


# **Etude de faisabilité d'une centrale hydroélectrique en Bourgogne-Franche-Comté**

**Exemple-type de contenu d'étude  
administrative, technique, environnementale  
et financière / économique**

<b>ADEME Bourgogne-Franche-Comté</b>	
Site de Besançon 44 rue de Belfort 25000 BESANCON	Site de Dijon 15 boulevard de Broesses 21000 DIJON
Pour tout renseignement complémentaire, contactez Lilian GENEY : <a href="mailto:lilian.geney@ademe.fr">lilian.geney@ademe.fr</a> ou 03.80.76.89.79	
	
Site de Besançon 4 square Castan CS 57857 25031 BESANCON Cedex	Site de Dijon 17 boulevard de la Trémouille CS 23502 21035 DIJON Cedex
André LAURENT <a href="mailto:andre.laurent@bourgognefranchecomte.fr">andre.laurent@bourgognefranchecomte.fr</a>	Marie-Pierre SIRUGUE <a href="mailto:mariepierre.sirugue@bourgognefranchecomte.fr">mariepierre.sirugue@bourgognefranchecomte.fr</a>

Ce cahier des charges a fait l'objet d'une concertation en Bourgogne-Franche-Comté entre l'ADEME, la Région et l'Office Français pour la Biodiversité.

Effectuée en amont de la mise en œuvre d'un projet de production électrique par la force motrice de l'eau d'un cours d'eau, d'une rivière, d'un lac ou des eaux captées par gravitation (turbinage d'eau potable ou usée par exemple), l'étude devra démontrer la faisabilité administrative, technique, environnementale et économique d'une centrale hydroélectrique afin de fournir au maître d'ouvrage des éléments clairs, fiables et chiffrés lui permettant d'apprécier l'intérêt de réaliser ce projet.

En région Bourgogne-Franche-Comté, l'association ADERA assure une mission de conseils des porteurs de projets et d'animation de la filière hydroélectricité, financée par l'ADEME et la Région Bourgogne-Franche-Comté. Cette mission ne se substitue pas, pour autant, au rôle des bureaux d'études dans la faisabilité des projets. L'association ADERA, par l'intermédiaire de Fabrice Bouveret - [f.bouveret@adera.asso.fr](mailto:f.bouveret@adera.asso.fr), devra être systématiquement invitée aux diverses réunions figurant en partie 6 du présent cahier des charges.

## Préambule

Le présent cahier des charges vise à accompagner les études de futurs projets de production d'électricité par la force motrice de l'eau s'inscrivant dans des dynamiques de réhabilitation, de remise en service ou d'optimisation d'ouvrages existants, ainsi que l'équipement de seuils ou de chutes hydrauliques déjà présents voire d'équipements de réseaux d'eaux captées gravitairement (réseau d'eau potable, réseaux d'eaux usées, réseau neige, ...).

Les projets de création d'installations hydroélectriques s'inscrivent dans un cadre réglementaire spécifique, relevant notamment des procédures prévues par le Code de l'environnement. À ce titre, l'éligibilité aux aides de l'ADEME et de la région BFC est appréciée au regard de leur propre objectif respectif, de la maturité des projets et des priorités d'intervention définies à l'échelle nationale et régionale.

Dans le contexte actuel, l'ADEME et la Région BFC concentrent leur accompagnement financier sur les projets s'appuyant :

- sur des ouvrages existants ou des infrastructures déjà présentes, afin de favoriser des démarches pragmatiques et proportionnées, sans préjuger des possibilités de développement prévues par le cadre réglementaire en vigueur ;
- sur des réseaux d'eaux captées par gravitation (turbinage d'eau potable ou usée, réseau neige, ...).

Cela correspond à l'un des quatre cas suivants :

- **réalisation d'un aménagement** neuf de production d'énergie sur un seuil existant qui n'a jamais été équipé auparavant ;
- **remise en service** d'un équipement n'étant plus en activité, mais bénéficiant ou pas d'un droit d'eau (fondé en titre, autorisation, etc.) et pouvant prouver l'existence de la chute et des organes qui utilisent ou ont utilisé la force hydraulique ;
- **optimisation d'un site actuellement exploité** avec possibilité ou non d'ajout d'un équipement complémentaire ;
- **turbinage d'eau déjà captée** (réseau eau potable, réseau d'eaux usées, réseau neige, ...).

Les études devant être réalisées pour étayer la faisabilité de l'opération ont été regroupées de la façon suivante :

- Étude administrative ;
- Étude environnementale ;
- Étude technique ;
- Étude économique et financière.

Ce cahier des charges vise à définir les analyses indispensables à l'établissement de la faisabilité de l'opération d'implantation ou remise en état d'une centrale. Selon le contexte spécifique de chaque projet, des analyses complémentaires pourront être requises.

Le dossier de faisabilité doit être établi par un bureau d'études spécialisé et indépendant (à l'exclusion des entreprises de travaux et fournisseurs), qui conditionne l'octroi à des financements spécifiques d'organismes publics.

Cette étude n'a vocation qu'à étudier les aspects administratifs, techniques, environnementaux et économiques/financiers. Une étude liée spécifiquement à la prise en compte de la continuité écologique (dimensionnement des ouvrages suivants : passe à poissons, vanne de décharge de sédiments, ...) doit être réalisée en parallèle ou après la présente étude qui ne recensera que les mesures compensatoires et correctives.

Pour chaque étude et ainsi organiser la meilleure concertation entre les acteurs, usagers de la rivière et le maître d'ouvrage, il est imposé deux réunions a minima avec les services de la police de l'eau (DDT, DREAL, DRIEE... suivant les cas), de l'Office Français pour la Biodiversité (anciennement ONEMA, AFB), de VNF le cas échéant sur le domaine fluvial, de la fédération de pêche, des syndicats de rivière, les différents usagers de la rivière selon le contexte,... dès le démarrage de cette étude afin d'aborder les points particuliers du site (via une réunion d'échanges en présentiel ou distanciel. Si un de ces organismes ne peut pas être présent à l'une des deux réunions, il est préconisé de reprendre contact avec le (ou les services) concerné(s). Un compte-rendu de ces réunions sera systématiquement réalisé par le bureau d'études puis inséré en annexe du rapport de l'étude de faisabilité.

Toute autre recommandation technique préconisée par l'ADEME et/ou la Région devra être respectée en fonction des exigences que les partenaires auront émises autour du projet, de l'Office Français pour la Biodiversité, de la police de l'eau, de VNF ou des recours divers qui auront pu être déposés.

La « grille de collecte d'information en vue d'une étude de faisabilité », disponible sur le site de l'ADEME, peut être utilisée par les futurs porteurs de projets pour collecter différentes informations et ainsi permettre aux bureaux d'études consultés de mieux cerner l'état des lieux des informations que possède le maître d'ouvrage.

Pour information, plusieurs ressources documentaires (guides, fiches, lettres, ...) peuvent être utiles au porteur de projets pour la réalisation de son projet et sont disponibles sur le site Internet <https://hydro-bfc.fr/> ou sur le site Internet <https://librairie.ademe.fr/> puis mots clés « Hydroélectricité ».

Rappel de la règle d'éligibilité pour bénéficier d'un soutien financier aux travaux en Région Bourgogne-Franche-Comté pour l'année 2023 :

Les créations ne sont pas éligibles conformément au tarif d'achat H16.

L'autoconsommation collective sera examinée au cas par cas.

L'aide ne sera attribuée que dans les conditions d'éligibilité du tarif d'achat en vigueur.

Seront privilégiées les opérations pour lesquelles la Région et l'ADEME auront été associées le plus en amont possible, sous réserve de l'accord préalable sur le cahier des charges et du respect des éventuelles préconisations méthodologiques. L'étude de faisabilité est obligatoire.

Les installations devront être exemplaires du point de vue environnemental :

- Pas de création de tronçon court-circuité ;
- Équipement par turbine ichtyo-compatible ou autres dispositifs permettant de réduire les mortalités en dévalaison (grille, ...) ;
- Équipement en dispositif de montaison (passes à poissons, rivière de contournement...) validé par l'Office français de la biodiversité, sur demande de la DDT ;
- Existence de vannes manœuvrables ou tout autre système permettant d'assurer la transparence sédimentaire.

En cas d'aide sur un dispositif assurant la continuité écologique compris dans le projet global, le versement du solde de la subvention sera suspendu à la réalisation effective de ce dispositif.

Toute autre recommandation technique préconisée par les partenaires devra être respectée.

Cette étude devra obligatoirement prendre en compte le financement et la réalisation des aménagements nécessaires pour que la gestion de l'ouvrage permette de garantir la continuité piscicole et sédimentaire du cours d'eau. Le dispositif de montaison devra être systématiquement envisagé, sauf avis contraire par la DDT. Comme indiqué au cahier des charges : la production sera estimée sur l'année, par saison (été, hiver) et pour chaque période correspondant à une condition tarifaire particulière. Un calcul pour des conditions hydrologiques sévères (année sèche) est souhaité. Il devra être tenu compte de l'influence du

changement climatique sur la ressource en eau (cf. projet de recherche HYCCARE en Bourgogne, <https://www.alterrebourgognefranche-comte.org/r/127/projet-de-recherche-hyccare/>).

Pour les projets se trouvant sur un tronçon classé en liste 1 ou 2 : les moulins dont les seuils et vannages ne représentent plus un obstacle à la continuité ne pourront pas être éligibles si la remise en route de l'hydroélectricité nécessite de restaurer la chute.

## **SOMMAIRE**

1) Présentation du site hydroélectrique et du porteur de projet.....	6
2) Etude administrative .....	6
2.1) Situation administrative actuelle .....	6
2.2) Démarches administratives .....	7
3) Etude environnementale .....	7
3.1) Milieu physique.....	7
3.2) Milieu biologique.....	8
3.3) Le milieu humain .....	8
3.4) Mesures correctives et compensatoires .....	9
3.5) Analyses ultérieures à prévoir .....	9
4) Etude technique .....	9
4.1) Généralités sur le site et état des lieux des installations existantes .....	9
4.2) L'hydrologie .....	10
4.3) La chute .....	10
4.4) Le débit d'équipement et la puissance .....	10
4.5) Estimation de la production .....	11
4.6) Description du projet .....	12
5) Etude financière et économique .....	13
5.1) Investissements.....	13
5.2) Le chiffre d'affaires lié à la vente d'électricité .....	14
5.3) Les charges d'exploitation et maintenance .....	14
5.4) Les aides mobilisables .....	14
5.5) Analyse financière .....	14
6) Réunions.....	14
7) Livrables .....	15
Fiche de synthèse étude hydroélectricité .....	16

## Introduction

Présentation des principes généraux d'une centrale hydroélectrique, illustration à l'appui, des enjeux énergétique (en termes de production électrique) et des enjeux environnementaux liés notamment à la continuité écologique.

Il s'agit de définir brièvement le type de centrale projeté et de préciser les éléments caractéristiques qui entrent dans la conception de l'installation.

### 1) Présentation du site hydroélectrique et du porteur de projet

- Nom et coordonnées du maître d'ouvrage ;
- Présentation du maître d'ouvrage et de ses motivations ;
- Nom des contacts administratifs et techniques ;
- Le cas échéant : nom et adresse du lieu de l'installation projetée (si différent de l'adresse du maître d'ouvrage) ;
- Description de l'activité de l'établissement ;
- Présentation du site à travers diverses cartes de situation.

Présentation générale du site : contexte historique, état des infrastructures et des installations, enjeux énergétiques et environnementaux du projet, ...

Le maître d'ouvrage s'engage à fournir au prestataire tous les éléments nécessaires et utiles à la réalisation de l'étude de faisabilité notamment :

- Le droit d'eau (fondé en titre, autorisation ...) ;
- Le règlement d'eau du site ;
- Les éléments techniques déjà existants ;
- Les plans des installations ;
- Les données de production ;
- ...

### 2) Etude administrative

Un point précis sera fait sur l'aspect administratif du projet, à la fois sur la situation actuelle et sur les démarches qu'il convient d'envisager.

Le cas échéant, et dès le stade de la faisabilité, le prestataire réalisera, pour le compte du maître d'ouvrage, les demandes de reconnaissance de l'existence légale et de consistance légale du droit d'eau.

#### 2.1) Situation administrative actuelle

La présentation de la situation administrative actuelle sera aussi exhaustive que possible et pour cela tous les contacts avec l'Administration seront pris.

Les informations suivantes seront fournies :

- Propriétaire(s) actuel(s) du site et de son milieu environnant (usine, canal d'aménée et canal de fuite, seuil, cours d'eau ; rives amont et aval) ;
- Appréhension de la maîtrise du foncier (droit de propriété des parcelles d'implantation du projet, droit de passage sur les parcelles avec servitude et contraintes d'accès, baux de location...) ;
- Service instructeur de la police de l'eau pour ce site (avis DDT ou DREAL le cas échéant) ;
- Existence d'un classement ou d'un projet de classement du cours d'eau (liste 1, liste 2, trame bleue, ...) ;
- Existence d'un droit d'eau et obtention du document correspondant (autorisation, concession, droit fondé en titre, ...). En particulier, il sera précisé le débit dérivé autorisé, le débit minimum restitué en aval (débit réservé ou minimum biologique), la hauteur de chute brute, la durée du droit d'eau, les conditions d'exploitation, toute autre contrainte éventuelle ;
- Existence d'un Plan de Prévention des Risques Inondation ;
- Existence d'un règlement particulier relatif au cours d'eau (navigation, soutien d'étiage, consignes de crues, arrêt estival de turbinage, etc.) ;

- Servitudes éventuelles liées à l'existence d'autres droits d'eau.

## 2.2) Démarches administratives

Elles seront listées, et comporteront au minimum les informations suivantes :

- Compatibilité du projet avec le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) ;
- Procédures et nomenclatures applicables au code de l'énergie ;
- Procédures et nomenclatures applicables au code de l'environnement.

Ces investigations (les demandes de reconnaissance de l'existence légale et de consistance légale du droit d'eau), réalisées par le prestataire pour le compte du maître d'ouvrage, feront obligatoirement l'objet d'une concertation avec le service de l'Etat instructeur des demandes d'autorisation dont on obtiendra l'avis écrit sur la faisabilité du projet et les démarches à réaliser et toutes recommandations lors de la réunion de démarrage et une pré-validation des dispositifs (passe à poissons, grille, ...) lors de la réunion de restitution. Le bureau d'études fera figurer en annexe la preuve de la reconnaissance du droit d'eau avec notamment la preuve de l'existence et de la consistance légale.

## **3) Etude environnementale**

En premier lieu, une recherche des différentes protections réglementaires et zonages environnementaux existants (Natura 2000, classement L214-17 liste I et II, inventaire frayères L.432-3, objectifs DCE et programme de mesures ...) et des servitudes inhérentes doit être effectuée sur le site.

Le classement éventuel du cours d'eau au titre de l'article L214-17 sera vérifié et ses implications réglementaires devront être prises en considération dès l'amont du projet, qu'il soit effectif ou en projet.

Cette partie s'attachera à analyser les impacts de l'aménagement sur son environnement, et en particulier sur :

- Le milieu physique : hydrologie et eaux souterraines ; morphologie ; physico chimie ;
- Le milieu biologique : hydrobiologie, faune piscicole et pêche, végétation et faune riveraine ;
- Le milieu humain : usages de l'eau, paysage, environnement sonore, socio-économie et sécurité.

Cette partie sera plus ou moins étayée en fonction de la sensibilité environnementale du site (classement du cours d'eau, site inscrit, site classé...), des aménagements prévus (réalisation d'un aménagement sur un seuil qui n'a jamais été équipé, remise en service d'un équipement non utilisé, équipement complémentaire sur un site actuellement exploité) et de la situation administrative du site (droit fondé en titre ou concerné par la loi du 16 octobre 1919, autorisation, concession, ...).

Pour la réalisation de cette étude, le prestataire prendra contact avec les organismes ou institutions suivants et recueillera en cas de besoin leur avis écrit : DREAL, DDT (police de l'eau), OFB, VNF, fédérations de pêche, syndicat de rivière, Agence de l'eau, mairies, architectes des bâtiments de France, Parc Naturel Régional, zone NATURA 2000, ZNIEFF, ...

Dans le cadre d'un site relevant d'une procédure d'autorisation, la présente étude de faisabilité devra permettre au maître d'ouvrage d'avoir tous les éléments présentant les aspects environnementaux pour déposer officiellement la demande d'autorisation.

**Attention** : l'étude de faisabilité n'est pas une étude d'impact sur l'environnement au sens réglementaire de la demande d'autorisation.

### 3.1) Milieu physique

Le classement éventuel du cours d'eau sera vérifié, qu'il soit effectif ou en projet.

#### *3.1.1) Hydrologie*

L'impact de l'aménagement sera évalué sur le régime hydrologique du cours d'eau et sur sa morphologie. Il conviendra de (re)stipuler le mode de fonctionnement de l'aménagement : fil de l'eau ou fonctionnement

en éclusées (préciser la fréquence et les amplitudes) et d'appréhender, les conséquences, en terme, de valeur et de durée des étiages et l'impact de ce mode de fonctionnement sur les habitats aquatiques.

L'influence éventuelle de l'aménagement sur les écoulements souterrains sera abordée.

### *3.1.2) Physicochimie*

La qualité physicochimique de l'eau sera recherchée à partir d'une collecte d'éléments bibliographiques existants, elle concernera principalement les paramètres suivants : température, oxygène, pH, conductivité, azote, phosphore, MES, DB5, DCO, chlorophylle. L'influence probable de l'aménagement sur la qualité de l'eau (notamment, le cas échéant, modification du temps de séjour de l'eau dans la retenue amont, modification du transport des sédiments, relargage de polluants actuellement piégés dans la retenue, modification des caractéristiques du cours d'eau à l'aval et de sa température ...) sera abordée.

## 3.2) Milieu biologique

### *3.2.1) Faune aquatique*

Le peuplement actuel (poissons, invertébrés, castors...) sera évalué à partir de données existantes. Pour cela, tous les contacts nécessaires seront pris auprès des organismes ou institutions cités ci-dessus.

L'influence probable de l'aménagement sur les peuplements sera abordée. En particulier, les espèces piscicoles présentes et leurs besoins en termes de circulation seront abordées à ce stade (cf. 3.4) : modification du milieu, risque de mortalité à la traversée des turbines, possibilité de remontée et de dévalaison sur le seuil, transports sédimentaires. L'avis de l'administration sera pris à ce sujet.

Une analyse sera menée concernant le tronçon court-circuité (TCC) par l'aménagement. Une valeur sera proposée pour le débit minimum à restituer en aval (débit réservé ou minimum biologique) et justifiée tant sur le plan réglementaire que sur la préservation du milieu aquatique dans le tronçon court-circuité.

### *3.2.2) Végétation et faune riveraine*

Elles feront l'objet d'un inventaire rapide obtenu par une visite du site et la recherche d'éléments bibliographiques, y compris les espèces invasives. L'existence de zone protégée (inscription, ZNIEFF ou autres...) sera vérifiée.

L'impact de l'aménagement sera abordé, notamment celui du marnage induit par le fonctionnement de l'installation.

## 3.3) Le milieu humain

### *3.3.1) Usages de l'eau*

Un inventaire de l'ensemble de ces usages (sports d'eau vive, baignade, promenade, navigation, pêche...) sera fait avec les différents acteurs concernés afin d'apprécier les enjeux et les contraintes qui peuvent y être associés.

Les besoins en eau à proximité du projet seront identifiés (soutien d'étiage, prise d'eau agricole, eau potable ...).

### *3.3.2) Paysage*

L'insertion paysagère du projet sera abordée. En particulier, les éventuels sites classés, sauvegardés ou protégés seront listés et localisés. Un contact avec le service territorial de l'architecture et du patrimoine (architecte des bâtiments de France) et/ou avec les services culturels de la collectivité et/ou avec la Direction régionale des affaires culturelles devra être pris et leur avis écrit devra être recueilli.

### *3.3.3) Bruit*

Le bruit généré par les différents équipements sera estimé, ainsi que la gêne qu'il occasionnera. En fonction du voisinage, des solutions de réduction sonore devront être proposées.



### *3.3.4) Socio-économie et sécurité*

Les activités économiques locales seront listées. Les caractéristiques des communes concernées par le projet seront indiquées notamment leurs ressources fiscales. L'influence du projet sur ces activités sera abordée et financièrement quantifiée : influence positive (apport fiscal pour la commune, création d'emplois) et influence négative (gêne des autres usages).

Les effets de l'aménagement sur la sécurité publique seront analysés, notamment en termes de variation de débit et de hauteur d'eau sur le cours d'eau, de sécurité quant à l'accès à l'usine, de problématique PPRI.

### 3.4) Mesures correctives et compensatoires

Les mesures correctives dans le cadre d'un projet visent à réduire au maximum les incidences de l'installation hydroélectrique (lors de la réalisation des travaux puis en phase exploitation) sur le fonctionnement écologique des milieux aquatiques (ou terrestres) impactés. Dans le cas où la totalité des impacts ne peuvent pas être corrigés par les mesures correctrices, des mesures de compensation peuvent alors être demandées de préférence sur le tronçon du cours d'eau hydromorphologiquement homogène et aussi pour permettre des activités culturelles et sportives.

L'analyse des impacts objet du chapitre 3.3 fera obligatoirement l'objet de propositions de mesures correctives et compensatoires :

- Adaptations du projet pour répondre aux contraintes identifiées, par exemple : réalisation de dispositifs de franchissement permettant de maintenir la continuité biologique et sédimentaire, traitement architectural, insonorisation, adaptation du mode de gestion de l'ouvrage, automatisation des vannages, ...
- Mesures destinées à compenser la gêne induite sur les autres usages.

Ces mesures seront chiffrées et intégrées dans l'estimation économique (cf. 5.1).

### 3.5) Analyses ultérieures à prévoir

Les compléments d'analyse nécessaires à la poursuite du projet seront définis et chiffrés. Ils pourront par exemple concerner la définition précise du débit minimum restitué en aval (débit réservé ou minimum biologique), par une des méthodes d'estimation existantes (méthode la plus adaptée selon l'hydrologie naturelle du cours d'eau et la longueur du TCC), des prélèvements pour analyses de l'eau, la réalisation de pêches électriques, ...

## **4) Etude technique**

Cette partie concerne la définition du projet de façon à en estimer les coûts d'investissement et la production d'énergie, clés de la rentabilité de l'aménagement.

Elle doit commencer par une visite/inspection détaillée du site afin de déceler les points clés de l'analyse de faisabilité et de concentrer les efforts sur ces points.

### 4.1) Généralités sur le site et état des lieux des installations existantes

Les principales caractéristiques du site seront indiquées :

- Nom du cours d'eau ;
- Localisation, situation et mise en avant des contraintes éventuelles d'usage des sites ;
- Conditions du projet : projet nouveau, réhabilitation d'un site abandonné, équipement complémentaire (dans ce dernier cas, description de l'aménagement existant : puissance installée, débit d'équipement par groupe, type de groupes, année de mise en service) avec proposition d'optimisation, le cas échéant, du fonctionnement du (ou des groupes) existant(s) ;
- Appréhension de la maîtrise du foncier (du droit de propriété, droit de passage sur les parcelles concernées avec servitude et contrainte d'accès) ;
- Identification de l'investisseur et des partenaires envisagés (entreprises, industriels, ...) ;

- Un plan topographique, si jugé utile au stade de l'étude de faisabilité, couvrant l'ensemble du projet sera dressé et joint au dossier, sa précision devant permettre la définition de chaque composant de l'aménagement ;
- Descriptif de l'existant : état actuel du seuil, de la prise d'eau, du canal de fuite, de la conduite forcée, du réservoir, des circuits hydrauliques, localisation des vannes et leurs états, état des locaux éventuels, puissance de turbine et son état, puissance de la génératrice et son état, raccordement au réseau, ...

#### 4.2) L'hydrologie

La superficie du bassin versant concernée par la prise d'eau sera estimée.

Le prestataire cherchera à caractériser les débits minimum, maximum, moyen, minimum biologique. Une attention particulière sera apportée à la définition de l'hydrologie du cours d'eau.

L'analyse hydrologique doit permettre de déterminer les courbes de débits journaliers classés pour chacune des saisons d'application des tarifs de vente (cf. 5.2). Il est recommandé d'établir ces courbes pour l'année moyenne et pour une année sèche (par exemple l'année décennale sèche), cette dernière information pouvant permettre d'apprécier l'impact d'années sèches sur la recette.

Le dossier comprendra :

- un descriptif succinct de la méthode utilisée pour établir ces courbes (utilisation de stations de jaugeage voisines, transposition de données d'un bassin voisin, ...) ;
- les courbes des débits journaliers classés pour chaque saison tarifaire et pour l'année moyenne (éventuellement pour l'année sèche si l'investisseur souhaite examiner la sensibilité des recettes à l'hydraulicité du cours d'eau).

#### 4.3) La chute

Le prestataire cherchera à caractériser la hauteur de chute brute et la hauteur de chute nette.

L'attention est attirée sur le fait que, pour les forts débits (et donc aux périodes où l'énergie est valorisée de façon plus importante), le niveau aval peut augmenter plus rapidement que le niveau amont, diminuant ainsi la chute et la production hivernale.

La cote du niveau amont sera déterminée. Elle correspond en principe au niveau du seuil déversant du barrage et est donnée par les exploitants de celui-ci ou le règlement d'eau.

Comme indiqué précédemment, la détermination de la cote du niveau aval est plus délicate. Une cote doit être déterminée pour les conditions d'étiage (en été) et une cote pour les conditions moyennes hivernales (cette cote peut s'apprécier soit par des témoignages, soit par des relevés, soit par des calculs hydrauliques de type loi de Strickler).

Deux chutes brutes seront ainsi déterminées :

- Chute correspondant au fonctionnement à l'étiage ;
- Chute correspondant aux conditions hivernales moyennes.

Ces calculs de hauteur de chute sont intéressants pour une estimation grossière du productible et donc du potentiel énergétique. Cependant, réglementairement, la puissance autorisée correspond (Article R.214-72 du code de l'environnement & annexes de l'article R214-85 du CE : partie réglementaire, autorisation des ouvrages) à la puissance maximale brute hydraulique calculée à partir du débit maximal de la dérivation et de la hauteur de chute brute.

#### 4.4) Le débit d'équipement et la puissance

Le prestataire cherchera à allier les enjeux de production énergétique et enjeux environnementaux (y compris enjeux sur l'ichtyocompatibilité). Il cherchera à caractériser le débit d'équipement qui présente le meilleur compromis technico-économique (pour chaque type de turbine) et la puissance hydraulique et électrique maximum, minimum et moyenne du site.

Dans tous les cas, il est nécessaire de mener une réflexion sur le choix du débit d'équipement qui tient compte des débits naturels de la rivière (régularité), des possibilités physiques du site, des équipements existants.

Les aspects suivants devront donc être précisés (différents scénarii seront présentés au besoin) :

- Valeur du débit d'armement ;
- Valeur du débit d'équipement et critère de sélection (des logiciels spécifiques permettent de dégager rapidement les coûts et recettes pour différentes configurations de projet) ;
- Valeur du débit minimum à restituer en aval (débit réservé ou minimum biologique) et critère de détermination (voir 4.5).

Par ailleurs, les débits potentiellement non turbinés, même s'ils ne sont qu'estimés sommairement à ce stade de dimensionnement du projet, doivent être pris en compte dans le choix du débit d'équipement et donc dans l'analyse du potentiel énergétique du site. Les débits potentiellement non turbinés représentent :

- 1) Le débit à maintenir dans le tronçon court-circuité (TCC) le cas échéant, débit destiné à garantir des conditions satisfaisantes pour la vie, la circulation et la reproduction des espèces aquatiques (article L.214-18 CE : obligations relatives aux ouvrages). Ce dernier représente donc une mesure corrective importante et clé dans un projet hydroélectrique dont l'objectif est d'assurer la compatibilité entre l'usage énergétique et la préservation des milieux aquatiques. En ce sens, il s'agit de définir, dans un cadre réglementaire fixant par ailleurs des valeurs minimales (article L.214-18 CE : obligations relatives aux ouvrages), une valeur adaptée au site et notamment au point de vue de l'hydrologie naturelle du cours d'eau et de la sensibilité des espèces piscicoles présentes.
- 2) Les débits dédiés au fonctionnement des dispositifs de franchissement piscicoles (montaison et/ou dévalaison) le cas échéant et qui peuvent être variables suivant les enjeux en termes de continuité biologique et les caractéristiques de l'aménagement. En fonction du positionnement de ces ouvrages par rapport au seuil de dérivation, leur débit d'alimentation participera ou non au débit minimal maintenu dans le tronçon court-circuité (TCC).

#### 4.5) Estimation de la production

L'estimation de la production sera réalisée sur la base des débits journaliers. Une attention particulière sera demandée pour la détermination des productibles.

Pour le calcul de la production en kWh, il doit être tenu compte des points suivants :

- Variation des débits (voir 4.2),
- Variation de la chute (voir 4.3),
- Valeur du débit non turbinable dans la limite du droit d'eau (voir 4.4),
- Pertes de charges à l'amont et à l'aval de la centrale (qui peuvent être importants si le chemin d'amenée et d'évacuation est long, étroit et les vitesses élevées),
- Rendements des équipements hydrauliques, mécaniques, électromécaniques et électriques.

La production d'électricité sera estimée :

- Sur l'année pour des données hydrologiques moyenne, minimale (année sèche) et maximale de débit (année humide) ;
- Par saison tarifaire (composante été, composante hiver) selon la tarification saisonnière correspondant à une condition tarifaire particulière (voir 5.2) ;
- Également en termes d'équivalent-logement ou foyer sur la base d'une consommation en électricité spécifique (hors chauffage, eau chaude et cuisson) de 2 228 kWh/an, source : Projet PANEL ELECDOM de 2021, sur la consommation en électricité spécifique (hors chauffage, eau chaude et cuisson).

Il est attendu :

- La production moyenne annuelle et pour chaque composante (hiver et été) ;
- La production maximale annuelle et pour chaque composante (hiver et été) ;
- La production minimale annuelle et pour chaque composante (hiver et été).

Pour le calcul pour des conditions hydrologiques sévères (année sèche), il devra être tenu compte de l'influence du changement climatique sur la ressource en eau (cf. projet de recherche HYCCARE en Bourgogne, <https://www.alterrebourgognefranchecomte.org/r/127/projet-de-recherche-hyccare/>).

#### 4.6) Description du projet

Cette partie concerne l'investissement de construction et intègre les travaux de génie civil, de la fabrication, de la mise en service des équipements, ...

##### *4.6.1) Travaux de génie civil*

Le prestataire identifie clairement (descriptif, nature, durée de réalisation, conditions techniques, organisation...) :

- Les travaux d'aménagement à réaliser autour du site en vue d'accueillir les installations hydroélectriques. Le prestataire précisera si une étude géotechnique s'avère nécessaire (cette étude complémentaire ne sera toutefois pas réalisée dans le cadre de cette présente consultation) ;
- Les travaux de génie civil nécessaires pour les locaux : réhabilitation dans le cas de locaux déjà existants sur place ou construction neuve ;
- Les travaux de génie civil à réaliser dans le cas de la création d'une nouvelle prise d'eau et/ou conduite forcée considérant aussi les débits non turbinés ;
- Le cas échéant, les travaux de génie civil correspondant à la réalisation d'un dispositif de circulation piscicole (chiffrage estimatif qui sera à préciser ultérieurement ou en parallèle dans le cadre du dimensionnement des ouvrages définis par l'étude de continuité écologique qui ne fait pas partie de la présente prestation).

Le programme de travaux de génie civil pourra comprendre notamment : travaux préparatoires (batardeaux, démolition de maçonneries, démontage de vannes existantes ou de l'ancienne turbine ou génératrice), reprise et consolidation éventuelle du seuil, de la zone de prise d'eau, du canal usinier et du canal de fuite avec curages, terrassements, radiers, bajoyers, dalles, enrochements, clôtures, dispositif anti-embâcles, etc.

Dans l'analyse des différentes parties du projet, il est souhaitable de porter une attention particulière aux points susceptibles de générer soit des surcoûts pendant les travaux soit des difficultés ou des pertes d'exploitation comme, par exemple :

- Les vitesses de l'écoulement (les pertes de charge et donc d'énergie étant proportionnelles à ces vitesses) ;
- La qualité (et l'étanchéité) du revêtement (influant directement sur les pertes de charge) ;
- L'absence de transition brusque (créant des pertes de charge singulières) ;
- La question des corps flottants (dimensions de la grille d'entrée – en prenant en compte les contraintes d'écartement des barreaux pouvant être imposées pour limiter la mortalité piscicole, dégrilleur, évacuation des déchets) ;
- Les conditions de terrassement et de stabilité (aspects géotechniques) ;
- Les conditions hydrauliques en crue (influence des crues naturelles sur le chemin d'eau) ;
- Les conditions de réalisation des travaux (mise en place de batardeaux, pompage, ...) ;
- Les contraintes environnementales.

L'attention est attirée sur les aspects géotechniques qui sont souvent mal appréhendés et susceptibles d'entraîner des travaux supplémentaires lourds. En cas de doute, il sera souhaitable de :

- Consulter un expert dont la mission sera d'apprécier les aléas géologiques et géotechniques du projet et de préciser les moyens permettant de les réduire ;
- D'entreprendre une reconnaissance spécifique par sondage pour lever les incertitudes majeures.

Ce volet ne sera pas réalisé dans le cadre de la présente prestation, mais les études complémentaires seront identifiées, chiffrées et intégrées dans l'estimation économique.

##### *4.6.2) Equipement hydraulique et électrique*

Au vu des résultats de l'état des lieux et des calculs des débits d'équipement envisageables (actuel, optimisé), le prestataire définit les équipements à mettre en œuvre concernant l'installation hydraulique et

électrique. Il est possible qu'il y ait plusieurs scénarios envisageables.

- Travaux à effectuer sur la prise d'eau et/ou la conduite forcée (clapets de rehausse du seuil, remplacement, agrandissement...). La conduite forcée sera définie sur les points suivants : matériaux, épaisseur, section, longueur, ... ;
- Plans schématiques de la nouvelle prise d'eau et/ou cheminement de la conduite forcée, du canal de fuite : coupes types, profils en long et cheminement sur carte ;
- Définition précise, avec leurs caractéristiques techniques et plans schématiques, des équipements employés : nombre et type de turbine(s) avec la puissance unitaire et globale installée, génératrice et type de régulation avec courbes des rendements, dégrilleur, grille, drome flottante, vannes de décharge, de transfert de sédiment et d'isolement, armoire électrique, organe de sécurité, by-pass, dispositif de contrôle et commande (régulation), description du caractère ichtyocompatible du site (turbine ou prise d'eau, y compris dans le cadre de groupe(s) existant(s)), ...

Il sera demandé la réalisation de schémas prévisionnels d'implantation, et suffisamment explicites, des divers équipements et utilisant au mieux la configuration du site et ses contraintes diverses.

Une option d'automatisation complète de l'installation (démarrage et arrêt automatiques, régulation et gestion de l'énergie, surveillance des niveaux et des débits...) sera proposée avec un système de surveillance à distance.

#### *4.6.3) Raccordement au réseau électrique basse, moyenne ou haute tension*

Le prestataire détermine le point de raccordement, les caractéristiques de l'énergie à fournir, la ligne électrique MT ou BT à créer, l'appareillage pour le raccordement.

Il peut s'appuyer sur Enedis (anciennement ErDF) ou sur les syndicats d'énergie départementaux.

## **5) Etude financière et économique**

Le prestataire devra établir les coûts d'investissements, le chiffre d'affaires lié à la vente d'électricité et les charges annuelles.

Point d'alerte sur cette partie : il s'agira d'une première approche qui pourra nécessiter d'être affinée. Le maître d'ouvrage pourra en effet recourir aux services d'un expert-comptable pour réaliser un bilan prévisionnel d'exploitation sur 20 ans (durée du contrat d'achat) intégrant les éléments définis dans l'analyse économique. L'expert-comptable ou un conseiller juridique et financier pourra aussi conseiller le maître d'ouvrage sur le choix de la structure juridique pour l'exploitation future de la centrale.

Ce volet ne sera pas réalisé dans le cadre de la présente prestation, mais les analyses financières et/ou juridiques complémentaires seront identifiées, chiffrées et intégrées dans l'estimation économique.

### 5.1) Investissements

Pour chaque scénario retenu, le prestataire détaillera poste par poste les investissements liés :

- Aux études complémentaires : analyses ultérieures du point de vue environnemental (cf. 3.5), reconnaissances géotechniques éventuellement nécessaires (cf. 4.6.1) ;
- À l'élaboration du dossier loi sur l'eau comprenant l'étude d'incidence, dans le cas d'une demande d'autorisation ;
- Aux démarches administratives pour la demande de raccordement au réseau de distribution d'électricité public ;
- Aux frais d'ingénierie (maîtrise d'œuvre : études de conception, consultation des entreprises et suivi du chantier) ;
- À l'ensemble des installations techniques et hydrauliques ;
- Au génie civil ;
- Aux dépenses liées à la sécurité et au contrôle : mise en place d'un enregistreur de débit pour mesurer le débit minimum à restituer en aval (débit réservé ou minimum biologique), mise en place d'un dégrilleur automatique, récupération et élimination des déchets flottants, ... ;
- Aux dépenses d'équipements liées aux mesures correctives et compensatoires si elles sont nécessaires, pour une meilleure prise en compte de l'environnement et de la continuité

écologique et transfert des sédiments, ... ;

Le bureau d'études utilisera ses propres ratios ou pourra faire appel à des devis d'un ou plusieurs fabricants de turbine pour les groupes de production d'énergie, d'entreprises de génie civil, ...  
Le niveau d'incertitude sur les coûts sera précisé.

### 5.2) Le chiffre d'affaires lié à la vente d'électricité

Pour chacun des scénarii retenus, le prestataire présente les différents mécanismes de soutien ou autres valorisations (H16 neuf, H16 rénovation, marché libre, autoconsommation collective ou individuelle, ...) et les possibilités de vente d'électricité (vente totale, autoconsommation avec vente du surplus, autoconsommation totale) et identifie celui qui est le plus adapté (analyse comparative).

Sur la base des données hydrologiques, du choix des équipements et du calcul du productible lié aux choix des équipements, le prestataire détermine les revenus selon les estimations de production demandée en 4.5 et en privilégiant les productions à haute valeur, ce qui peut impacter sur la définition du débit d'équipement optimal.

Il est attendu l'estimation des recettes pour les cas suivants :

- Recette brute moyenne annuelle ;
- Recette brute moyenne composante hiver ;
- Recette brute moyenne composante été ;
- Recette brute maximale annuelle ;
- Recette brute minimale annuelle.

Il sera tenu compte de l'évolution à venir ou possible du dispositif de soutien à la production d'électricité renouvelable en France.

### 5.3) Les charges d'exploitation et maintenance

Le prestataire évaluera également les coûts d'exploitation et de maintenance de l'installation par poste en incluant les niveaux de dépenses suivants : frais de personnel pour la surveillance, la conduite et l'entretien des installations, frais de maintenance et de dépannage, provisions pour le renouvellement du matériel voire provision pour petites et grosses réparations, systèmes de télé-relevés pour surveillance/pilotage à distance, remboursements d'emprunt, assurances (en phase travaux et en phase exploitation), taxes, impôts et redevances, ...

Le recours à un expert-comptable pourra être nécessaire et utile pour affiner l'analyse économique.

### 5.4) Les aides mobilisables

Pour chacun des scénarii retenus et selon le mécanisme de soutien envisagé, le prestataire identifiera les diverses aides mobilisables auprès de l'ADEME, de la Région, de Conseils Départementaux, voire de l'Agence de l'eau.

### 5.5) Analyse financière

Cette étape permettra de juger de la rentabilité du projet : temps de retour sur investissement (brut et net), prix de revient (brut et net) du kWh sur une durée de 20 ans, taux de rentabilité interne, ...

Brut : ne prenant en compte que le coût d'investissement

Net : prenant en compte le coût d'investissement, les éventuelles subventions, les charges d'exploitation estimées et le remboursement des intérêts d'emprunt (base 80% du montant d'investissement en emprunt ; taux et durée à définir au moment de l'étude selon cours constaté).

## **6) Réunions**

Pour un projet de remise en fonctionnement d'une centrale, d'un moulin ne turbinant plus, d'un site vierge, le prestataire chiffrera la tenue de 2 réunions a minima : une réunion de lancement et une réunion de

restitution. Selon le souhait du maître d'ouvrage, une réunion intermédiaire pourra être organisée afin de présenter et valider les premières orientations pour permettre de finaliser ensuite l'étude de faisabilité. Ces réunions peuvent se dérouler en présentiel sur le site ou en distanciel à la convenance du maître d'ouvrage et du bureau d'études.

Pour un projet réglementé (fondé en titre reconnu, autorisation) faisant l'objet d'une optimisation, le prestataire chiffrera la tenue a minima d'une réunion : à mi-parcours ou de présentation du projet avant la finalisation du rapport définitif intégrant les éventuelles remarques. Selon le souhait du maître d'ouvrage, une 2<sup>ème</sup> réunion pourra être organisée en phase de lancement de l'étude afin de recueillir tous les enjeux du site.

Les diverses réunions associeront les différents organismes et institutions (maître d'ouvrage, ADEME / Région ou représentant de la mission régionale, DDT, Office Français pour la Biodiversité, Agence de l'eau, syndicat de rivière, VNF, commune, Parc Naturel Régional, zone Natura 2000, ...).

Le prestataire assurera la préparation et l'animation des réunions (dossier, diaporama, compte-rendu). Un compte-rendu de ces réunions sera systématiquement réalisé par le bureau d'études puis inséré en annexe du rapport de l'étude de faisabilité.

Suite à la crise sanitaire du Covid-19 et si cette dernière vient à durer ou d'autres crises sanitaires à arriver, voici les mesures qui peuvent être mises en place pour pallier aux réunions physiques :

- Pour les études à venir et n'ayant pas bénéficié de la réunion de lancement, 2 options peuvent être mises en place pour l'organisation de cette dernière :
  - o Soit l'organisation de la réunion de démarrage en audioconférence/visioconférence sur la base de premiers éléments présentant le site, les enjeux, ...
  - o Soit la constitution d'un dossier présentant le site, les enjeux, les questions puis partage lors d'échanges bi ou trilatéral en audioconférence/visioconférence avec les parties prenantes pour recenser les enjeux, envoi de la compilation des éléments à tous les auditionnés pour qu'ils fassent leur remarque sous 15 à 20 jours minimum.
- Pour les études ayant déjà bénéficié de la réunion de démarrage, la réunion de restitution pourra être menée en audioconférence ou visioconférence. Le rapport présentant les résultats devra être envoyé suffisamment en amont pour que les parties prenantes puissent émettre des commentaires, remarques lors de l'audioconférence/visioconférence de restitution.

## 7) Livrables

**Le rapport final devra contenir les compte-rendu des différentes réunions de concertation à savoir a minima la réunion de démarrage et la réunion de restitution qui seront insérés en annexe.**

Après validation du rapport définitif par les financeurs, 1 exemplaire papier (imprimé en recto-verso) et 1 version informatique au format PDF seront remis au pétitionnaire/bénéficiaire.

Dans la cadre d'une aide apportée par la Région, le prestataire de l'étude devra faire relire ladite étude à l'animateur régional, intégrer les remarques et la donner au bénéficiaire qui l'enverra en justificatif à la Région.

Dans la cadre d'une aide apportée par l'ADEME, le prestataire de l'étude devra faire relire ladite étude à l'animateur régional, intégrer les remarques et la donner au bénéficiaire qui devra la déposer sur son compte du portail [www.agirpourtatransition.ademe.fr](http://www.agirpourtatransition.ademe.fr).

# Fiche de synthèse étude hydroélectricité

Prendre plusieurs feuilles si plus de 2 scénarios étudiés

		Scénario retenu	Autre scénario étudié
1	Nom du porteur		
2	Date de rendu de l'étude		
3	Commune (département), adresse, nom du moulin, nom du seuil, ...		
4	Cours d'eau		
5	Classement (liste 1, liste 2)		
6	Module interannuel (m³/s) - préciser le pas de temps considéré		
7	Débit réservé (m³/s)		
8	Longueur du tronçon court-circuité (m) - 0 si équipement au seuil		
9	Existence dispositif de montaison piscicole, passe à canoë	Dispositif de montaison piscicole : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Passe à canoë : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
10	Recommandation technique/administrative de mise en place dispositif de montaison piscicole, passe à canoë	Dispositif de montaison piscicole : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Passe à canoë : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
11	Débit alimentation dispositif de montaison (m³/s) - le cas échéant, sinon 0		
12	Débit alimentation passe à canoë (m³/s) - le cas échéant, sinon 0		
13	Choix turbine, type, nombre et puissance électrique		
14	Total des débits non turbinables : débit réservé, débit dispositif de montaison piscicole, ... (m³/s)		
15	Débit d'équipement nominal (m³/s)		
16	Débit d'armement (m³/s)		
17	Hauteur de chute brute (m)		
18	Hauteur de chute nette (m)		
19	Puissance maximale brute ou PMB (kW)		
20	Puissance totale électrique (kW) : P		
21	Productible moyen annuel (kWh ou MWh) : Prod <sub>moy</sub>		
21a	- Productible moyen composante hiver (kWh ou MWh)		
21b	- Productible moyen composante été (kWh ou MWh)		
22	Productible maximal annuel ou en année humide (kWh ou MWh) – année de référence		
23	Productible minimal annuel ou en année sèche (kWh ou MWh) – année de référence		
24	Nombre d'heures équivalent pleine puissance pour productible moyenne annuelle (h)		



25	Equivalence énergétique (nb foyers) sur la base $2\,228 \text{ kWh} / \text{foyer} = \text{Prod}_{\text{moy}} \text{ (en kWh)} / 2\,228$ Source : Projet PANEL ELECDOM de 2021, sur la consommation en électricité spécifique (hors chauffage, eau chaude et cuisson)		
26	Equivalence CO <sub>2</sub> évité ( $\text{t CO}_2$ ) = $0,000339 \text{ (t CO}_2\text{)} \times \text{Prod}_{\text{moy}}$ sur la base de $0,352 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh}$ produit (centrale à cycle combiné gaz) et $0,013 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh}$ produit (centrale hydroélectrique) Source : <a href="#">Eco2mix – Emission de CO2 par kWh électrique en France   RTE (rte-france.com)</a> et <a href="#">Documentation Base Carbone (ademe.fr)</a>		
27	Type de vente (vente totale, autoconsommation avec vente du surplus, autoconsommation totale)		
28	Type de contrat (H16 neuf, H16 rénovation, marché libre, autoconsommation collective ou individuelle, ...)		
29	Année de référence du contrat ou équivalent		
30	Tarif d'achat composante hiver (c€/kWh) ou valorisation (c€/kWh sur facture actuelle)		
31	Tarif d'achat composante été (c€/kWh) ou valorisation (c€/kWh sur facture actuelle)		
32	Recette brute moyenne annuelle (€) – $R_{\text{brutemoy}}$		
32a	- Recette brute moyenne composante hiver (€)		
32b	- Recette brute moyenne composante été (€)		
33	Recette brute maximale annuelle (fonction de la production maximale)		
34	Recette brute minimale annuelle (fonction de la production minimale)		
35	Charges d'exploitation estimées (€) : C		
36	Recette nette moyenne annuelle (€) : $R_{\text{nette}} = R_{\text{brutemoy}} - C$		
37	Investissement (€) total (spécifique et selon détails ci-dessous, sans achat site) : $I_{\text{total}}$		
37a	- Investissement dispositif de montaison piscicole (€)		
37b	- Investissement passe à canoë (€)		
37c	- Investissements travaux seuils y compris vannage/clapet seuil (€)		
37d	- Investissement centrale y compris canaux et vanne(s) de décharge (€)		
38	Ratio d'investissement (€/kW) = $I_{\text{total}}/P$		
39	Subvention (€) : S		
40	Temps de retour brut sans emprunt (ans) = $I_{\text{total}} / R_{\text{brutemoy}}$		
41	Temps de retour net sans emprunt (ans) = $(I_{\text{total}} - S) / R_{\text{nette}}$		
42	Prix de revient du kWh brut sur 20 ans = $(I_{\text{total}} + 20 \times C) / (20 \times \text{Prod}_{\text{moy}})$		
Optionnel			
43	Montant des intérêts (€) : base 80% d'emprunt - préciser taux et durée - $M_{\text{intérêt}}$		

44	Temps de retour brut avec emprunt (ans) = $(I_{\text{total}} + M_{\text{intérêt}}) / R_{\text{brutemoy}}$		
45	Temps de retour net avec emprunt (ans) = $(I_{\text{total}} + M_{\text{intérêt}} - S) / R_{\text{nette}}$		
46	Prix de revient du kWh net sur 20 ans = $(I_{\text{total}} + 20 * C + M_{\text{intérêt}} - S) / (20 \times \text{Prod}_{\text{moy}})$		