

Soutien à la filière Hydroélectrique

Cahier des charges des études de faisabilité

1 – Modalités du dispositif

Concernant les modalités du dispositif (nature des projets éligibles, méthodes et critères de sélection des dossiers, montant des aides, pièces à fournir pour l'instruction des demandes de subvention, ...), veuillez-vous reporter à la fiche modalités du dispositif de soutien à la filière hydro-électricité, disponible sur le site internet du programme Climaxion ou auprès du chargé de mission transition énergétique de votre secteur.

2 – Préambule au cahier des charges

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, 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.

Les aménagements concernés sont envisagés sur des chutes existantes créées par un seuil ou un barrage (la construction d'un nouveau barrage constituant une difficulté majeure dans le contexte actuel).

Cela correspond à l'un des trois cas suivants :

- réalisation d'un aménagement sur un site ou ouvrage qui n'a jamais été équipé incluant le turbinage d'eau déjà capté (eau potable ou usées).
- remise en service d'un équipement n'étant plus en activité, mais bénéficiant ou pas d'un droit d'eau (fondé en titre, autorisation, ...) et pouvant prouver l'existence de la chute et des organes qui utilisent ou ont utilisés la force hydraulique ;
- Rénovation lourde (changement de turbine, de générateur, mise en œuvre de passe à poissons, de dégrilleur) d'un site actuellement exploité ;

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

- étude administrative ;
- 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 et économiques/financiers.

Pour une meilleure concertation entre les acteurs et une facilitation de l'organisation du maître d'ouvrage, il est fortement conseillé de contacter les services de la DDT (police de l'eau) et de l'AFB dès le démarrage de cette étude afin d'aborder les points particuliers du site (via une réunion d'échanges ou une demande écrite qui leur est adressée).

L'étude d'impact environnementale à réaliser dans le cadre du porter à connaissance pourra être jointe au présent cahier des charges à titre informatif.

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.

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.

L'avis de la DDT portant sur l'ensemble des aspects réglementaires et mentionnant explicitement la continuité écologique (espèces cibles, objectifs et état DCE) et les débits réservés devra également être recueilli.

Les installations devront être exemplaires du point de vue environnemental :

- pas de création de tronçon court-circuité sauf en contournement (By-Pass) d'un ouvrage existant ;
- équipement par turbine ichtyocompatible ou autres dispositifs permettant de réduire les mortalités en dévalaison (grille,...) si nécessaire ;
- équipement en dispositif de montaison (passes à poissons, rivière de contournement...) validé par l'AFB ;
- existence de vannes manœuvrables ou tout autre système permettant de faciliter la transparence sédimentaire.

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.

Toutes les hypothèses et données devront être justifiées et leurs sources indiquées. Si plusieurs options ou variantes sont possibles pour les différents éléments constituant la centrale, un tableau récapitulatif et comparatif devra être produit en fin de rapport.

Le rapport sera illustré avec les photos, croquis, schéma permettant une compréhension maximale des solutions proposées.

Le prestataire chiffrera la tenue de 2 réunions a minima : une réunion de lancement et une réunion de restitution qui associeront les différents organismes et institutions (maître d'ouvrage, ADEME, Région, DDT, AFB, Agence de l'eau, syndicat de rivière, commune, Parc Naturel Régional, zone Natura 2000...). 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.

Le prestataire assurera la préparation et l'animation des réunions (dossier, diaporama, compte-rendu).

3 – Contenu du cahier des charges

3.1 – Introduction

Présentation des principes généraux d'une centrale hydroélectrique, illustration à l'appui, des enjeux en terme de production énergétiques et du chiffrage des investissements liées 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.

3.2 – Présentation du site hydroélectrique et du projet

3.2.1 – Généralités

- 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 ;
- Indentification des investisseurs et des partenaires envisagés ;
- Tarif retenu pour l'analyse financière (obligation d'achat H16, cours du marché, etc.)

3.2.2 – Site

Indiquer les informations suivantes :

- Présentation générale du site : contexte historique, enjeux énergétique et écologique du projet...
- Condition du projet : Nouveau projet, réhabilitation d'un site existant, *équipements complémentaires*
- Nom et situation géographique du cours d'eau
- Description de l'ensemble des usages associés (sports d'eau vive, baignade, promenade, navigation, pêche) et leur besoins identifiés

3.2.3 - Description des ouvrages existants

Fournir les éléments suivants :

- Plan de situation du fonctionnement hydraulique du site comprenant la localisation des ouvrages ;
- Description de chaque ouvrage existant comprenant une illustration iconographique ainsi qu'une description du fonctionnement et de l'état :
 - ✓ Barrage
 - ✓ Canal d'aménée
 - ✓ Bâtiments

- ✓ Dégrilleur
- ✓ Turbine
- ✓ Génératrice
- ✓ Canal de fuite

3.3 – 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 fondé en titre.

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, 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.

Les démarches administratives seront listées et comporteront à minima 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 fondé en titre), 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.

3.4 – Etude technique

3.4.1 - Hydrologie

Déterminer, justifier et indiquer les données suivantes :

- ✓ Débits classés (indiquer la période utilisée : minimum 5 ans, maximum 30 ans)
- ✓ Module
- ✓ Débit réservé

L'analyse hydrologique doit permettre de déterminer les courbes de débits journaliers classés pour chacune des saisons d'application des tarifs de vente. 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 permet d'apprécier l'impact d'années sèches sur la recette.

3.4.2 – La chute

Déterminer, justifier et indiquer les données suivantes :

- ✓ Hauteur de la chute administrative
- ✓ Hauteur brute de la chute en période d'étiage
- ✓ Hauteur brute de la chute en conditions hivernales
- ✓ Hauteur de la chute nette (hauteur brute moins les pertes de charges)

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 côte 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).

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.

3.4.3 - Débit d'équipement et 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

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 le débit à maintenir dans le tronçon court-circuité et les débits dédiés au fonctionnement des dispositifs de franchissement piscicoles.

La puissance brute sera évaluée selon la formule suivante :

$$\text{Débit d'équipement} \times \text{la hauteur de chute brute} \times 9,81$$

3.4.4 - Choix de la technologie et dimensionnement des équipements

- ✓ Justifier et décrire le choix de la technologie de la turbine (caractéristiques techniques, caractère ichtyocompatible, puissance, rendement, etc...) en fonction des caractéristiques hydrologique du site décrites ci-dessus
- ✓ Puissance nette électrique (puissance brute X rendement de la turbine)
- ✓ Justifier et décrire le choix de la génératrice (caractéristiques techniques, puissance, rendement, etc.)

3.4.5 – Estimation de la production

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

- ✓ Variation des débits en fonction du régime hydraulique ;
- ✓ Variation de la chute en fonction du débit ;
- ✓ Valeur du débit réservé ;
- ✓ Valeur du débit d'amorçage ;
- ✓ pertes de charges à l'amont et à l'aval de la centrale ;
- ✓ Temps d'immobilisation pour maintenance ;
- ✓ Rendement des équipements hydrauliques, mécaniques, électromécaniques et électriques.

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 également nécessaire.

3.4.5 – Description des travaux

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

Les travaux décrits devront prendre en compte les préconisations liées à l'aspect environnemental du projet et notamment la prise en compte du franchissement piscicole.

Travaux de génie civil

Le prestataire identifie clairement (descriptif, nature, durée de réalisation, conditions technique, 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. Elle devra être chiffrée le cas échéant ;
- ✓ 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 défini 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 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 (batardeau, 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.

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 : type de turbine et puissance installée, génératrice et type de régulation avec courbes des rendements, dégrilleur, grille, vantellerie, 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 et automatisme), dispositif de franchissement piscicole ;

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.

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 (exErDF) ou sur les syndicats d'énergie départementaux.

3.5 - 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.

Il s'agira d'une première approche qui pourra nécessiter d'être affiné. 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.

3.5.1 - Cout d'investissement

Produire sous forme de tableau un budget prévisionnel comprenant les postes suivants :

- ✓ Etudes complémentaires : analyses ultérieures du point de vue environnemental, reconnaissances géotechniques éventuellement nécessaires;

- ✓ Acquisitions foncières éventuelles ;
- ✓ Elaboration du dossier loi sur l'eau comprenant l'étude d'incidence, dans le cas d'une demande d'autorisation ;
- ✓ Démarches administratives pour la demande de raccordement au réseau de distribution d'électricité public ;
- ✓ Frais d'ingénierie (maîtrise d'œuvre : études de conception, consultation des entreprises et suivi du chantier) ;
- ✓ Génie civil ;
- ✓ Ensemble des installations techniques et hydrauliques ;
- ✓ Dépenses liées à la sécurité et au contrôle : enregistreurs, sondes, dégrilleur automatique, récupération et élimination des déchets flottants, etc. ;
- ✓ 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, etc. ;

Le niveau d'incertitude sur les coûts sera précisé.

Un plan de financement prévisionnels devra être fourni (fond propre, emprunt, subvention, etc.)

3.5.2 - 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, ...

Ces coûts peuvent s'évaluer sous la forme d'un pourcentage de la recette annuelle.

3.5.3 – Analyse financière

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

Temps de retour brut

Le temps de retour brut sera déterminé en fonction

- ✓ Du cout d'investissement (I)
- ✓ De la recette d'exploitation annuelle (E)

$$TRB = I / E$$

Temps de retour net

Le temps de retour brut sera déterminé en fonction

- ✓ Du cout d'investissement (I)
- ✓ Des couts d'exploitation et de maintenance (M)
- ✓ De la recette d'exploitation annuelle (E)

$$TRI = I / (E-M)$$

3.6 - Conclusion

Produire une conclusion engageante reprenant les éléments principaux du projet et permettant au maître d'ouvrage de choisir la solution technico-économique la plus appropriée à son site et ses besoins.

Un tableau récapitulatif de l'étude pourra prendre la forme suivante :

Maitre d'ouvrage	
Nom du cours d'eau	
Débit d'équipement	
Hauteur de la chute nette	
Puissance de la turbine	
Puissance de la génératrice	
Productible	
Cout d'investissement	
Cout d'exploitation annuel	
Recette d'exploitation annuelle	
Temps de retour brut	
Temps de retour net	

4 – Annexes - Bibliographie

1/ Montaison :

LARINIER M., PORCHER J.P., TRAVADE F. et GOSSET C., 1994. Passes à poissons - Expertises et conception des ouvrages de franchissement. Collection Mise au Point. 336 pages.

LARINIER M., COURRET D. et GOMES P., 2006. Guide technique pour la conception des passes «Naturelles». 67 pages.

2/ Dévalaison :

COURRET D. et LARINIER M., 2008. Guide pour la conception de prises d'eau "ichthyocompatibles" pour les petites centrales hydroélectriques. 60 pages + annexes.

RAYNAL S., CHATELIER, L., DAVID L, COURRET, D. et LARINIER M., 2012. Définition de prises d'eau ichthyocompatibles : pertes de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés dans les configurations ichthyocompatibles et champs de vitesse à leur approche. 100 pages.

RAYNAL S., CHATELIER, L., DAVID L, COURRET, D. et LARINIER M., 2013. Définition de prises d'eau ichthyocompatibles. Etude de l'alimentation en débit et du positionnement des exutoires de dévalaison, au niveau de plans de grille inclinés ou orientés dans des configurations ichthyocompatibles. Rapport POLE RA.12.02, 123 pages.