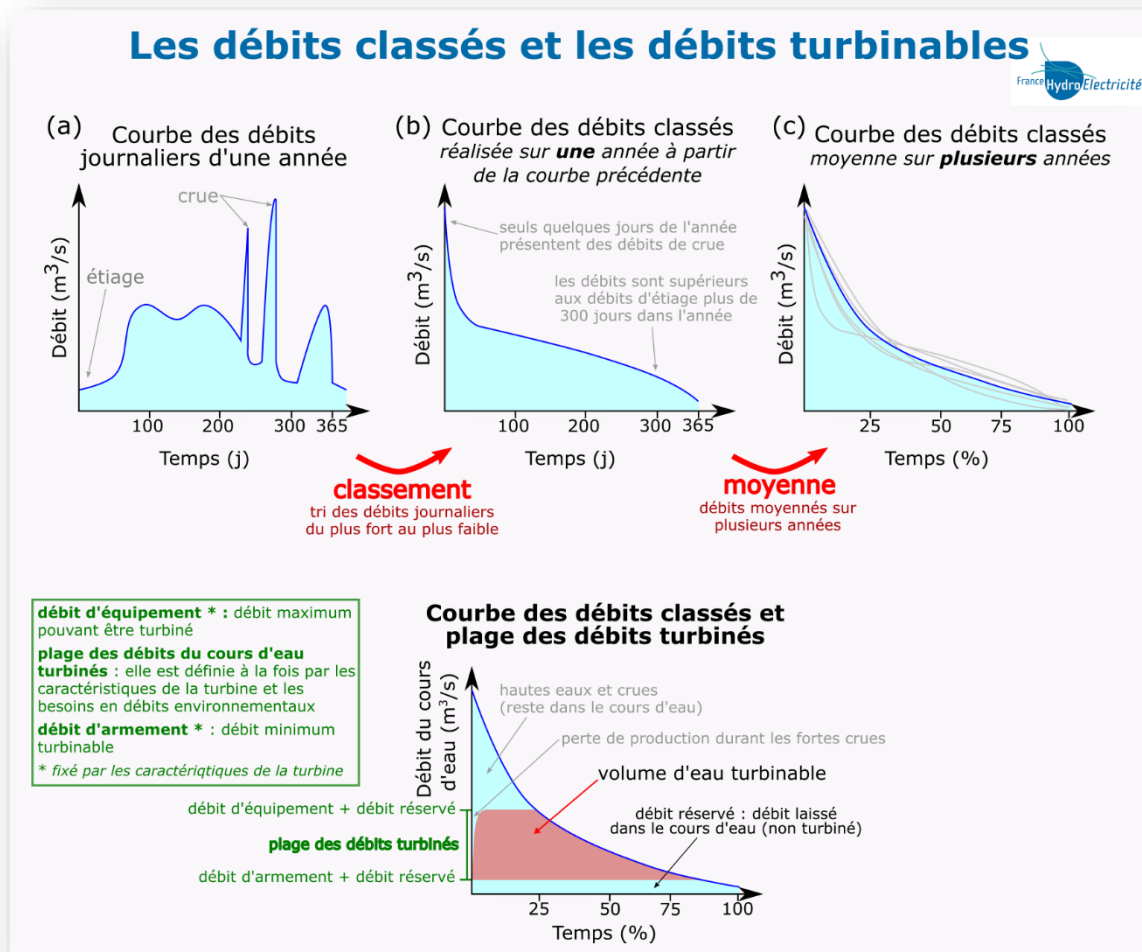


Figure 3 : Construction d'une courbe des débits classés et schéma explicitant les débits turbinables

II. Le lien entre production hydroélectrique et débits du cours d'eau

A. Le calcul de la production hydroélectrique est directement lié aux débits

La puissance d'une centrale correspondant à l'énergie hydraulique susceptible d'être fournie par l'installation sur le cours d'eau. Elle se calcule via la formule :

$$\text{Puissance (kW)} = \text{Hauteur de chute (m)} \times \text{Débit turbiné (m}^3/\text{s)} \times g$$

Avec g : la constante gravitationnelle (9,81 m/s²)

La puissance maximale brute (PMB) correspond au **maximum que pourrait produire la centrale si les conditions étaient idéales**. Il s'agit d'une valeur administrative, de référence pour les services de l'Etat ([L. 511-5 du code de l'énergie](#)). La PMB se calcule via la formule² :

$$\text{PMB (kW)} = \text{Hauteur de chute brute}^3 \text{ (m)} \times \text{Débit maximal dérivé (m}^3/\text{s)} \times g$$

La puissance nette de la centrale, dite **puissance active**, correspond à la puissance **électrique nette** réellement **livrée sur le réseau**. Elle se calcule en tenant compte du rendement de l'installation, via la formule :

$$\text{Puissance nette (kW)} = \text{Hauteur de chute nette}^4 \text{ (m)} \times \text{Débit turbiné (m}^3/\text{s)} \times g \times \text{coefficient de rendement de l'installation}$$

Le coefficient de rendement de l'installation dépend de l'ensemble des équipements du site : perte de charge des canaux et des grilles, consommation des auxiliaires, rendement de la turbine, rendement du multiplicateur, rendement du générateur, rendement du transformateur,

Donc au final, la **production annuelle d'une centrale**, va dépendre de la puissance active de la centrale mais aussi du nombre d'heure de fonctionnement de celle-ci au cours d'une année. Elle se calcule via la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Production (kWh)} \\ &= \text{Hauteur de chute}^*(\text{m}) \times \text{Débit turbiné}^*(\text{m}^3/\text{s}) \times g \times \text{Rendement} \\ &\times \text{Nombre d'heures de fonctionnement (h)} \end{aligned}$$

* Comme à tout instant, les conditions hydrologiques varient (le débit turbiné ne sera pas toujours le débit maximal et la hauteur de chute va également varier en fonction du débit du cours d'eau), la production hydroélectrique annuelle sera le reflet de ces variations.

² Guide de l'ADEME : « Hydroélectricité Réhabiliter ou optimiser un site DÉMARCHES ADMINISTRATIVES, TECHNIQUES ET INTÉGRATION DES ENJEUX DE CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE » Guide à destination des porteurs de projets, édition 2019-2020 <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/192-hydroelectricite-rehabiliter-ou-optimiser-un-site-demarches-administratives-techniques-et-integration-des-enjeux-de-continuite-ecologique.html>

³ **Hauteur de chute brute (Hb)** : c'est la différence d'altitude, au module, entre le niveau légal de retenue (souvent la crête du barrage) et le niveau d'eau à la confluence avec la rivière (point de restitution de l'eau).

⁴ **Hauteur de chute nette (Hn)** : elle tient compte des pertes de charges hydrauliques au droit de la turbine et dans les ouvrages d'aménée et de restitution de l'eau.

Le Figure 4 illustre, dans le cas de la centrale de Caü Aval, la production annuelle moyenne du site.

Les débits non turbinables (surverse, débit minimum et débits affectés aux aménagements environnementaux) représentent sur ce site une perte de 4GWh/an, soit 33% de la production potentielle brute de la chute, avec 12% (1,5 GWh/an) liés seulement au débit minimum. Ajoutées à cela les pertes (2GWh/an), **au final ce sont 50% (6 GWh/an) du potentiel brut de la chute qui sont exploités sur ce site.**

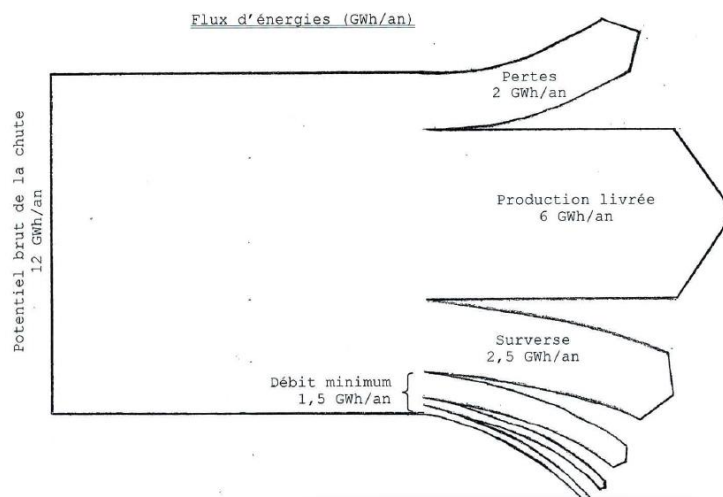


Figure 4 : diagramme de Sankey de la centrale hydroélectrique du Cau Aval à Arudy : flux d'énergies (GWh/an)

B. L'impact de l'évolution des débits sur la production hydroélectrique

La modification du débit réservé

Augmenter la valeur du débit réservé va augmenter les débits non turbinables laissés dans le cours d'eau (Figure 5). Cela décale la plage des débits du cours d'eau turbinables vers des débits plus élevés. **Pour la centrale hydroélectrique, cela a pour conséquence de réduire la production d'énergie renouvelable du fait de :**

- La diminution du volume de débits turbinables ;
- La diminution du nombre d'heures de fonctionnement de la centrale : la durée de fonctionnement de la centrale est plus réduite, notamment en période d'étiage, ce qui n'est pas compensé par les forts débits qui sont moins fréquents.

La valeur du débit réservé a donc un impact majeur sur la production annuelle de la centrale, sa détermination doit faire l'objet de la plus grande attention.

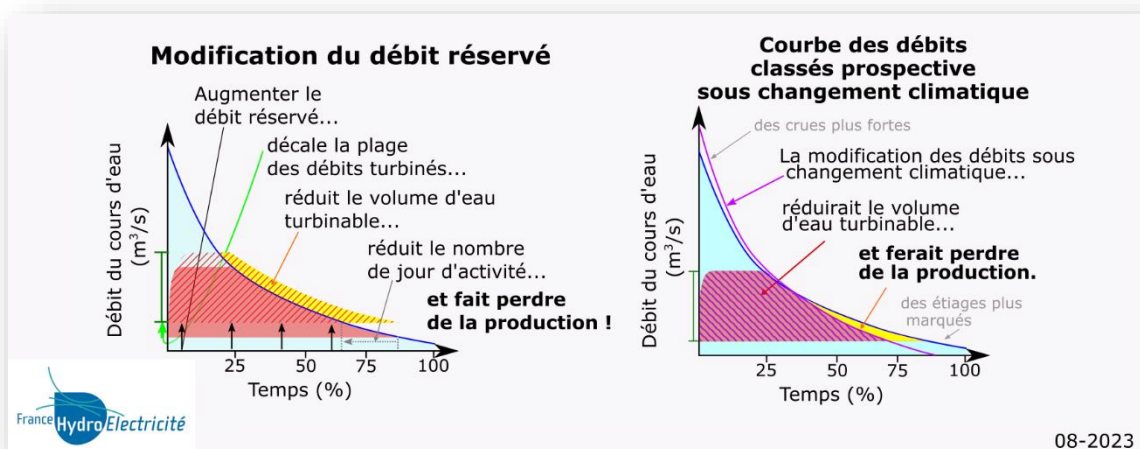


Figure 5 : l'impact d'une augmentation du débit réservé et de la modification des débits liés au changement climatique sur les débits turbinables

L'impact du changement climatique sur les débits et la production hydroélectrique

La modification des débits des cours d'eau sous l'influence du changement climatique reste difficile à prévoir. A priori, les crues devraient être plus fortes et moins prévisibles tandis que les étiages devraient être plus marqués et plus longs.

Ces changements devraient diminuer le volume d'eau turbinable d'une façon difficile à évaluer, car cela dépendra de la zone géographique/région où se situe le site hydroélectrique qui sera plus ou moins sensible aux effets du changement climatique. Ces évolutions pourraient également modifier les périodes de forte production hydroélectrique (la disparition du manteau neigeux supprimera les crues printanières mais augmentera les débits hivernaux).

Il paraît indispensable d'optimiser la gestion de la centrale (automatiser autant que possible les démarrages et arrêts des centrales) et d'ajuster les périodes de maintenance (en fonction des étiages), afin d'avoir les machines disponibles pour exploiter au mieux les débits turbinables lorsqu'ils se présenteront.