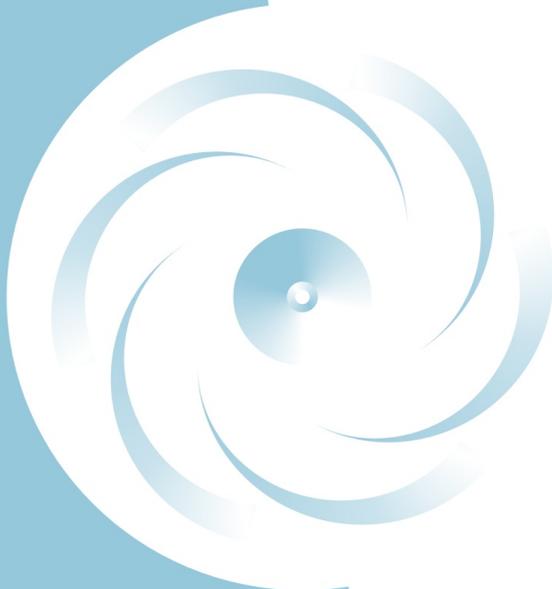


Petite hydraulique

Module II Aspects techniques



Client

SuisseEnergie, 3003 Berne

Entrepreneur

Ingenieurgesellschaft Hycon – Entegra
c/o HYCON GmbH, Obergasse 2, 8162 Steinmaur, www.hycon.ch – www.entegra.ch

Auteur(s)

Thomas Gross, e-mail thomas.gross@hycon.ch, +41 79 770 94 45

Avec le soutien technique des collaborateurs d'Entegra Wasserkraft AG

Coordination de la documentation générale pour petite hydroélectricité

Skat Consulting AG, www.skat.ch, +41 71 228 54 54

Dr. Hedi Feibel, Martin Bölli

Personne d'accompagnement

Benno Frauchiger et Regula Petersen, office fédéral de l'énergie OFEN

Traduction

HDS St. Gall

Relecture et mise à jour de la version en français

Mhylab, Aline Choulot (2019)

Avertissements

- Les conditions-cadre concernant la petite hydroélectricité évoluant régulièrement (de même que les liens Internet), il est conseillé de se référer au site de l'OFEN.
- Les termes désignant des personnes s'appliquent également aux femmes et aux hommes.

Table des matières

1.	Notions de base et définitions	6
1.1	Objectifs de la documentation générale.....	6
1.2	Introduction	6
1.3	Principe de l'utilisation de la force hydraulique	6
2.	Composants et types d'installation	8
2.1	Technologie des petites centrales hydrauliques	8
2.2	Composants d'une petite centrale hydraulique	10
2.3	Exploitations en flot et en réseau	22
2.4	Innovations techniques	22
3.	Petites centrales d'exploitation accessoire.....	28
3.1	L'énergie dans les installations d'eau potable.....	28
3.2	L'énergie dans les stations d'épuration (STEP).....	30
3.3	L'énergie dans les installations d'enneigement.....	30
4.	Planification / processus de planification.....	31
4.1	Cycle de vie du projet et processus de planification	31
4.2	Planification de la centrale	34
4.3	Cas particulier d'une installation existante	40
4.4	Appel d'offres, livraison, réception et mise en service	42
5.	Exploitation et maintenance	50
5.1	Pratique de l'exploitation et de l'entretien	50
5.2	Sécurité sur le lieu de travail	52
5.3	Protection contre les crues.....	53
6.	Mise en œuvre technique de mesures écologiques	54
6.1	Sédimentation et matériaux flottants.....	54
6.2	Circulation des poissons	55
6.3	Effets d'éclusées (fluctuations abruptes de débit).....	59
6.4	Débit résiduel	60
7.	Liste des sources	62

Liste des illustrations

Fig. 2-1	Disposition générale d'une petite centrale hydraulique [3]	8
Fig. 2-2	Schéma centrale en dérivation [4]	9
Fig. 2-3	Schéma centrale au fil de l'eau [4]	9
Fig. 2-4	Prélèvement latéral (à gauche) avec déversoir mobile	11
Fig. 2-5	Tyrolienne avec passe à poissons (en rive droite) et canal de purge (en rive gauche), [6]....	11
Fig. 2-6	Seuil gonflable de la petite centrale Juramill, Laufon (Birse).....	11
Fig. 2-7	Déversoir latéral pour la régulation du débit	12
Fig. 2-8	Grille à barreaux horizontaux (à gauche de l'image) à la centrale Hämmerli	13
Fig. 2-9	Schéma de principe d'une prise d'eau Coanda [9].....	13
Fig. 2-10	Principe de fonctionnement d'une prise d'eau Coanda [9]	13
Fig. 2-11	Grille à tôle perforée avec dégrilleur horizontal entraîné par un mécanisme à chaîne	14
Fig. 2-12	Prise d'eau avec bassin de retenue au point de transition entre la conduite gravitaire et la conduite forcée [8].....	15
Fig. 2-13	Déversoir labyrinthe [11]	15
Fig. 2-14	Déversoir en touches de piano [11]	15
Fig. 2-15	Réservoir en amont avec déversoir en touches de piano comme déversoir de décharge	16
Fig. 2-16	Les types de turbines les plus courants [4]	18
Fig. 2-17	Modélisation de l'écoulement dans une turbine Diagonale en écoulement axial [5]	18
Fig. 2-18	Exemple de domaines d'exploitation des turbines [13]	19
Fig. 2-19	Rendements de la turbine en fonction de la charge en débit [13].....	20
Fig. 2-20	Vis hydraulique et roue hydraulique	20
Fig 2-21	Schéma de principe d'un tube rotatif à double vis hydraulique [16]	23
Fig. 2-22	Principe de l'énergie de réglage [17]	24
Fig. 2-23	Schéma de principe de la turbine à contre-pression [20]	24
Fig. 2-24	Centrale de Fällenden (CH) équipée d'une turbine Pelton à contre-pression (17kW) [21] ..	25
Fig. 3-1	Intégration d'une centrale hydraulique à eau potable entre deux réservoirs [25]	29
Fig. 3-2	Utilisation de l'eau de source pour la production d'énergie [25].....	29
Fig. 3-3	Production d'énergie au niveau du réducteur de pression entre deux zones [25].....	29
Fig. 3-4	Schéma d'utilisation des eaux usées pour la production d'électricité [24]	30
Fig. 3-5	Turbinage intégré à une infrastructure d'enneigement.....	30

Fig. 4-1	Ressources-clés d'un projet de petite centrale hydraulique [29].....	32
Fig. 4-2	Thèmes abordés lors de la planification d'un projet de turbinage.....	34
Fig. 4-3	Extrait Thur visualiseur SIG « fond de carte » [35].....	35
Fig. 4-4	Extrait Thur visualiseur SIG « fond de carte » - seulement courbes de niveau [35].....	35
Fig. 4-5	Hydrogramme et courbe des débits classés – simplifiés à partir des moyennes mensuelles (des moyennes journalières devraient toutefois être utilisées).....	36
Fig. 4-6	Hydrogramme et courbe des débits classés pour la Töss à Neftenbach 2015 [36].....	36
Fig. 4-7	Régime de débit pour cinq bassins versants représentatifs de différentes régions de la Suisse pour la période 1984 à 2005 [37].....	37
Fig. 4-8	Plan de performance d'une centrale hydraulique.....	38
Fig. 4-9	Courbes des débits classés dans le cas d'un projet d'agrandissement.....	42
Fig. 4-10	Systématisation des services de projet [53].....	46
Fig. 4-11	Précision des coûts en fonction des phases d'étude SIA [32].....	48
Fig. 4-12	Procédure selon le Code des obligations [52].....	48
Fig. 4-13	Procédure selon la norme SIA 118 [45].....	49
Fig. 6-1	Mise en œuvre dans la centrale de Mühlau [60].....	54
Fig. 6-2	Passé technique à bassins successifs [66].....	56
Fig. 6-3	Etude du comportement des poissons en amont d'une grille à barres horizontales [69]....	58
Fig. 6-4	Grille à barres horizontales avec by-pass à poissons à la centrale Hämmerli.....	58
Fig. 6-5	Valeurs clés importantes de l'effet d'éclusées, représentées par la courbe de débit ou niveau d'eau [75].....	59
Fig. 6-6	Schéma d'une station de turbinage de dotation intégrée dans le barrage.....	61

1. Notions de base et définitions

1.1 Objectifs de la documentation générale

Pendant de nombreuses années, la Confédération a produit de la documentation sur les petites centrales hydrauliques par l'intermédiaire de plusieurs de ses offices. Les plus connues sont les publications PACER et DIANE, produites dans les années 1990. Il est difficile de se faire une vue d'ensemble de ces vastes connaissances, et certains sujets sont documentés plusieurs fois, alors que d'autres pas du tout.

L'objectif de cette nouvelle documentation générale consiste à donner un aperçu de la littérature existante sur la petite hydroélectricité et de renvoyer aux documents complémentaires appropriés pour les questions détaillées.

1.2 Introduction

Dans le cadre de la documentation générale sur la petite hydroélectricité, ce module a pour but de donner un aperçu de la manière dont les petites centrales hydrauliques sont réalisées en Suisse des points de vue technique et technologique.

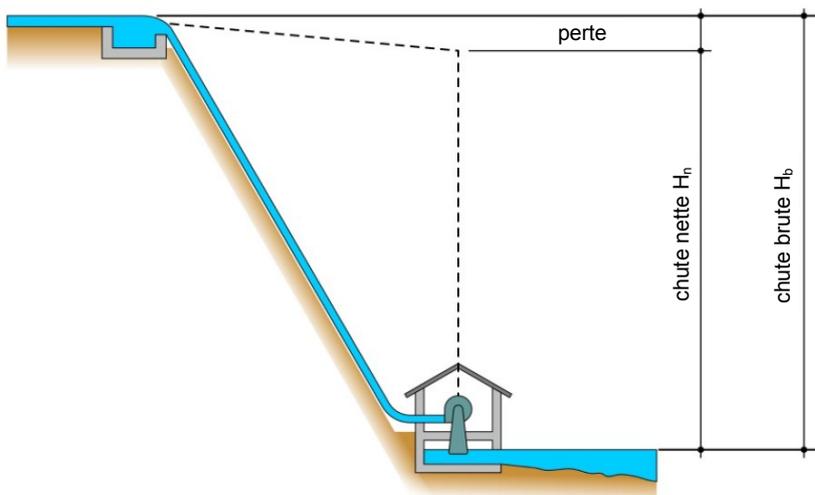
Cette documentation n'est toutefois pas un « livre de cuisine » pour planifier une petite centrale hydraulique. Il existe en Suisse déjà un large éventail de littérature à ce sujet et d'experts compétents en la matière. L'objectif de la présente publication est de donner un aperçu rapide de l'ensemble des thèmes et de faciliter la recherche ciblée de littérature supplémentaire.

Module I Aperçu petite hydroélectricité et parties prenantes

Site Internet OFEN → Thèmes → Force Hydraulique [1]

OFEN : Programme Petites centrales hydrauliques [2]

1.3 Principe de l'utilisation de la force hydraulique



Pour une détermination approximative de la puissance d'une centrale hydraulique, on utilise la formule suivante :

$$P = Q \times H_b \times g \times \eta$$

- P Puissance de la centrale en kW
- Q Quantité d'eau disponible en m³/s
- H_b Hauteur de chute utile (hauteur de chute brute) en m
- g Accélération due à la gravité (≈ 9,81 m/s²)
- η Coefficient de rendement prenant en compte les pertes dans les aménagements hydrauliques (conduite) et les équipements électromécaniques (turbines, génératrices, notamment)

Le produit $g \times \eta$ peut être estimé pour une première évaluation à une valeur de 7 à 8.

2. Composants et types d'installation

2.1 Technologie des petites centrales hydrauliques

Le schéma de base d'une centrale hydraulique est le même pour toutes en termes de fonction et de disposition.

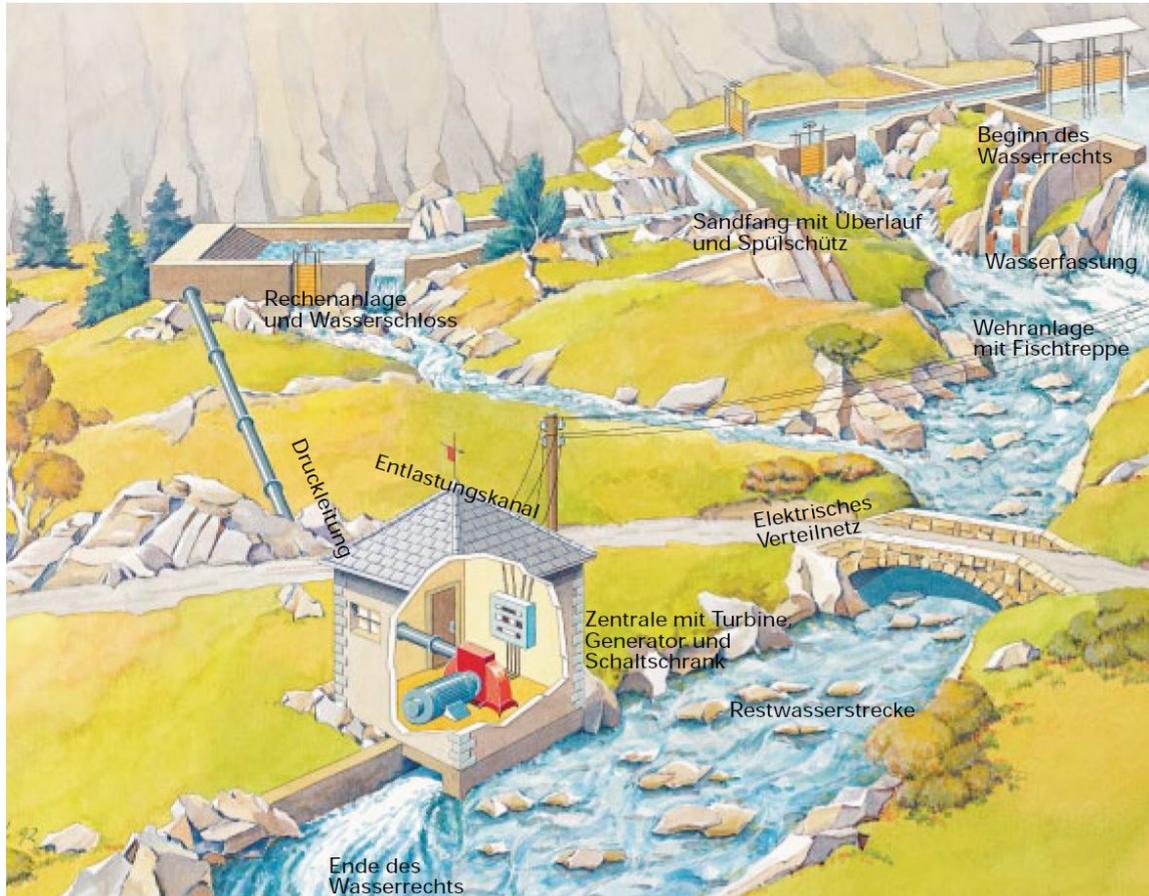


Fig. 2-1 Disposition générale d'une petite centrale hydraulique [3]

Beginn des Wasserrecht : *début du droit d'eau*, Sandfang mit Überlauf und Spülschütz: *dessableur*, Wehranlage mit Fischtreppe: *seuil équipé d'une passe à poisson*, Rechenanlage und Wasserschloss : *bassin de mise en charge équipé d'un dégrilleur*, Druckleitung : *conduite forcée*, Entlastungskanal : *canal de fuite*, Zentrale mit Turbine und Generator und schaltschrank : *centrale avec turbine, générateur et armoire de commande*, Restwasserstrecke: *tronçon de débit résiduel*, Ende des Wasserrecht : *fin du droit d'eau*

Dans le domaine de la petite hydraulique, il existe 3 types principaux de configuration : au fil de l'eau, en dérivation et en exploitation accessoire (voir chapitre 3 et [2]).

Centrales en dérivation

Les centrales en dérivation utilisent un barrage /seuil/un seuil pour capter l'eau d'un cours d'eau. L'eau s'écoule dans la turbine par le canal d'amenée, le bassin de mise en charge et la conduite forcée, puis retourne dans le cours d'eau. Le tronçon de rivière entre le prélèvement et la restitution de l'eau est appelé tronçon à débit résiduel.

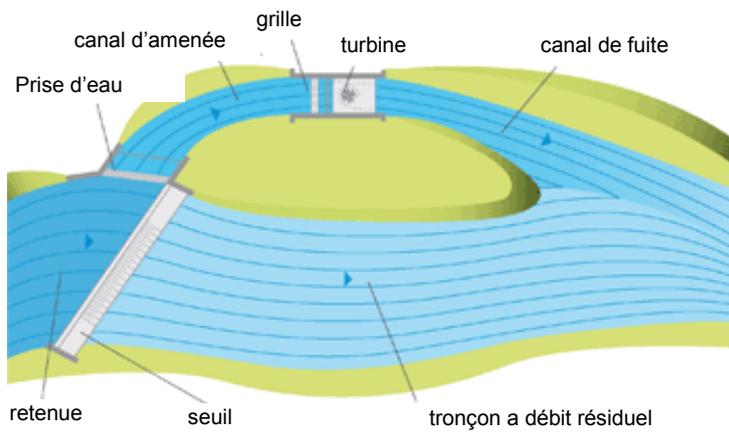


Fig. 2-2 Schéma centrale en dérivation [4]

Centrales au fil de l'eau

Les centrales au fil de l'eau étant construites directement sur un cours d'eau, elles n'ont pas besoin de dérivation. Et la question du débit résiduel ne se pose pas non plus. Malgré une éventuelle petite retenue d'eau, il ne s'agit pas de centrales à accumulation, car l'eau est turbinée en permanence.

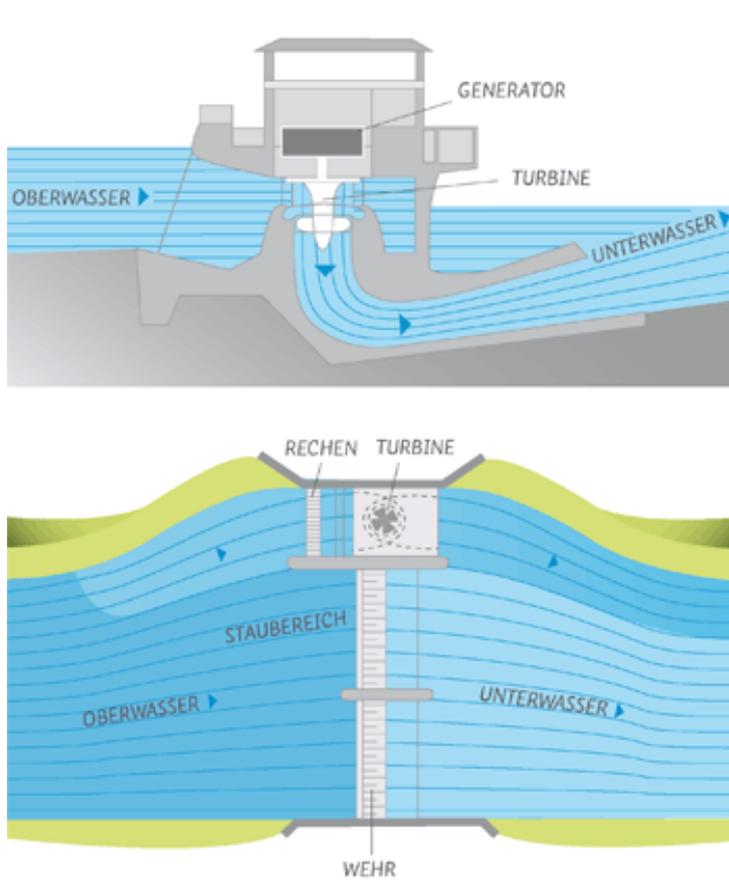


Fig. 2-3 Schéma centrale au fil de l'eau [4]

Staubereich : retenue, Wehr : seuil, Oberwasser : amont, Rechen : grille, Unterwasser: aval, Generator : génératrice

Exploitations de type-accessoire

L'objectif principal de ces aménagements n'est pas la production d'énergie, mais par exemple l'approvisionnement en eau potable, le traitement des eaux usées, les installations industrielles ou l'enneigement artificiel.

OFEN : PACER - Introduction à la construction et au fonctionnement de micro-centrales hydrauliques [3]

OFEN : Programme Petites centrales hydrauliques [2]

Divers manuels d'hydroélectricité sur Energypedia [5]

2.2 Composants d'une petite centrale hydraulique

Les dimensions des différents composants d'une petite centrale hydraulique ne peuvent pas être comparées directement à celles d'une grande centrale électrique. La petite hydraulique a ceci de particuliers que sa rentabilité repose sur la cohérence de sa conception globale, l'accent pouvant être mis sur l'utilisation de composants simples, mais moins sujets aux pannes et faciles à entretenir.

Les principales exigences posées aux petites centrales hydrauliques sont des investissements et des frais d'exploitation limités, et une installation soigneusement intégrée dans l'écosystème, tout en tenant compte des préoccupations de chacun des groupes d'intérêt.

2.2.1 Génie hydraulique / Constructions hydrauliques en acier

Prise d'eau

Les prises d'eau ont pour objectif de puiser l'eau nécessaire aux turbines dans le cours d'eau. Elles se font généralement soit latéralement, soit par le fond (p. ex. prise d'eau tyrolienne).

Un prélèvement latéral se trouvera principalement sur les cours d'eau du Haut-Plateau et des Préalpes. Une disposition hydraulique favorable de la prise d'eau (à l'extérieur d'une courbe de la rivière) empêche de grandes quantités de sédiments (particules rocheuses transportées par la rivière) de pénétrer dans la prise d'eau et de se déposer dans le canal.

Un prélèvement latéral sera construit en combinaison avec un barrage /seuil/seuil fixe ou mobile se trouvant dans la rivière. En augmentant le niveau de l'eau, ce barrage /seuil/seuil assurera une profondeur d'eau de surface suffisante pour permettre le prélèvement de la quantité d'eau nécessaire au fonctionnement de la centrale, indépendamment du débit d'eau de la rivière. Il faut que le charriage naturel des sédiments par-dessus le barrage /seuil dans le cours d'eau principal soit le moins possible perturbé.

La prise d'eau tyrolienne a surtout fait ses preuves pour les prélèvements dans des petits cours d'eau caractérisés par une forte pente pour des installations de haute ou de moyenne chute, avec un charriage modéré à fort. L'eau est prélevée par l'intermédiaire d'une grille inclinée, encastrée dans le fond ou par une tôle perforée, tandis que le charriage naturel est dévié par-dessus.



Fig. 2-4 Prélèvement latéral (à gauche) avec déversoir mobile



Fig. 2-5 Tyrolienne avec passe à poissons (en rive droite) et canal de purge (en rive gauche), [6]

Les barrages /seuils gonflables sont de plus en plus utilisés comme alternatives aux constructions hydrauliques conventionnelles en acier. Un seuil gonflable est constitué d'une plaque en caoutchouc vissée sur la semelle en béton du seuil de manière à créer une poche étanche. Cette poche sera remplie d'eau ou d'air. Ce type de seuil permet d'obtenir le niveau d'eau souhaité avec une grande précision en réglant la pression de l'eau ou de l'air. En cas de crue, la surpression extérieure provoque la compression de la poche, ce qui augmente la lame de déversement. La pression interne de la poche dépend de la tension des anneaux et du poids du matériau formant la poche. Les seuils gonflables présentent de nombreux avantages en termes de sécurité et de frais d'exploitation et d'écologie. En cas de crue par exemple, on peut citer le haut niveau de sécurité, aucun apport d'énergie n'étant nécessaire pour évacuer l'eau, le bon transit des matières charriées et la dévalaison des poissons rendue possible par la lame déversante.



Fig. 2-6 Seuil gonflable de la petite centrale Juramill, Laufon (Birse)



OFEN : Technologies délaissées pour les prises d'eau
- seuils gonflables et tôle perforée comme alternatives [7]

Giesecke / Heimerl / Mosonyi : Centrales hydrauliques [8]

Ouvrages de trop-plein et de décharge le long des canaux d'aménée et des voies navigables

Les fluctuations du débit de ruissellement peuvent être facilement et efficacement contrôlées au moyen d'un trop-plein. Ainsi, l'excès d'eau peut s'écouler à tout moment, aussi bien en fonctionnement normal qu'en cas de crue.

S'il y a suffisamment d'espace, l'écoulement peut être contrôlé en aval à l'aide d'un déversoir latéral, en complément de la vanne de tête. Le déversoir est alors disposé parallèlement ou quasiment parallèlement au sens d'écoulement de la dérivation, ce qui permet une certaine évacuation de l'excès d'eau.



Fig. 2-7 Déversoir latéral pour la régulation du débit

Dégraveur / dessableur

L'eau prélevée contient toujours des matières en suspension (limons) et des sédiments fins (sable / pierres). Sans dégraveur ou dessableur, une partie de ces matières se dépose dans le canal ce qui demande une évacuation régulière, tandis que l'autre partie est entraînée dans la turbine ce qui peut provoquer une abrasion importante des équipements. Par conséquent, un dégraveur ou un dessableur est habituellement créé juste après la prise d'eau, avec possibilité de rinçage et de restitution des sédiments dans le cours d'eau.

Un dégraveur est toujours utilisé dans les eaux chargées de gravier. En règle générale, un dessableur n'est nécessaire que pour les centrales de haute et éventuellement de moyenne chute.

Grilles

Des grilles sont installées en amont des turbines et de certaines vannes afin de les protéger des divers éléments charriés par le cours d'eau (surtout feuilles et branches), mais aussi pour protéger les poissons. Les grilles conventionnelles sont habituellement maintenues propres par un système de nettoyage automatique, appelé dégrilleur. Les débris collectés par la grille sont soit remis à l'eau (processus de rinçage), soit déposés dans une benne pour être évacués et, si possible, recyclés.



Fig. 2-8 Grille à barreaux horizontaux (à gauche de l'image) à la centrale Hämmerli

Exemple : prise d'eau Coanda [9]

La prise d'eau Coanda exploite l'effet d'adhérence des parois, appelé effet Coanda, par le débordement uniforme d'un seuil au profil concave, l'eau étant évacuée par des barreaux filigranes disposés perpendiculairement à la direction du flux. Les barreaux à arêtes vives étant légèrement inclinés, plongent dans l'eau qui déborde et prélèvent une partie du débit par cisaillement (aqua-shear). Grâce à l'effet Coanda, l'eau suit le profil du barreau et s'écoule dans un canal collecteur vers la conduite forcée.

Les barreaux de la prise d'eau Coanda ne sont espacés que de 0.2 mm à 3.0 mm. Par conséquent, la plupart des sédiments et des alluvions ne sont pas captés et restent dans le lit du cours d'eau. De plus, ce système est en grande partie autonettoyant, car les débris flottants et les feuilles mortes qui restent sur la grille sont emportés par l'excédent d'eau. Il n'est par conséquent pas toujours nécessaire d'avoir recours à un système de nettoyage de la grille. La dévalaison des poissons est également possible sans problème puisque les barreaux sont très resserrés. Dans le cas de cours d'eau à fort charriage de sédiments, la prise d'eau Coanda doit toutefois être protégée par une grille grossière placée au-dessus.

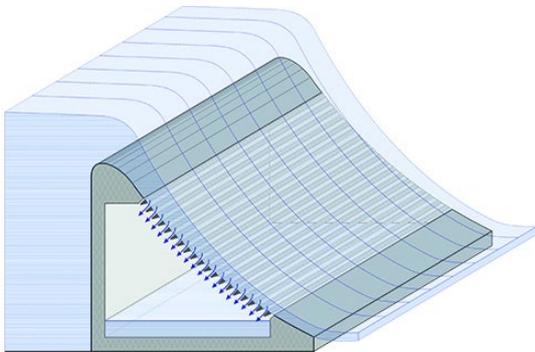


Fig. 2-9 Schéma de principe d'une prise d'eau Coanda [9]

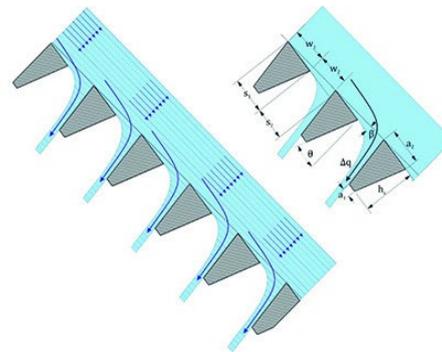


Fig. 2-10 Principe de fonctionnement d'une prise d'eau Coanda [9]

Exemple : Grille en tôle perforée

Les grilles en tôle perforée sont depuis longtemps une alternative connue et surtout plus adaptée aux poissons par rapport à celles à barreaux classiques. Aux États-Unis, par exemple, depuis le début des années 80, les grilles en tôle perforée constituent une des meilleures solutions pour les petites centrales hydrauliques. Les grilles en tôle perforée, surtout si elles ne sont pas montées perpendiculairement à l'écoulement, ont de bonnes propriétés pour arrêter les poissons et les sédiments. Pour les poissons, le risque de se blesser est nettement plus faible qu'avec les grilles à barreaux, et ils peuvent glisser le long de la grille pour la dévalaison. Les grilles en tôle perforée offrent aussi l'avantage de ne pas devoir retirer les alluvions du cours d'eau, mais de les guider vers une vanne de purge pour les restituer au cours d'eau.

Pour les centrales avec un débit allant jusqu'à 10 m³/s, les retours d'expériences montrent que ces tôles perforées sont adaptées aux petites centrales hydrauliques. Il peut s'agir de simples tôles du commerce, d'un matériau résistant à la corrosion, avec des perforations d'environ 20 à 25 mm et une proportion de trous d'environ 50 - 56%. Pour éviter des pertes trop importantes, la vitesse d'écoulement dans les trous ne devrait pas dépasser environ 0.6 m/s. De ce fait, les grilles en tôle perforée sont environ 20 % plus grandes que celles à barreaux.



Fig. 2-11 Grille à tôle perforée avec dégrilleur horizontal entraîné par un mécanisme à chaîne

Hydro Review : Intake Screens for Small Hydro Plants [10]

Giesecke / Heimerl / Mosonyi : Centrales hydrauliques [8]

OFEN : Technologies négligées pour les prises d'eau - barrage /seuils gonflables et écran de tôle perforée comme alternative [7]

Voie des eaux motrices

Dans de nombreux cas, des conduites en écoulement libre sont utilisées pour alimenter la centrale en eau et pour la rejeter en contrebas, soit sur des tronçons partiels, soit sur l'ensemble du parcours. Ces conduites impliquent une surface d'eau sur laquelle s'exerce la pression atmosphérique. Dans certains cas, elles peuvent être considérées et conçues comme des canaux ouverts.

Au point de transition entre la conduite en écoulement libre et la centrale de basse chute, ou à celui entre la conduite gravitaire et la conduite forcée pour les centrales de moyenne et de haute chute, on

construit une seconde prise d'eau, cette fois, composée d'une chambre de mise en charge. La fonction de cet ouvrage consiste à transférer les eaux motrices de manière homogène, sans entrée d'air, dans l'ouvrage alimentant directement la turbine. Il permet également d'évacuer les trop-pleins et d'amortir les fluctuations de débits dues aux éventuels changements de charge abrupts de la turbine. [8]

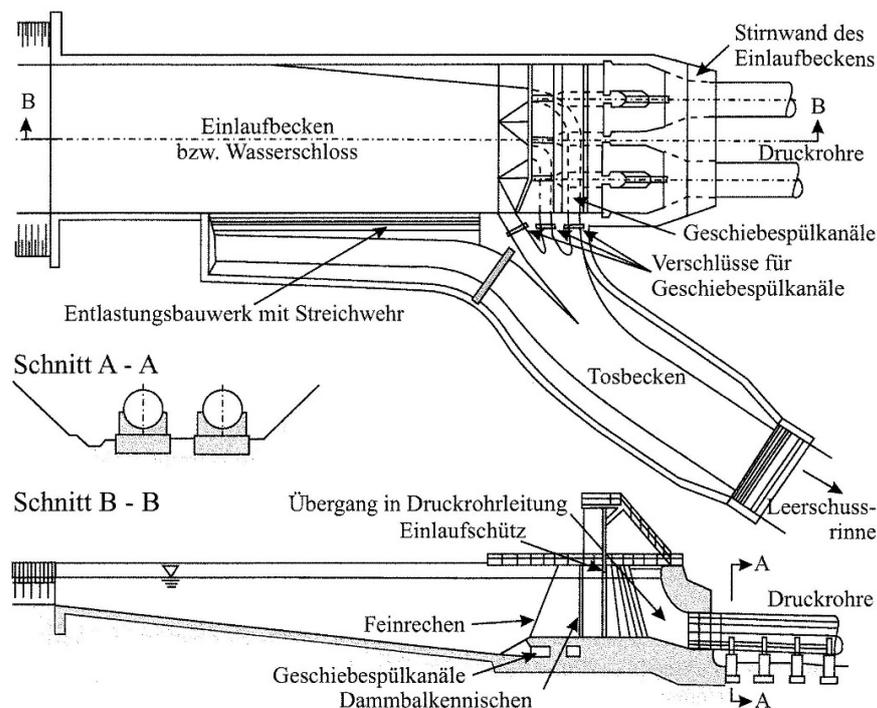


Fig. 2-12 Prise d'eau avec bassin de retenue au point de transition entre la conduite gravitaire et la conduite forcée [8]

Stirnwand des Einlaufbeckens : Paroi frontale du bassin de retenue, Einlaufbecken bzw. Wasserschloss : Bassin de retenue ou chambre d'équilibre, Druckrohre : Conduites forcées, Geschiebespülkanäle : canaux de purge, Verschlüsse für Geschiebespülkanäle : Vannes de purge, Entlastungsbauwerk mit Streichwehr : Structure de décharge avec déversoir latéral, Tosbecken : Bassin d'amortissement, Leerschussrinne : Canal de secours, Schnitt A-A : Coupe A-A, Schnitt B-B : Coupe B-B, Übergang in Druckrohrleitung : Passage dans la conduite forcée, Einlaufschütz : Vanne de tête, Druckrohre : Conduites forcées, Feinrechen : Grille fine, Geschiebespülkanäle / Dammbalkennischen : canaux de purge

L'efficacité d'un dispositif d'évacuation du trop-plein ou de décharge dépend essentiellement de la longueur du déversoir du barrage / seuil. Une extension de la couronne entraîne une augmentation de la capacité de déversement, mais n'est souvent pas possible en raison des conditions locales. Une couronne de débordement courbée ou pliée permet alors d'augmenter considérablement la longueur du déversoir et par conséquent la capacité de débordement tout en conservant la même largeur.

C'est ainsi qu'a été développé le déversoir labyrinthe, dont en est résulté le déversoir en touches de piano.



Fig. 2-13 Déversoir labyrinthe [11]



Fig. 2-14 Déversoir en touches de piano [11]

Le déversoir en touches de piano est une forme optimisée du déversoir labyrinthe. La différence avec le déversoir labyrinthe est visible sur les parois avant et arrière, qui ne sont pas verticales, mais inclinées dans le sens de l'écoulement de l'eau. Il nécessite par conséquent moins de surface d'ancrage que le déversoir labyrinthe et s'intègre plus facilement dans les structures existantes. En cas de fermeture d'urgence de la machine, le flot retenu produit une surtension dans le canal. Ce volume d'eau doit pouvoir être évacué autant que possible sans que le canal en amont déborde et sans qu'il y ait une baisse importante de débit dans le canal principal. Pour ce faire, on installe généralement des vannes de secours dans le réservoir en amont, qui s'ouvrent automatiquement en cas de fermeture d'urgence de la machine. Le déversoir en touches de piano est une alternative fiable et qui convient également en cas d'espace restreint.



Fig. 2-15 Réservoir en amont avec déversoir en touches de piano comme déversoir de décharge

L'objectif principal d'une conduite d'eaux motrices est d'établir la liaison la plus courte possible entre la prise d'eau et la centrale. Les centrales en dérivation demandent l'utilisation de conduites forcées qui s'adaptent généralement à la pente du terrain. Les conduites forcées sont généralement en acier, en fonte, en béton, en matière synthétique ou en plastiques renforcés de fibres de verre. [8]

Giesecke / Heimerl / Mosonyi : Centrales hydrauliques [8]

Aides à la montaison / dévalaison des poissons

Des mesures de construction sont nécessaires pour garantir le passage des poissons. L'éventail de possibilités s'étend des simples dérivations aux ascenseurs, en passant par les échelles à poissons. Lors de l'évaluation des projets de centrales hydrauliques, il faut tenir compte de ces aménagements, notamment pour leur besoin en débit, nécessaires, suivant la conception de l'installation, tant du côté de la prise d'eau qu'au niveau de la station de turbinage. Pour plus d'informations, voir chapitre 6.2.

Module V Partie 1.1

Débit résiduel (de dotation)

Afin d'assurer les fonctions naturelles d'un cours d'eau, une quantité suffisante d'eau doit toujours y être assurée au point de prélèvement. Dans les grandes centrales, le débit résiduel peut être turbiné, avant la restitution au cours d'eau. La petite centrale, appelée ici, de dotation, tire alors bénéfice de la hauteur du barrage. Voir aussi 6.4.

Continuité du charriage

Les déversoirs et les barrages sont des barrières au charriage des sédiments. Diverses mesures sont prises pour assurer que le charriage des sédiments et des alluvions dans l'ensemble des cours d'eau se fasse de manière aussi naturelle que possible au passage des centrales hydrauliques. Pour plus d'informations, voir chapitre 6.1.

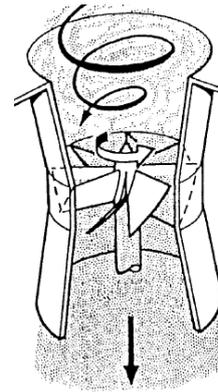
2.2.2 Équipement électromécanique

Turbines

Les turbines sont soit à action, soit à réaction. Les turbines à action (Pelton, turbine à flux traversant) utilisent l'énergie cinétique de l'eau. L'échange d'énergie entre l'arrivée d'eau et les augets de la roue s'effectue à la pression atmosphérique (le plus souvent). La roue de la turbine tourne dans l'air et doit être complètement et largement au-dessus du niveau d'eau aval. Les turbines à réaction (Francis, Kaplan, Diagonale) utilisent l'énergie cinétique et aussi l'énergie potentielle du cours d'eau. De par leur conception, elles créent un tourbillon ou « vortex ». Les pales de la turbine détournent le flux d'eau parallèlement à l'axe de rotation et convertissent ainsi l'énergie du vortex en travail mécanique.

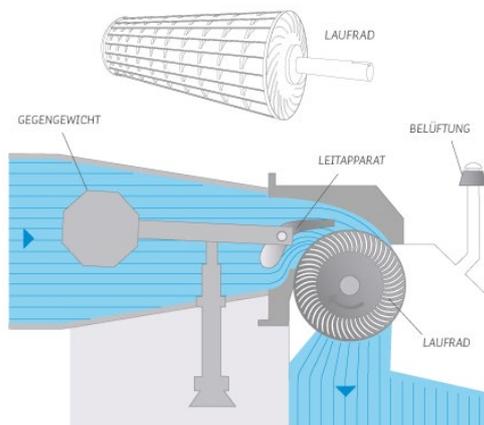


Turbine à action

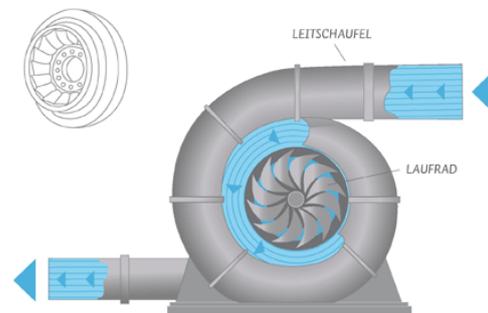


Turbine à réaction

Durchströmturbine (Ossberger)



Francis-Turbine



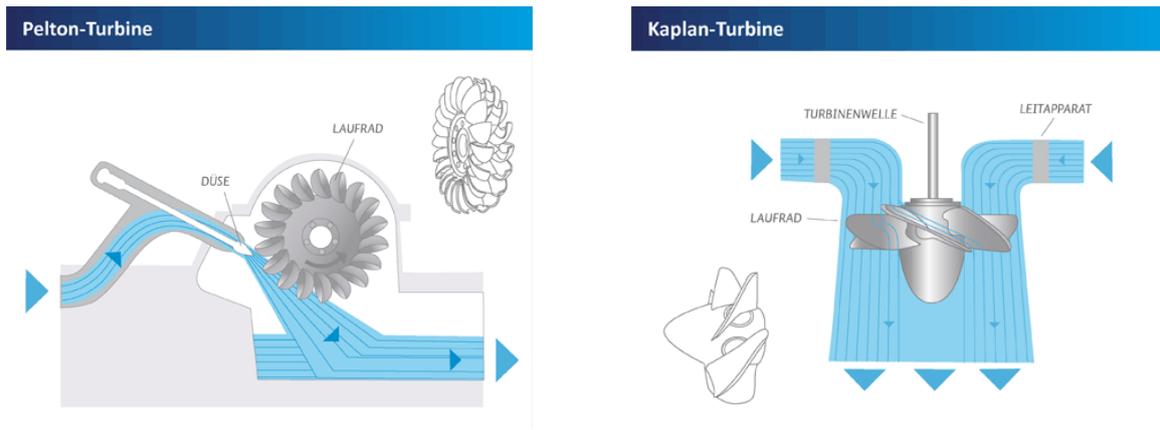


Fig. 2-16 Les types de turbines les plus courants [4]

Durchströmturbine (Ossberger) : turbine à flux traversant (ou Crossflow), Laufrad : roue, Gegengewicht : contre-poids, Leitapparat : directrice, Belüftung : aération, Francis-Turbine : Turbine Francis, Leitschaufel : entrée de la bêche spirale, Laufrad : roue, Pelton-Turbine : Turbine Pelton, Düse : pointeau, Laufrad : roue, Kaplan-Turbine : Turbine Kaplan, Turbinenwelle : arbre de la turbine, Leitapparat : directrice

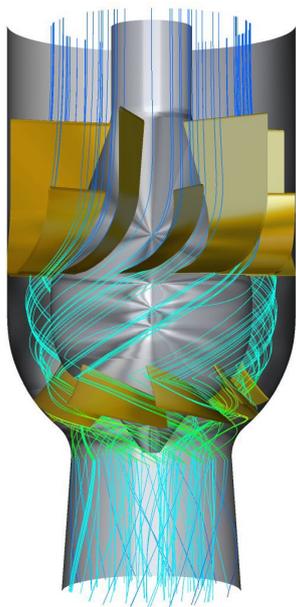


Fig. 2-17 Modélisation de l'écoulement dans une turbine Diagonale en écoulement axial [5]

Le choix d'une turbine appropriée se base sur les paramètres de hauteur de chute et de débit. Des diagrammes, comme celui de la figure suivante, donnent de premières informations.

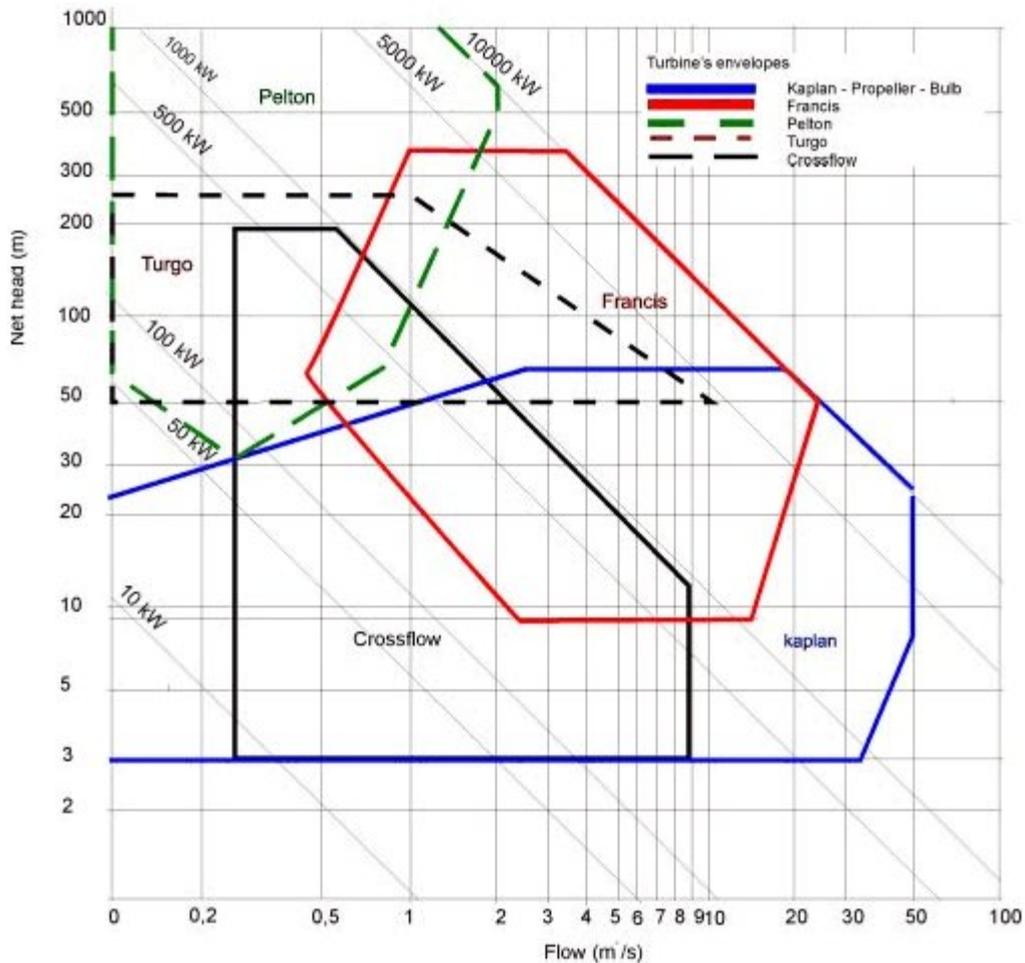


Fig. 2-18 Exemple de domaines d'exploitation des turbines [13]

Flow : débit, Net head : chute nette, Crossflow : turbine à flux traversant, Turbine's envelope : Domaine de chaque turbine

Pour les petites centrales hydrauliques, il est souvent important de connaître le comportement ou l'efficacité des turbines en charge partielle, c'est-à-dire lorsque seulement une partie de l'eau est disponible. Comme le montre le graphe ci-dessous, ce sont les turbines Pelton et Kaplan qui sont les plus adaptées à des débits variables. Le rendement maximum des turbines Francis et Kaplan se situe autour des 93%, les meilleures turbines Pelton atteignent un rendement de 91%. Les turbines à flux croisé peuvent atteindre un rendement maximum d'env. 85%.

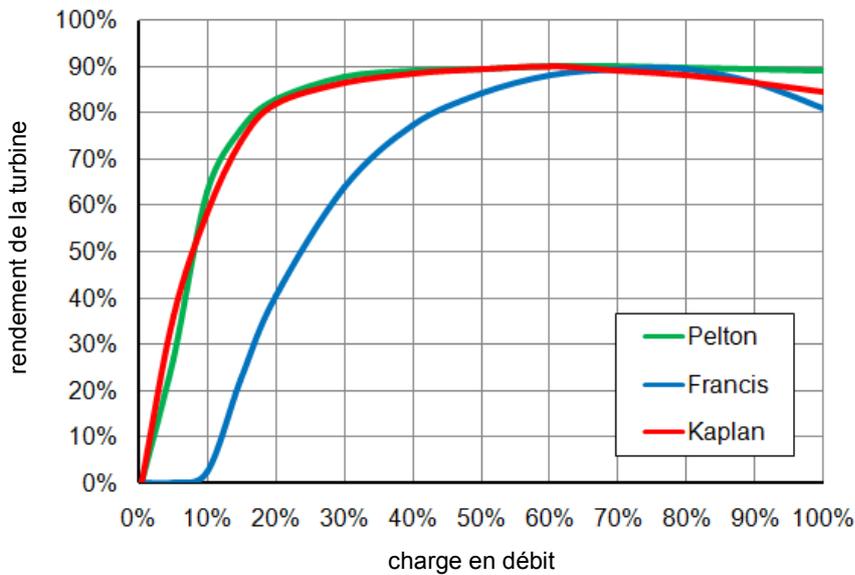


Fig. 2-19 Rendements de la turbine en fonction de la charge en débit [13]

Les roues et les vis hydrauliques sont également utilisées, mais exclusivement pour les très petites centrales.

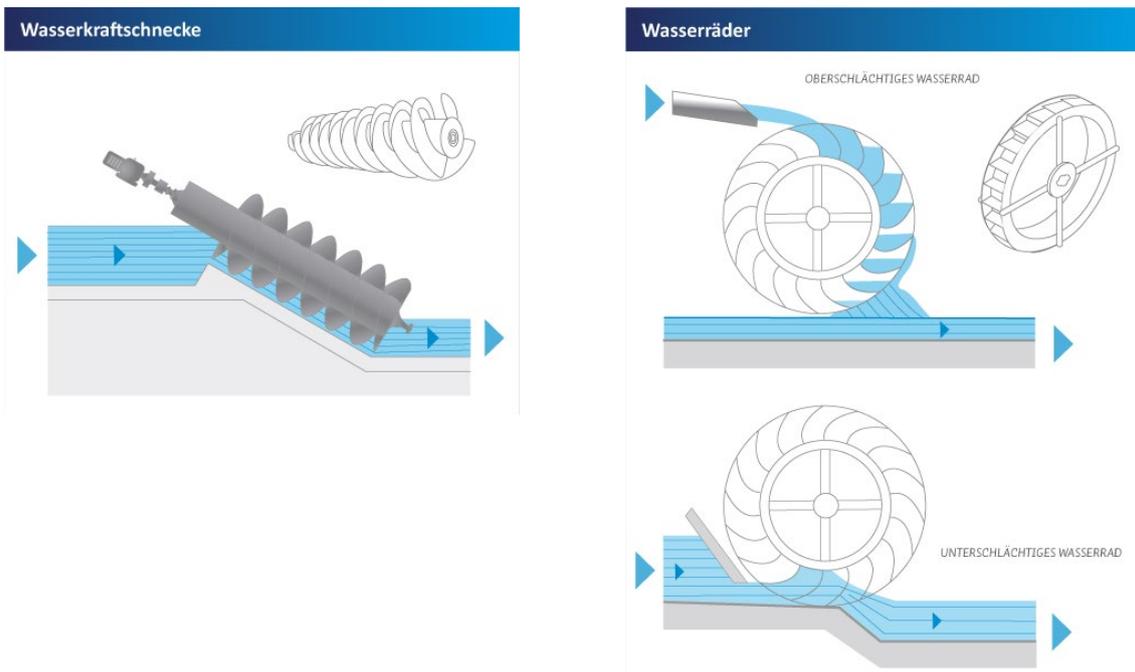


Fig. 2-20 Vis hydraulique et roue hydraulique

Wasserkraftschnecke : vis hydrodynamique ou vis d'Archimède, Wasserräder : roue à eau, Oberschlächtiges Wasserrad : roue à eau par-dessus, Unterschlächtiges Wasserrad : roue à eau par-dessous

La vis hydrodynamique peut être utilisée pour la production d'énergie dans des cours d'eau à faible volume d'eau et à petites chutes (0,5 m - 10 m). Par la différence de niveaux et la gravité, l'eau entrante met la vis en mouvement et remplit le canal en spirale. La rotation de la vis entraîne à son tour une génératrice. Comme l'inclinaison de la vis est relativement faible, la vis tourne lentement. À noter notamment un avantage: elle permet le passage des poissons.

Les roues à eau sont les plus anciennes machines hydrauliques. C'est le flux de l'eau qui fait tourner la roue. Plus le volume d'eau est grand et plus il s'écoule rapidement, plus il est possible d'en tirer de l'énergie. Avec la roue à eau par-dessous, l'eau frappe l'auge dans la partie inférieure et fait tourner la roue par la pression du flux. Dans le cas de la roue à eau par-dessus, l'eau est conduite par un canal ou un tuyau pour frapper l'auge par le haut. Pour des questions économiques, on utilise aujourd'hui généralement des roues Zuppinger de basse chute et de petites roues par-dessus, qui dans certains cas peuvent être une alternative aux turbines.

OFEN : PACER - Turbines hydrauliques - Petites centrales hydrauliques [3]

OFEN : Dossier de presse petite hydraulique, à partir de la p.14 [14]

Génératrices

Il existe deux types de génératrices - synchrones et asynchrones. Les principales différences sont :

	Structure	Fonctionnement	Fonctionnement en parallèle
Génératrice synchrone	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite une source d'énergie primaire 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de tours « synchrone » par rapport à la fréquence du réseau Rendement élevé (surtout à charge partielle) 	<ul style="list-style-type: none"> Doit être synchronisé avec le réseau
Génératrice asynchrone	<ul style="list-style-type: none"> Ne nécessite pas de source d'énergie primaire Peu d'entretien 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de tours décalé (« asynchrone ») par rapport au réseau Rendement plus faible à charge partielle 	<ul style="list-style-type: none"> Synchronisé par le réseau Risque de surtension en cas de charges inductives surcompensées sur le réseau

Des génératrices synchrones peuvent être utilisées pour l'exploitation en îlot et en parallèle. L'exploitation en îlot de génératrices asynchrones est relativement complexe.

OFEN : PACER - Dimensionnement des petites centrales hydrauliques
Génératrices et installations électriques [3]

Contrôle-commande

L'objectif premier du contrôle-commande est d'optimiser la production électrique et d'obtenir un rendement énergétique maximal. Les tâches du contrôle-commande sont :

- le réglage de la vitesse de la turbine;
- le contrôle de la puissance;
- le contrôle du niveau d'eau, ainsi que
- le maintien de la fréquence.

Le contrôle-commande surveille toute la centrale. Afin de maintenir les coûts d'exploitation et d'entretien les plus bas possibles, les petites centrales sont exploitées au maximum de manière « autonome » et, si nécessaire, accessibles par une commande à distance (voir aussi chapitre 5).

Le contrôle-commande surveille les niveaux d'eau de la centrale en amont et en aval, la performance de la turbine et la synchronisation au réseau. D'autres paramètres à surveiller peuvent être spécifiés pour chaque centrale. Le contrôle-commande impose une exploitation de la centrale dans le cadre de limites prédéfinies pour chaque paramètre pour s'approcher le plus possible du point optimal. Un avertissement n'est envoyé à l'opérateur (p.ex. par alarme SMS) que lorsque les limites prédéfinies ont été franchies.

Le contrôle-commande étant désormais sous forme numérique, les données principales peuvent également être enregistrées en parallèle et utilisées pour la surveillance ou la documentation.

Connexion au réseau électrique

Pour les petites centrales connectées au réseau, l'électricité peut parfois être injectée à basse tension sur le réseau à proximité, de sorte que l'installation et le fonctionnement d'un transformateur ne relèvent pas de la responsabilité de l'exploitant de la centrale (avec des conséquences sur les coûts d'investissement et de production). Néanmoins, il faut s'assurer que la centrale soit synchronisée avec le réseau et qu'elle puisse être déconnectée du réseau en toute sécurité. Les détails seront convenus avec l'exploitant du réseau local. (Voir aussi [15])

Site Internet Swissgrid [15]

2.3 Exploitations en îlot et en réseau

Différence entre l'exploitation en îlot et celle en parallèle au réseau

Par exploitation en îlot, on entend l'alimentation d'un mini-réseau (également appelé mini-grid, en général pour un seul ou un petit nombre de bâtiments) en courant électrique à tension et fréquence constantes, sans couplage au réseau d'une entreprise d'approvisionnement en énergie publique (réseau EAE).

Une telle exploitation est généralement réalisée avec une génératrice synchrone. Pour stabiliser la fréquence (les fluctuations sont causées par les enclenchements/déclenchements des consommateurs), on utilise des masses tournantes (masse d'inertie) ou des résistances électriques, qui sont mises en marche et arrêtées. Le débit peut également être inclus dans la régulation.

Le fonctionnement en parallèle au réseau signifie qu'une alimentation est branchée en parallèle au réseau EAE. Cette exploitation peut être réalisée aussi bien avec une génératrice synchrone qu'avec une génératrice asynchrone. Avant de pouvoir raccorder la génératrice au réseau, elle doit d'abord être « synchronisée ». En fonctionnement parallèle au réseau, le réseau EAE maintient la fréquence stable.

Les différences sont énormes :

Exploitation en parallèle au réseau	Exploitation en îlot (« mini-grid »)
<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation maximale du potentiel disponible et par conséquent un degré d'utilisation plus élevé (rapport heures à pleine charge/heures annuelles - 8'760 h) → Le système est conçu pour une utilisation optimale de la capacité • Réduction des coûts de production et tarif de rachat convenu avec les EAE 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible exploitation du potentiel disponible, c.-à-d. degré d'utilisation plus faible; → L'installation est conçue pour les charges de pointe • Le tarif de rachat dépend de l'acceptation des consommateurs d'électricité • Peut rarement être mis en œuvre sous des aspects purement économiques → a besoin d'un financement extérieur ou « à fonds perdu »

Module VI étude de cas no 12

2.4 Innovations techniques

2.4.1 Introduction

La recherche et l'innovation sont motivées non seulement par des aspects écologiques et climatiques, mais également par l'innovation technique en vue d'optimiser ou de standardiser des installations ou des composants.

- Écologie et changement climatique
 - Changement dans l'approvisionnement en eau dû au changement climatique ;
 - Optimisation de la production afin d'éviter les effets d'éclusées;
 - Amélioration du passage des poissons ;
 - Gestion du régime de charriage dans les cours d'eaux.
- Technique de construction et des matériaux
 - Optimisation des composants (turbines, grilles, etc.) ;
 - Développement du contrôle-commande pour une exploitation autonome ou commandée à distance;
 - Améliorations dans le domaine des conduites forcées / galeries;
 - Mesures visant à accroître l'efficacité globale des installations.

Ces éléments motivent à entreprendre divers développements et à trouver de nouvelles solutions.

Un exemple : celui de la vis hydrodynamique rotative à deux tubes, composée de deux vis superposées qui permettent la dévalaison et la montaison des poissons. Ainsi, toute l'eau peut être utilisée sans qu'il soit nécessaire d'en réserver une partie pour une passe à poissons. Il en résulte une valeur ajoutée à la fois écologique et économique. D'autres développements relatifs au passage des poissons sont également présentés au point 6.2.

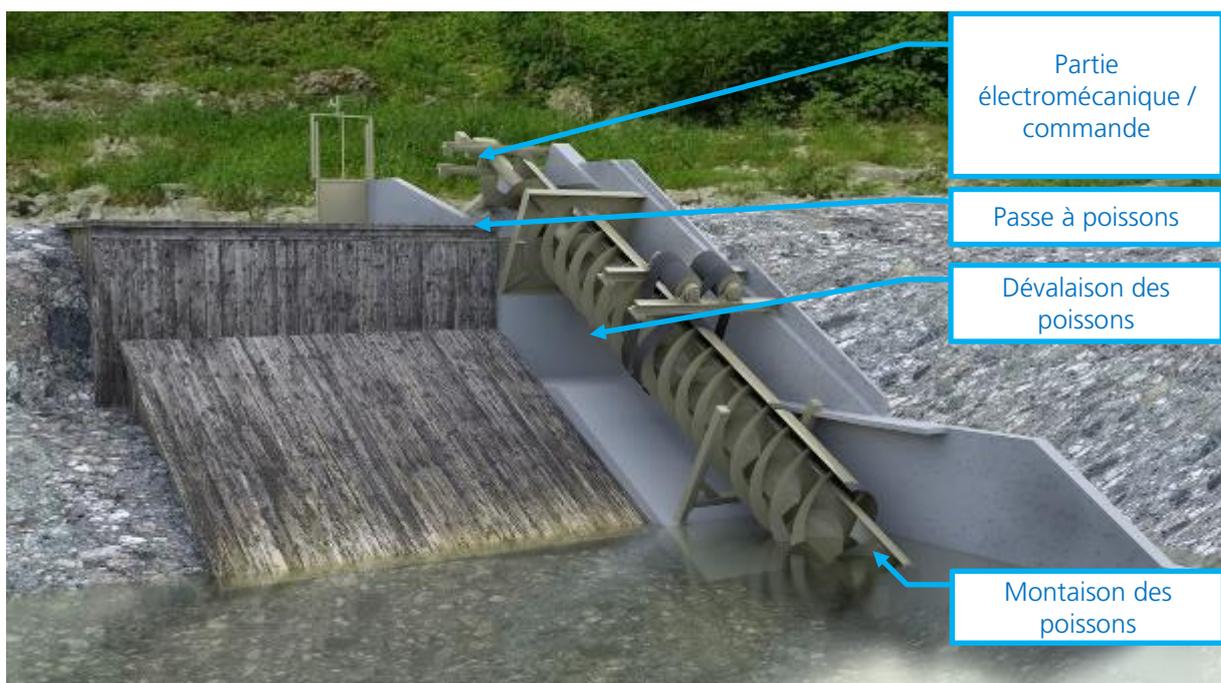


Fig 2-21 Schéma de principe d'un tube rotatif à double vis hydraulique [16]

Autre innovation : L'évolution récente du marché de l'électricité a des répercussions sur le mode de régulation. La tendance aux « centrales électriques virtuelles » en est un exemple. L'exploitant d'une centrale électrique virtuelle dispose de plusieurs centrales qui peuvent être commandées individuellement et à distance. La centrale virtuelle consiste à regrouper différentes petites centrales hydrauliques en une seule grande centrale. L'exploitant de la centrale virtuelle peut ainsi fournir de l'énergie de réglage, ce qui, dans la plupart des cas, n'est pas possible pour un seul exploitant de centrale. Le marché de l'énergie de réglage conduit à deux rémunérations: d'une part, la fourniture pure d'électricité (prix de la puissance) et, d'autre part, le réglage effectif de l'installation (prix du travail). L'objectif du marché de l'énergie de réglage est d'assurer un équilibre entre l'offre et la demande.

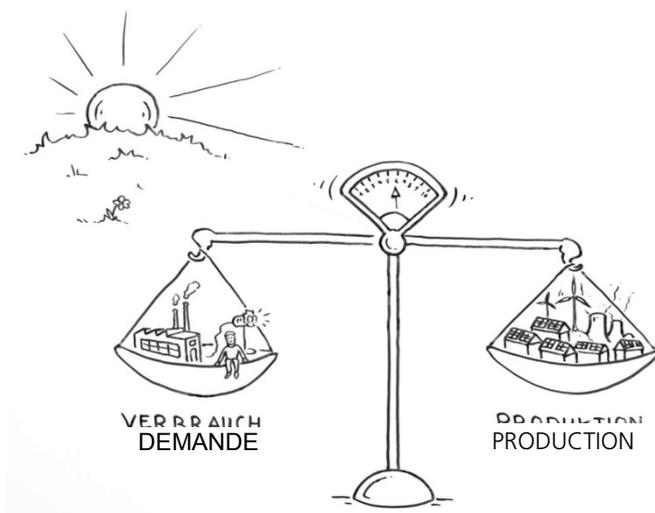


Fig. 2-22 Principe de l'énergie de réglage [17]

Outre les progrès écologiques et économiques, le droit administratif tente également d'uniformiser les processus. L'instrument d'évaluation standardisée de la durabilité créé par la Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie du canton de Berne en est un exemple. [18]

Module V

Des approches techniquement innovatrices sont également en cours de développement afin de permettre la construction d'installations efficaces dans des conditions jusqu'à présent moins favorables, avec, par exemple, des centrales de basse chute (voir 2.4.2). L'innovation technique concerne également les centrales d'exploitation accessoire. La turbine à contre-pression en est un exemple. Là où les turbines Pelton conventionnelles libèrent l'eau après le turbinage à la pression ambiante, une turbine Pelton à contre-pression peut transférer l'eau à une pression accrue. On élargit ainsi le champ d'application, p.ex. au domaine de l'approvisionnement en eau potable. Les turbines peuvent ainsi être installées sous le réservoir aval ou alimenter directement le réseau en eau.

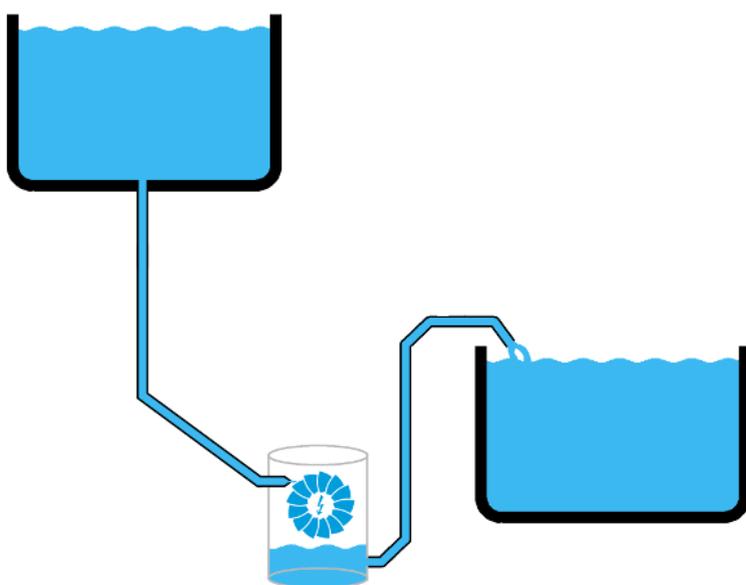


Fig. 2-23 Schéma de principe de la turbine à contre-pression [20]



Fig. 2-24 Centrale de Fällenden (CH) équipée d'une turbine Pelton à contre-pression (17kW) [21]

Au niveau fédéral, l'innovation dans le secteur de l'hydroélectricité est également encouragée de diverses manières. Ceci d'une part au travers du programme de recherche sur l'hydroélectricité de l'Office fédéral de l'énergie, mais aussi par le biais du Centre de compétences suisse pour la recherche énergétique.

La Confédération a créé le Centre de compétence suisse pour la recherche énergétique - approvisionnement en électricité (SCCER-SoE, Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity), qui fait des recherches dans les domaines de la géo-énergie et de l'énergie hydraulique. La petite hydroélectricité en est également un point central.



En ce qui concerne l'hydroélectricité, les sujets importants pour le SCCER-SoE sont la prévision des volumes d'eau compte tenu du changement climatique, le potentiel des futurs lacs glaciaires, la gestion optimale des sédiments et la flexibilité de la production des centrales hydrauliques, en prenant en compte les conditions écologiques et socio-économiques. D'une part, l'objectif consiste à minimiser les effets négatifs sur l'environnement. D'autre part, il s'agit de mieux comprendre les effets des conditions actuelles et futures du marché et des relations politiques.

Site Internet SCCER-SoE [20]

OFEN : Programme de recherche sur l'hydroélectricité [21]

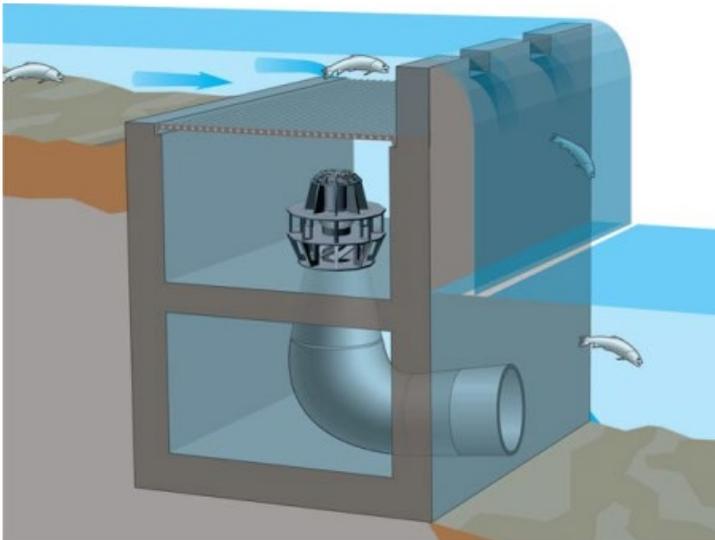
2.4.2 Exemples de développements actuels - centrales de basse chute

Les centrales de basse chute font actuellement l'objet de projets de développement. L'accent est souvent mis sur celles pouvant être intégrées dans la rivière, voire immergées. Certains de ces systèmes sont combinés avec des turbines de dernière génération, permettant également une dévalaison sûre des poissons. En voici quelques exemples :

- Centrale hydro-cinétique :



- Centrale en puits : Le concept ne fonctionne qu'avec des machines immergées telles que la turbine DIVE. Ici la station de turbinage n'a plus à être sur la rive. Les puits dans lesquels sont intégrées les turbines sous-marines, sont installés vers le milieu de la rivière, de sorte que l'eau puisse s'écouler sur les 3 côtés de ce puits. Ce concept permet d'éviter le problème du charriage de sédiments à l'intérieur de la centrale électrique étant donné que la prise d'eau ne s'étend pas sur tout le lit de la rivière et reste près de la surface de l'eau. Un volet dans le déversoir au-dessus du puits de la centrale permet à un certain volume d'eau de s'écouler, ce qui permet également aux poissons de passer. Par ailleurs, ce mouvement d'écoulement empêche la formation de tourbillons, ce qui entraînerait une perte d'efficacité et une usure accrue du turbogroupe. [22]



- Station de turbinage immergée / mobile : Il en résulte une mise en place optimale de la centrale, notamment en ce qui concerne le charriage des sédiments et des alluvions, et la dévalaison des poissons.



OFEN : Évaluation de concepts basse chute pour cours d'eau en Suisse [23]

3. Petites centrales d'exploitation accessoire

Partout où l'eau est pompée ou traitée, il existe théoriquement un potentiel de gain d'efficacité, voire de production d'énergie. L'objectif consiste à étudier les systèmes dans lesquels de l'eau s'écoule par gravité ou par conduite forcée dans un réservoir ou un bassin situé en aval, car c'est là qu'il existe une certaine quantité d'énergie potentielle inutilisée.

SHAPES: Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants [24]

3.1 L'énergie dans les installations d'eau potable

Les réseaux d'eau potable disposent généralement de l'infrastructure nécessaire à la production d'électricité, à travers la valorisation des surpressions. Des turbines peuvent p.ex. être intégrées juste à l'amont des réservoirs ou en remplacement des réducteurs de pression. Toutefois, la pression pour le fonctionnement du réseau d'approvisionnement en eau ne doit pas en être affectée. La réalisation est en général simple, et les avantages écologiques et économiques sont évidents, car le turbinage dans les réseaux d'eau potable :

- favorise le bilan énergétique global;
- n'a aucun impact sur la nature;
- ne produit pratiquement pas d'émissions, et l'utilisation d'énergie grise est faible;
- valorise les synergies;
- est d'une exploitation facile car aucune eau de surface n'est utilisée. Par conséquent, les sédiments et les alluvions ne causent aucun problème; en outre, des synergies sont également possibles pour l'exploitation et la maintenance avec celles des réseaux d'eau potable.
- Utilise des équipements d'une durée de vie généralement longue (plus de 40 ans).

Mode de fonctionnement

Dans un approvisionnement en eau potable, l'énergie (excédentaire) peut toujours être utilisée s'il y a une pression inutilisée :

- Conduites d'eau de source : l'eau issue des sources situées en amont peut être turbinée. La turbine accomplit deux tâches : elle produit de l'électricité et remplace le réducteur de pression normalement nécessaire.
- Tuyaux de raccordement : lorsque les sources d'approvisionnement en eau ont plusieurs réservoirs interconnectés, de l'énergie peut être produite au niveau des lignes de raccordement. Les réservoirs en amont forment un volume d'accumulation qui, en « mode prélèvement », remplit les réservoirs en aval, ce qui peut être énergétiquement valorisé.
- Limites des zones de pression : lorsque de l'eau est libérée d'une zone de pression plus élevée dans une zone de pression plus basse des turbines (ou des pompes inversées) peuvent être installées, en lieu et place des vannes de dissipation.
- Quantités de trop-plein : lorsque la quantité d'eau prélevée est supérieure à la consommation du réseau, elle peut être utilisée pour produire de l'électricité à sa restitution au cours d'eau.

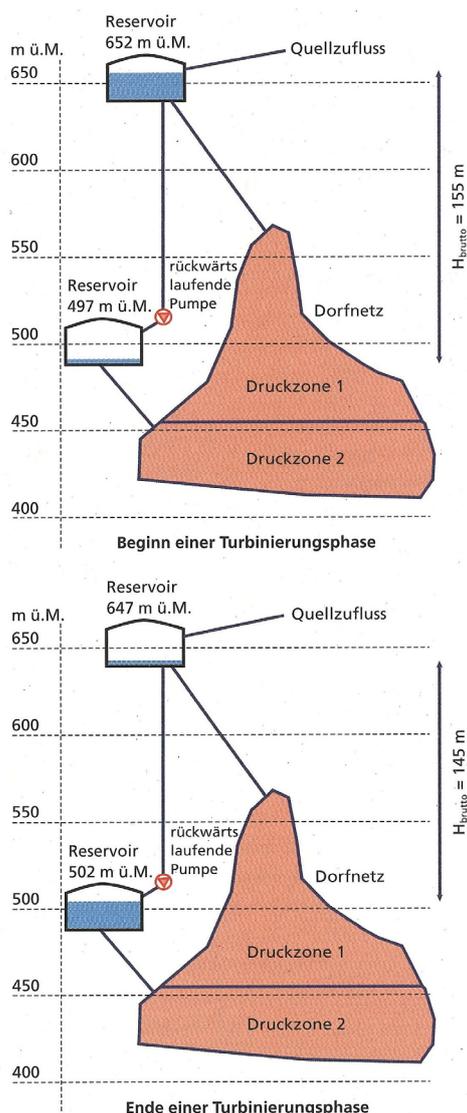


Fig. 3-1 Intégration d'une centrale hydraulique à eau potable entre deux réservoirs [25]

Reservoir : Réservoir, Quellzufluss : Eau de source, rückwärtslaufende Pumpe : Turbine ou pompe inversée, Dorfnetz : réseau du village, Druckzone : zone de pression, Beginn einer Turbinierungsphase : Début d'une phase de turbinage, Ende einer Turbinierungsphase : Fin d'une phase de turbinage

Quellschacht : Chambre de captage, Maschinenhaus mit Turbine 1245 m.ü.M. : Station de turbinage à 1245 msm, Reservoir : Réservoir, Dorfnetz : Réseau du village

Quellschacht : Chambre de captage, Reservoir : Réservoir, Turbine bei Zonenverbindung : Turbine à la jonction des deux zones, Druckzone : Zone de pression, Pumpwerk : Station de pompage

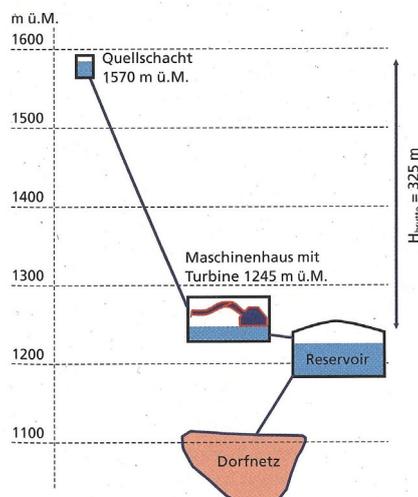


Fig. 3-2 Utilisation de l'eau de source pour la production d'énergie [25]

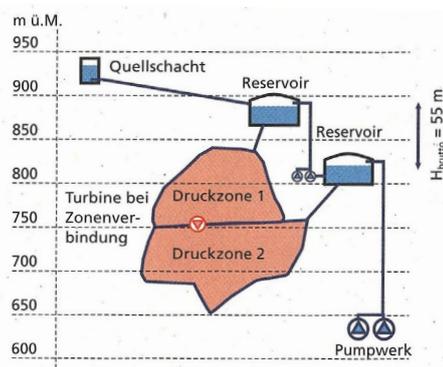


Fig. 3-3 Production d'énergie au niveau du réducteur de pression entre deux zones [25]

SSIGE : L'énergie dans l'approvisionnement en eau [25]

SSIGE : Empfehlung zur Regelung des Contractings bei Trinkwasserkraftwerken (recommandation pour le règlement des contrats avec les centrales hydrauliques à eau potable) [26]

OFEN : DIANE – Petites centrales hydrauliques sur l'eau potable – Documentation technique [27]

OFEN : DIANE - L'eau potable génératrice d'électricité [27]

3.2 L'énergie dans les stations d'épuration (STEP)

Dans les stations d'épuration, les débits d'eau et la hauteur de chute existante peuvent être également valorisées énergétiquement. Cependant, il faut tenir compte du fait que les eaux usées transportent avec elles une grande quantité de matières étrangères. Il convient donc de distinguer si l'électricité doit être produite avec des eaux usées brutes, c'est-à-dire en amont de la station d'épuration, ou avec de l'eau traitée en aval de la station d'épuration. Car en utilisant des eaux brutes, il est obligatoire d'installer une station de prétraitement avec grille et dégrilleur, en amont de la centrale électrique.

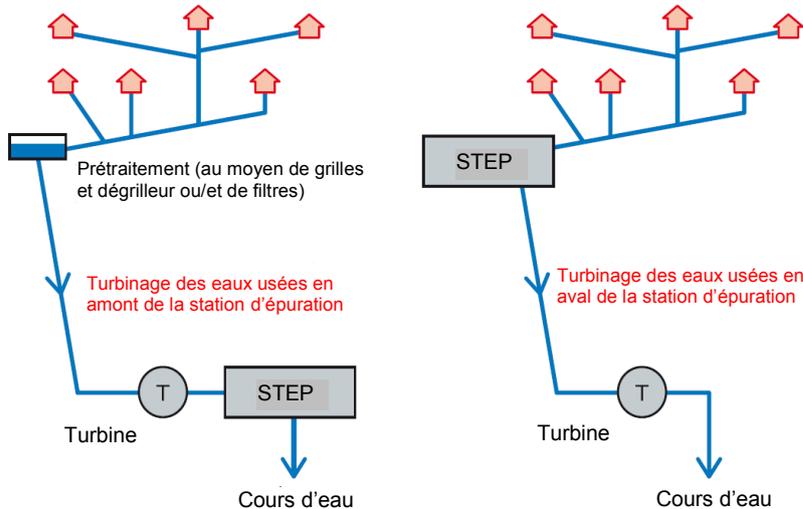


Fig. 3-4 Schéma d'utilisation des eaux usées pour la production d'électricité [24]

Module VI Exemple 06

3.3 L'énergie dans les installations d'enneigement

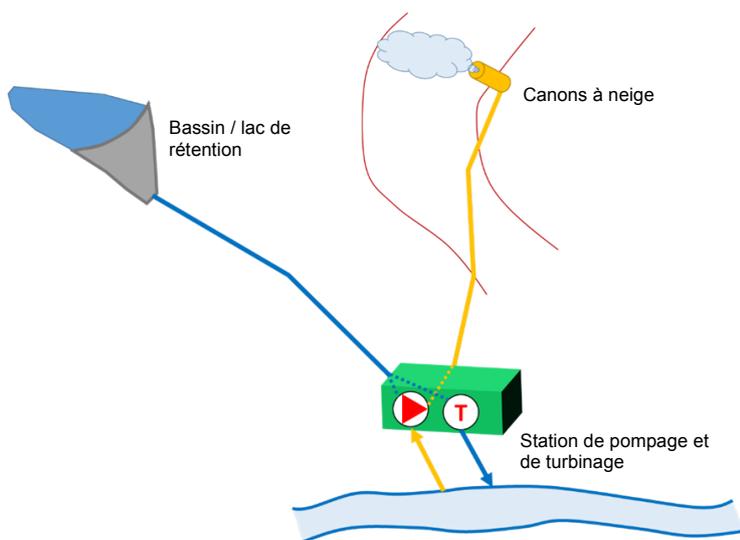


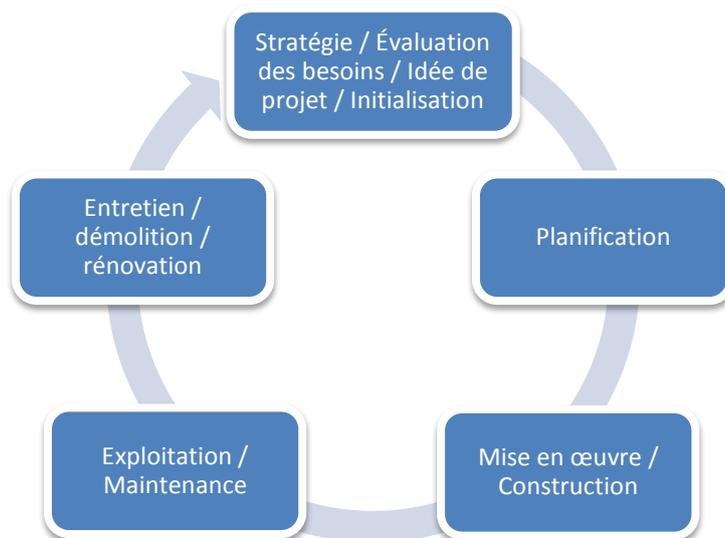
Fig. 3-5 Turbinage intégré à une infrastructure d'enneigement

A première vue, la production d'énergie dans les systèmes d'enneigement semble quelque peu inhabituelle. Néanmoins, des installations d'enneigement sont en cours de construction en région alpine qui permettent en même temps d'exploiter le potentiel hydroélectrique existant. Les systèmes d'enneigement nécessitent des réservoirs d'eau, des stations de pompage et des conduites forcées. Dans de tels systèmes, l'eau est habituellement pompée vers les systèmes d'enneigement en hiver. En été, le système peut être utilisé en profitant de l'infrastructure, en sens inverse pour du turbinage.

4. Planification / processus de planification

4.1 Cycle de vie du projet et processus de planification

Un projet d'infrastructure se déroule normalement selon les phases décrites ci-dessous. En vue d'une utilisation optimale des ressources (temps, personnel, finances), un projet hydroélectrique doit être considéré sur sa durée de vie totale.



Dans la norme SIA 112, 2014, les phases sont décrites comme suit :

1 Définitions des objectifs	<ul style="list-style-type: none"> • 11 Énoncé des exigences, approche méthodologique
2 Études préliminaires	<ul style="list-style-type: none"> • 21 Définition du projet de construction, étude de faisabilité • 22 Procédure de choix des mandataires
3 Étude du projet	<ul style="list-style-type: none"> • 31 Avant-projet • 32 Projet de l'ouvrage • 33 Procédure de demande d'autorisation / dossier de mise à l'enquête
4 Appel d'offres	<ul style="list-style-type: none"> • 41 Appels d'offres, comparaisons des offres, proposition d'adjudication
5 Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> • 51 Projet d'exécution • 52 Exécution de l'ouvrage • 53 Mise en service, achèvement
6 Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • 61 Fonctionnement • 62 Surveillance / contrôle / entretien • 63 Maintenance

Norme SIA 112 [28]

Pour mener à bien un projet tout au long de son cycle de vie, des structures viables doivent être mises en place dès le départ, mais les questions générales d'économie d'entreprise sont également importantes. Un organe responsable fort, disposant de fonds propres suffisants, est la base indispensable pour financer un projet de centrale hydraulique. En plus d'un rendement approprié, les investisseurs veulent également être certains que le projet se déroulera conformément au plan. En plus des capacités de gestion de l'organe responsable, les compétences des partenaires de la coopération (projeteurs, spécialistes, entrepreneurs, etc.) sont également déterminantes. Il faut en outre créer des structures claires qui attribuent clairement les droits et obligations aux différentes parties impliquées de l'organe responsable et parmi les partenaires de coopération. En outre, des conditions contractuelles appropriées doivent contribuer à ce que chacun s'engage à garantir la réussite du projet.

Ressources-clés	Initiation	Planification	Réalisation	Exploitation	
Capacités de gestion	■	■	■	■	■ élément dont l'organe doit absolument disposer
Site	■	■	■	■	■ la concession élément devant être disponible, mais que l'organe responsable peut ne pas encore posséder
Concession			■	■	
Capital propre		■	■	■	■ élément non obligatoire, mais s'avérant très avantageux lorsque l'organe en dispose
Savoir-faire PCH	■	■	■	■	
Ancrage local	■	■	■	■	

Fig. 4-1 Ressources-clés d'un projet de petite centrale hydraulique [29]

REMARQUE : Les procédures de planification d'un projet de PCH sont décrites en détail dans le Manuel Petites centrales hydrauliques [30], et dans le « Guide pratique, organe responsable, coopérations et financement » [29]. Les explications qui suivent sont la synthèse de ces documents, avec d'éventuelles informations supplémentaires.

Les produits de la planification d'une petite centrale hydraulique se réfèrent aux phases de planification [31]:

Phase (d'après la SIA)		Sous-phase (d'après la SIA)		Prestations et résultats typiques de la PCH	
1	Définition des objectifs		Identification des besoins Stratégies de résolution	Plan directeur ou étude du potentiel sur un vaste territoire	
2	Étude préliminaire		Définition du projet de l'ouvrage, étude de faisabilité Procédure de sélection	Analyse sommaire	
3	Etude du projet	31	Avant-projet	Base du projet de concession, souvent lié aux analyses environnementales	regroupés et réduits dans les cas de projets simples ou de faible envergure, ou de procédure de demande d'autorisation en 1 étape
		32	Projet de l'ouvrage	Base de la demande de permis de construire (généralement)	
		33	Procédure de demande d'autorisation	Permis de construire	
4	Appel d'offres	41	Appel d'offres, comparaison des offres, proposition d'adjudication		
5	Réalisation	51	Projet d'exécution		
		52	Exécution		
		53	Mise en service, achèvement	Réception des turbines et des alternateurs et mesures de leur rendement	
6	Exploitation	61	Fonctionnement		
		62	Maintenance		
		63	Entretien		

4.1.1 Étude préliminaire

Au moyen d'une analyse sommaire, il s'agit d'évaluer d'abord les principaux paramètres d'un projet afin d'identifier le plus tôt possible les éventuels « critères fatals ». L'objectif est d'esquisser et d'évaluer globalement le projet. La Confédération soutient financièrement la préparation d'analyses sommaires, mais prescrit également leur contenu. Selon la fiche technique 3 « Exigences minimales à respecter pour les études préliminaires et les analyses sommaires » [32], les thèmes suivants doivent être examinés :

- Situation (situation actuelle, éventuelles installations existantes, disponibilité en eau (en gros), situation juridique)
- Données techniques (hauteur de chute nette / brute, débit d'équipement approximatif et volume de production prévu [kWh / an])
- Environnement (premières déclarations sur les sujets tels que la circulation des poissons, les alluvions, etc.)
- Rentabilité

Si aucun « critère fatal » n'est identifié lors de l'analyse sommaire, la faisabilité sera vérifiée au moyen d'une étude de faisabilité. Le but de l'étude de faisabilité est de faire avancer un projet de centrale électrique avec un degré de détail « raisonnable » afin que la faisabilité technique, juridique, économique et environnementale puisse être évaluée de manière concluante, tout en limitant les coûts d'ingénierie. La planification nécessaire et les dépendances thématiques sont illustrées sur le diagramme ci-après.

4.1.2 Avant-projet

L'avant-projet permet de réaliser un concept techniquement et économiquement à peu près optimisé et susceptible d'être autorisé. Dans le cadre de l'avant-projet, l'accent sera mis sur les aspects environnementaux comme base du projet de concession.

Dans le cadre de l'avant-projet, les résultats des études précédentes continuent d'être concrétisés, le plus souvent sur la base d'une étude de variantes. Vers la fin de la phase d'avant-projet, on se concentre généralement sur la meilleure solution, qui sera étudiée jusqu'au point d'obtenir une précision des coûts de +/- 20%.

Parallèlement aux clarifications techniques, des études spécifiques sont menées, en particulier les clarifications environnementales, qui demandent le plus souvent les principales caractéristiques techniques. [30]

4.1.3 Projet de demande d'autorisation et d'exécution

Si, sur la base de l'étude de faisabilité et de l'avant-projet, il est décidé de poursuivre le projet, un projet demande d'autorisation et/ou d'exécution sera préparé. Tous les aspects du projet sont alors examinés et planifiés en détail.

OFEN : Organe responsable, coopérations et financement de petites centrales hydrauliques [29]

OFEN : Planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage [31]

OFEN : Manuel Petites centrales hydrauliques [30]

4.2 Planification de la centrale

La planification d'une petite centrale hydraulique suit globalement les thèmes suivants :

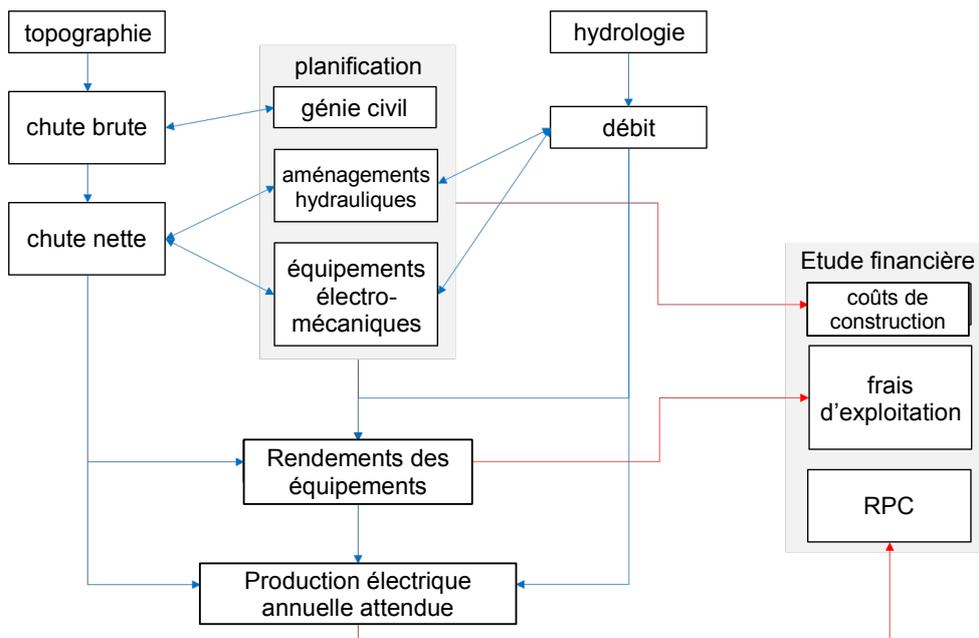


Fig. 4-2 Thèmes abordés lors de la planification d'un projet de turbinage

Topographie

La topographie décrit le terrain. Dans un premier temps, les données disponibles en ligne peuvent être utilisées, telles que cartes nationales ou ensembles de données SIG cantonales¹. Selon l'emplacement (Alpes / Préalpes / Plateau), la carte utilisée doit indiquer des courbes de niveau de 1 à 2 m, ou au moins permettre de mesurer un profil avec cette précision. Les MNT (modèle numérique de terrain) souvent disponibles conviennent aussi.

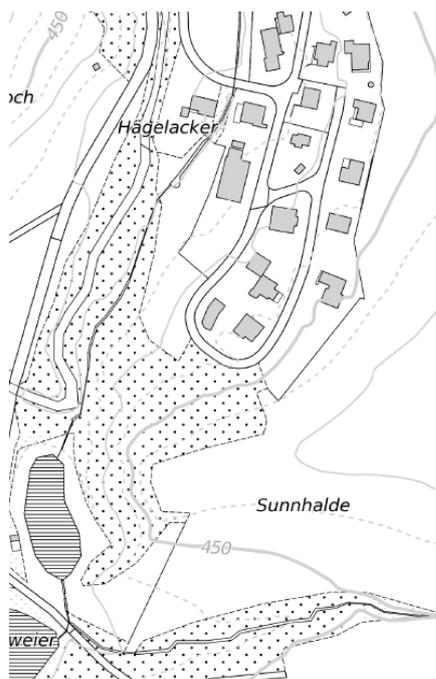


Fig. 4-3 Extrait Thur visualiseur SIG « fond de carte » [35]



Fig. 4-4 Extrait Thur visualiseur SIG « fond de carte » - seulement courbes de niveau [35]

Hydrologie

Le terme d'hydrologie regroupe toutes les informations importantes sur les eaux de ruissellement. Il s'agit en particulier de connaître la forme de la courbe des débits classés, créée sur la base des débits journaliers enregistrés (sur plusieurs années), mais aussi des valeurs individuelles telles que les débits maximal (cru) ou minimal. Le débit minimal est également important en ce qui concerne le volume d'eau résiduel à restituer. Les données hydrologiques sont disponibles pour de nombreux cours d'eau en Suisse (stations de mesure cantonales et nationales²). Les annuaires hydrologiques contiennent souvent des données sur plusieurs années. Il est ainsi possible de créer un hydrogramme de débit pour un cours d'eau, ce qui permettra de déterminer la courbe des débits classés.

¹ Confédération (Swisstopo): <http://map.geo.admin.ch>; les géoportails se trouvent sous <https://www.kkgeo.ch/fr/geodonnees/geoportails-cantonaux>

² Office fédéral de l'environnement : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux.html>

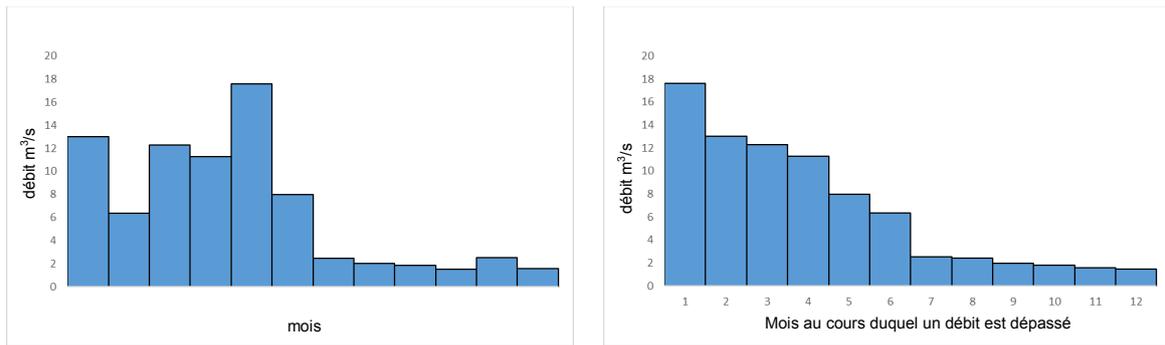


Fig. 4-5 Hydrogramme et courbe des débits classés – simplifiés à partir des moyennes mensuelles (des moyennes journalières devraient toutefois être utilisées)

Pour une détermination plus précise de la courbe des débits classés, il est nécessaire d'utiliser les valeurs moyennes journalières. En prenant l'exemple de la Töss (point de mesure Neftenbach, année 2015), l'hydrogramme et la courbe des débits classés seraient les suivants :

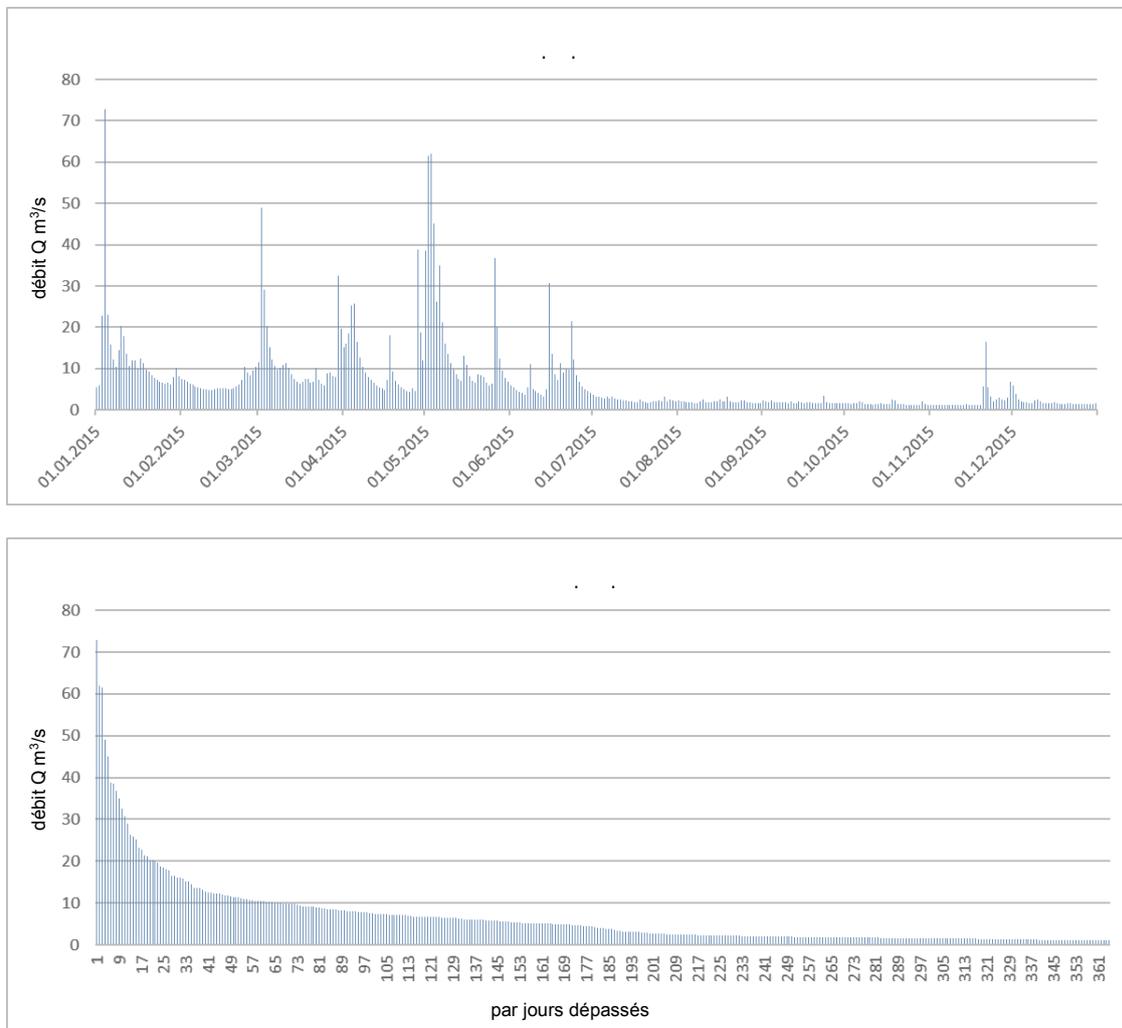


Fig. 4-6 Hydrogramme et courbe des débits classés pour la Töss à Neftenbach 2015 [36]

Lorsque ces données ne sont pas disponibles en quantité suffisante, il est aussi possible d'utiliser, pour les premières évaluations, les données des bassins versants voisins (avec des données hydrologiques mesurées) et/ou les informations de l'Atlas hydrologique de la Suisse. Pour des déterminations plus précises, des mesures doivent être prises dans le bassin versant du site prévu. Celles-ci permettront ensuite d'établir une courbe des débits classés pour le site considéré, au moyen de comparaisons

arithmétiques avec les bassins versants voisins qui disposent de données sur plusieurs années. Il faut tenir compte du fait que si le projet est poursuivi après l'étude de faisabilité, les autorités d'approbation exigent des séries de mesures à long terme. Il est donc évident que le temps requis pour cette phase d'étude sera considérablement plus long, afin de recueillir les données hydrologiques nécessaires au fil des saisons.

Dans les cours d'eau suisses, il s'écoule une quantité d'eau typique à chaque saison, c'est ce qu'on appelle « régime » dans le jargon technique. Ce régime dépend de la région, de l'altitude et des glaciers. Des régimes de débit comparables peuvent être regroupés par types.

En Suisse, la rétention temporaire des précipitations sous forme de neige ou de glace joue un rôle important sur l'hydrologie d'un bassin versant. Ce sont par conséquent la fonte des neiges au printemps et la fonte des glaciers pendant les mois d'été qui génèrent le plus de débit dans les rivières alpines. Dans le Jura, les précipitations stockées sous forme de neige ne contribuent que faiblement au ruissellement de l'eau, et il n'y a pas de fonte des glaces. Sur le Plateau, pratiquement toutes les précipitations ruissellent directement dans les rivières tout au long de l'année. Il en résulte des disparités saisonnières et régionales et des crues. On distingue les régimes selon s'ils sont influencés par la fonte des glaces (glacial), par la fonte des neiges (nival) ou par la pluie (pluvial) et leurs combinaisons. [35]

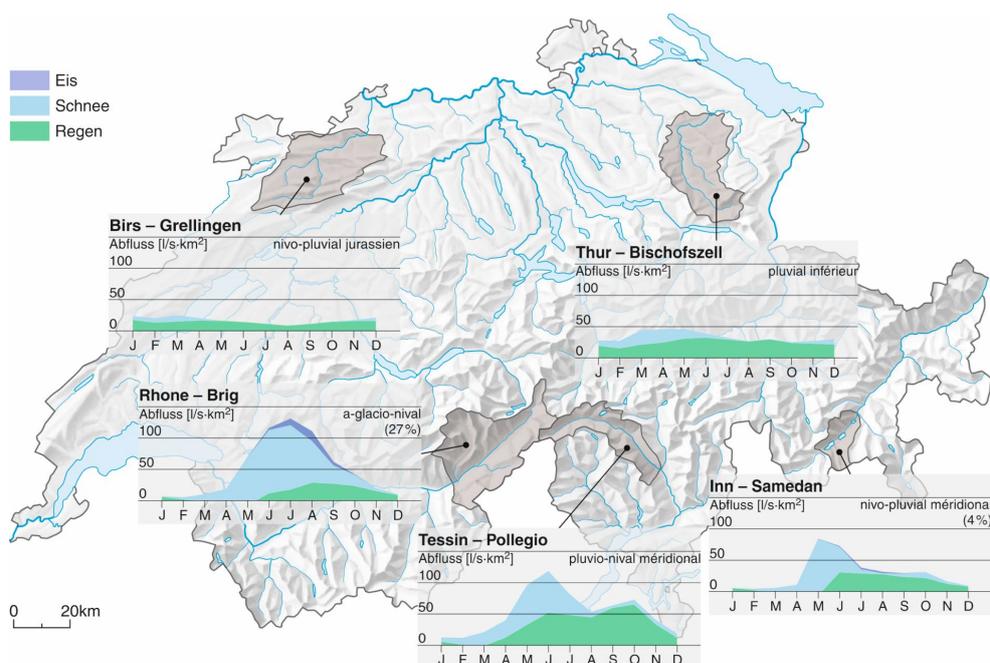


Fig. 4-7 Régime de débit pour cinq bassins versants représentatifs de différentes régions de la Suisse pour la période 1984 à 2005 [37]

Une analyse hydrologique précise est décisive et importante pour déterminer la courbe caractéristique de la centrale sur la base d'une courbe des débits classés. La courbe des débits classés montre sur quelle période de temps quel débit peut être utilisé pour la production d'électricité, ce qui est essentiel pour la planification d'une installation.

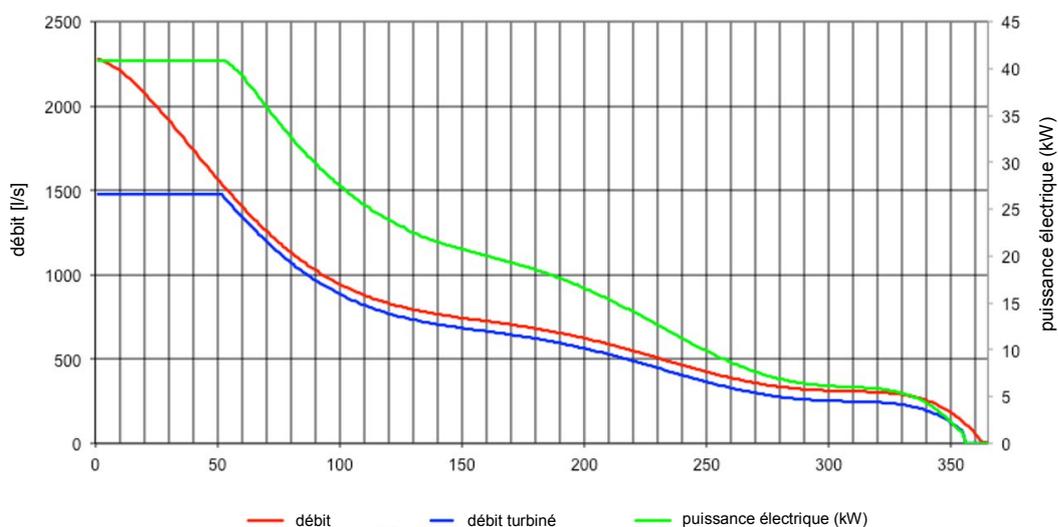


Fig. 4-8 Plan de performance d'une centrale hydraulique

Géologie / terrain

Pour chaque site, il existe une conception « hydraulique » optimale de la centrale électrique. Cependant, la géologie ou le terrain entre autres peut s'y opposer. Il est donc important de clarifier à un stade précoce à quel type de terrain l'on aura affaire. Une évaluation géotechnique ou hydrogéologique du terrain est particulièrement indiquée si le projet

- se trouve dans des zones tectoniques difficiles (région alpine, zones de glissement, etc.) ;
- se situe dans des régions où les sols sont sensibles au tassement;
- implique des travaux de génie civil importants (spéciaux);
- se situe à proximité de bâtiments ou d'infrastructures existants (dans certains cas même obligatoire - par exemple, à proximité d'installations ferroviaires);
- touche à des pentes abruptes, des barrages /seuils ou des remblais;
- ou se situe sur des parcelles anciennement utilisées à des fins commerciales ou industrielles, et qui pourraient être contaminées.

Les sites contaminés peuvent engendrer des coûts importants. Ceux-ci doivent être assainis dans le cadre d'un projet de construction ou peuvent au moins entraîner des coûts supplémentaires élevés pour les travaux d'excavation. Il faut également s'assurer qu'aucune éventuelle aquifère ou zone de protection des eaux souterraines ne pourrait nuire au projet. La plupart de ces indications sont disponibles sur les géoportails cantonaux³.

Génie hydraulique

La première partie de la planification consiste à élaborer un concept approximatif de la centrale. Dans une esquisse de projet, tous les composants nécessaires de l'installation sont définis en fonction de la situation donnée (voir aussi 2.2). Ensuite, les composants de l'installation peuvent être globalement définis.

Pour ce faire, les points suivants sont essentiels :

- Captage : position et type d'exécution (prélèvement latéral, prélèvement par le fond -prise d'eau tyrolienne-, etc.)
- Canal d'amenée : positionnement et dimensionnement approximatif (uniquement pour les centrales en dérivation)

³ Les géoportails cantonaux sont accessibles sur <https://www.kkgeo.ch/fr/geodonnees/geoportails-cantonaux>

- Chambre de mise en charge : emplacement
- Conduite forcée : dimension, longueur, matériau (uniquement pour les centrales en dérivation)
- Centrale : site
- Canal de fuite / restitution : position et dimensionnement approximatif

Les altitudes du captage et de la centrale permettent ensuite de déterminer la hauteur de chute brute. En prenant un rendement moyen pour l'ensemble du système (env. 70...80%) et une estimation du débit disponible, il est possible de déterminer la puissance du site.

Equipements électromécaniques de la centrale

Les hauteurs de chute et la courbe des débits classés disponibles réduisent déjà considérablement les types de turbine adaptés au site. (Voir aussi 2.2.2). En ce qui concerne la génératrice, on préfère en général des solutions standard. Il convient également de vérifier si la centrale peut être intégrée dans un réseau électricité de distribution existant. Ce qui importe alors, c'est le point de raccordement au réseau ou la distance entre l'installation et ce point d'injection.

Mesures écologiques

En général, il est possible d'estimer à une phase précoce, si des mesures sont nécessaires, p.ex. pour améliorer la circulation des poissons ou le transit des matières charriées (dans des installations existantes). Suivant les montants supplémentaires à investir, ces mesures peuvent avoir un impact décisif sur la rentabilité d'une installation.

Module I

Rentabilité

Les ordres de grandeur définis et la conception de la centrale électrique permettent de calculer la production annuelle moyenne (voir aussi Fig. 4-7).

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, les coûts de construction seront estimés pour la première fois sur la base des éléments de l'installation décrits. Au stade de l'étude préliminaire de faisabilité, l'estimation approximative du coût des investissements est effectuée avec une précision de +/- 25%. Lors du développement ultérieur du projet, la précision sera affinée pour arriver dans le cadre du projet d'exécution, à une précision de +/- 10% (voir aussi Fig. 4-9).

Les coûts d'exploitation et d'entretien sont estimés sur la base d'installations comparables. Il s'agit notamment du coût du capital investi, des amortissements, des frais d'entretien (matériel / personnel) et des frais administratifs, ainsi que de la redevance hydraulique. Du côté des recettes, la rétribution du courant injecté a un impact.

Parenthèse : redevance hydraulique

La redevance hydraulique est une taxe que le concessionnaire doit payer pour l'exploitation financière des ressources hydrauliques que lui attribue sa concession. Elle se calcule sur la base de la puissance brute de la centrale. Les petites centrales hydrauliques d'une puissance inférieure à 1 MW⁴ sont exemptées de l'obligation de payer la redevance hydraulique. Pour une puissance comprise entre 1 et 2 MW, la redevance hydraulique maximale augmente linéairement jusqu'au taux maximal.

Module III Rentabilité

⁴ Puissance théorique brute moyenne, selon la définition de l'article 51 de la Loi sur les Forces hydrauliques (LFH)

OFEN : Planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage [31]

Données hydrologiques de l'OFEV et des cantons [37]

Bases juridiques → voir module IV

Harvey : Micro-hydro design manual [38]

Inversin : Micro-Hydropower Sourcebook [39]

SuisseEnergie : Manuel Petites centrales hydrauliques [30]

Cartes nationales : <https://map.geo.admin.ch/>

Cartes nationales et photos aériennes sur des applications SIG Web [40]

4.3 Cas particulier d'une installation existante

En Suisse, il existe encore de nombreuses installations anciennes susceptibles d'être modernisées ou réactivées. En même temps, il faut toujours vérifier si la possibilité d'agrandissement existe (augmentation de la hauteur de chute, augmentation du débit d'équipement - voir ci-dessous). Pour certains propriétaires de centrales électriques, cette question se pose également en raison de changements dans le cadre juridique (p.ex. LEaux), qui les obligent soudainement à prendre des mesures dans leurs centrales électriques.

Fondamentalement, il faut distinguer entre les notions suivantes :

- Modernisation Mesures d'amélioration d'une centrale en service
- Agrandissement/extension Augmentation de la puissance ou/et de la production d'une centrale hydraulique existante, généralement dans le cadre d'un projet de modernisation
- Réactivation/revitalisation Mesures de réactivation sur une installation hors service

Dans le cas d'une installation existante, il convient d'examiner si elle est techniquement fonctionnelle et économiquement viable, à savoir si un investissement dans l'installation se justifie. Les points suivants doivent être pris en compte :

- Fonctionnalité technique
 - Droit d'utilisatoir
 - État de l'installation
 - Écologie
 - Âge (en cas de modernisation)
 - Maintenance (en cas de modernisation)
- Rentabilité :
 - prix de revient
 - Potentiel d'agrandissement
 - Influence du débit résiduel

Un élément peut également être la durée de vie de chacun des composants de la centrale, qui peut être quantifiée approximativement comme suit :

Bâtiments / ouvrages hydrauliques	40 - 80 ans
Turbines / Génératrices	30 - 40 ans
Contrôle-commande	10 - 15 ans

OFEN : DIANE 10 Rénover au lieu d'abandonner) [41]

Fonctionnalité technique

Lors de la réactivation ou de la modernisation d'installations existantes, le nouveau projet doit être adapté à l'environnement existant. Il s'agit souvent de centrales situées dans d'anciennes zones industrielles ou de moulins, qui ont aujourd'hui un usage différent de celui qu'elles avaient au moment de la construction de la centrale hydraulique. Par conséquent, le chef de projet devra faire face à de nouvelles exigences. En particulier, les mesures suivantes peuvent poser de hautes exigences dans un projet et avoir un impact significatif sur la rentabilité :

- Sites contaminés :
Si une centrale électrique située à proximité d'un ancien site industriel est réactivée ou modernisée, il faut s'attendre à ce que le site soit contaminé. L'excavation, le traitement et l'élimination peuvent s'avérer coûteux.
- Conservation des monuments historiques :
Il est important de clarifier à un stade précoce s'il existe d'éventuelles exigences patrimoniales pour les centrales situées dans d'anciennes zones industrielles ou autres environnements construits. Si le site présente un intérêt pour la conservation des monuments, il peut être possible d'obtenir des subventions des autorités de conservation pour le projet.
- Bruit / vibrations :
Des immeubles d'habitation et/ou de bureaux ont été construits sur d'anciens sites de production où des machines fonctionnaient jour et nuit. Cette situation pose des exigences supplémentaires aux centrales électriques, par exemple au niveau des émissions de bruit et de vibrations.
- Écologie :
Dans le cas de centrales électriques existantes, des mesures seront généralement nécessaires pour réhabiliter la migration des poissons et le transit des sédiments et des débris flottants (voir chapitre 6).

Module V

Droit d'eau

Les droits d'eau définissent, pour la production d'électricité ou pour l'exploitation de moulins et de scieries, qui peut utiliser l'eau et sur quel tronçon. L'utilisation de l'énergie hydraulique nécessite une concession délivrée, en général, par le canton, ou, comme aux Grisons et en Valai, par la commune, pour une durée maximale de 80 ans. En outre, il existe encore de nombreux droits d'utilisation permanents, dont le maintien est aujourd'hui remis en question au niveau légal [42]. Pour les sites de plus de 1 MW de puissance selon la LFH [cf. §4.2 et note 4], le concessionnaire doit au propriétaire du cours d'eau, c'est-à-dire au canton (ou à la commune pour certains cantons), une redevance hydraulique pour utiliser la ressource comme « énergie hydraulique ».

Si des installations existantes sont modernisées, réactivées ou agrandies, il y a en général de grandes chances que la concession soit renouvelée. Toutefois, l'installation doit ensuite être mise à niveau selon les techniques les plus récentes et satisfaire aux exigences légales.

Module IV

Potentiel d'agrandissement

Si une modernisation, un agrandissement ou une réhabilitation est prévue, le potentiel d'agrandissement et donc aussi la quantité d'eau disponible (et la hauteur de chute disponible) sont décisifs pour la production future. Là où autrefois les problèmes de débit résiduel ou de migration des poissons n'existaient pas, de telles mesures doivent aujourd'hui être prises, avec pour conséquence de réduire l'eau à disposition pour la production.

D'autre part, les anciennes installations étaient conçues de manière à pouvoir produire de façon permanente, mais en utilisant un plus petit débit. Aujourd'hui, on accepte qu'une usine soit retirée du réseau face au manque d'eau à disposition, mais qu'au contraire, en période de fort débit, l'eau puisse être turbinée au maximum. Il en résulte moins d'heures à pleine charge que par le passé, mais pour une production électrique plus élevée.

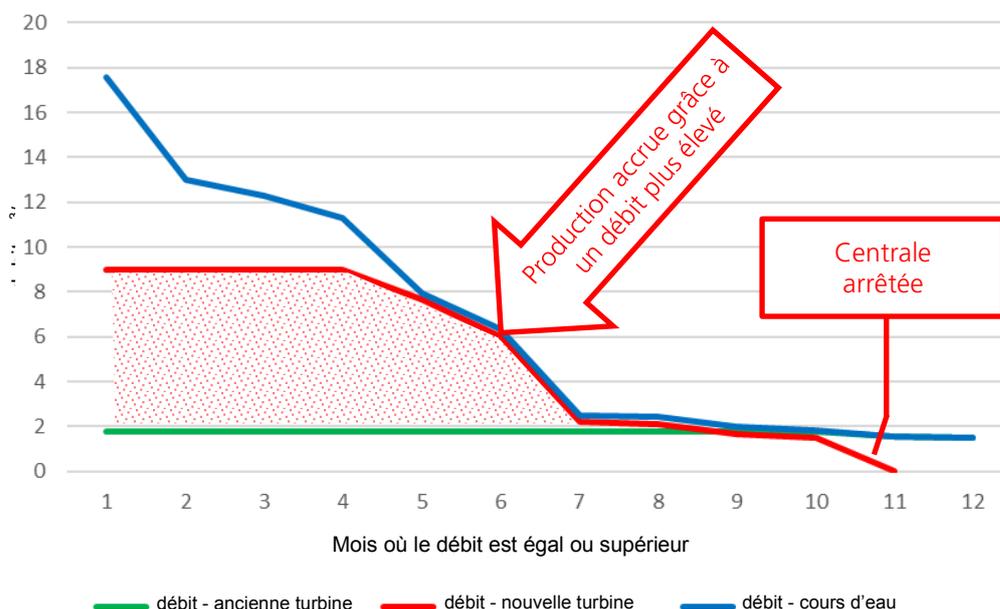


Fig. 4-9 Courbes des débits classés dans le cas d'un projet d'agrandissement

Module III

4.4 Appel d'offres, livraison, réception et mise en service

4.4.1 Appel d'offres, attribution du mandat, contrat

Appel d'offres

Le secteur public, à savoir la Confédération, les cantons et les communes, ainsi que d'autres responsables de prestations publiques doivent veiller à ce que les projets de « marchés publics de fournitures, de services et de construction de grande envergure » soient officiellement publiés. La loi fédérale sur les marchés publics définit l'objet éventuel des marchés publics (art. 5 LMP) sous forme de différents types de contrats [43]. Cela signifie, par exemple, que les services publics dans les domaines de l'énergie ou de l'eau doivent traiter les mandats et les marchés publics conformément à la loi sur les soumissions.

D'un autre côté, les organisations de droit privé (personnes physiques et morales) sont libres de faire des achats et des projets conformément au Code des obligations suisse.

Les achats peuvent être structurés sous forme de tableau de la façon suivante (selon [44]) :

		Formes d'achat			
		Orienté solution Formes d'achat		Orienté performance Formes d'achat	
		Mise au concours	Mandat d'étude	Offre de prestations Offre de prestations fonctionnelle	Offre de prestations par un cahier des charges détaillé
Type de procédure	ouverte	X	-	X	X
	sélective	X	X	X	X
	invitation	X	X	X	X
	gré à gré	Vainqueur	Vainqueur	X	X

Un achat nécessite un appel d'offres. Indépendamment de ce qui doit être acheté, certains points doivent être pris en compte. Suivant la norme SIA 118 [45]:

- Par le biais de l'appel d'offres, le maître de l'ouvrage invite simultanément plusieurs entrepreneurs à soumettre une offre pour l'exécution d'un travail (de construction) sur la base de certains documents (art. 4).
- L'appel d'offres exige un projet suffisamment clair (art. 5).
- Dans l'appel d'offres, le maître de l'ouvrage fait part aux entrepreneurs de ses exigences par rapport à l'offre (date limite de soumission, annexes requises, etc.). Toutefois, le maître de l'ouvrage doit également fournir toutes les informations nécessaires pour que les entrepreneurs puissent se faire une idée claire de son intention (art. 6).

Il est évident qu'au début d'un projet, le maître de l'ouvrage ne dispose que d'éléments approximatifs pour obtenir les services de planification nécessaires. Néanmoins, il doit avoir dès le départ une idée claire du résultat final attendu, du financement et du temps nécessaire.

Attribution et contrat

Dans la mesure du possible, il faudrait appliquer des critères clairement mesurables pour évaluer les offres. L'évaluation en fonction du prix est la plus simple. Toutefois, la solution la moins chère n'est pas toujours la plus avantageuse. Il faudrait également tenir compte de l'expérience, des références, du personnel clé, etc. des fournisseurs. Dans un souci de transparence, les critères d'attribution devraient être publiés dans l'appel d'offres.

L'adjudication (par oral ou par écrit) crée une relation contractuelle avec le fournisseur, ce qui peut ensuite être concrétisé au moyen d'un document contractuel.

Il faut également distinguer le type de contrat. Dans le cas de services de planification, on établit généralement un contrat de service (relation contractuelle), et pour l'exécution, des contrats d'entreprise. Cette distinction est particulièrement importante lorsqu'il s'agit d'évaluer le service fourni. Dans le cas des contrats de services, seule une prestation est due, et non un résultat, alors qu'un entrepreneur avec un contrat d'entreprise est responsable du résultat (garantie en cas de défauts).

En règle générale, il est conseillé de conclure des contrats pour les normes SIA 103 relatives aux services de planification et les normes SIA 118 relatives aux contrats d'entreprise (sinon les dispositions du Code suisse des obligations s'appliquent).

OFEN : Planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage [31]

OFEN : Manuel Petites centrales hydrauliques [30]

Stöckli / Siegenthaler : die Planerverträge (Contrats avec les planificateurs) [46]

Spiess / Huser: Norme SIA 118 [47]

Gauch : Le contrat d'entreprise [48]

Norme SIA 118 [45]

Normes SIA 103 [49]

Norme SIA 112 [28]

Galli / Moser / Lang / Steiner. Praxis des öffentlichen Vergaberechts (Pratique du droit des marchés publics) [43]

Stöckli / Beyeler : Droit des marchés publics en Suisse [46]

Kurer / Quinto / Maffioletti (Ed.) : Manuel de construction [44]

4.4.2 Construction

Le processus de construction est une suite complexe de services souvent imbriqués les uns dans les autres. Du point de vue du maître de l'ouvrage, ce qui importe le plus, ce sont notamment les coûts, la qualité d'exécution et la durée du projet. Cette base est assurée par l'appel d'offres et la sélection des partenaires appropriés.

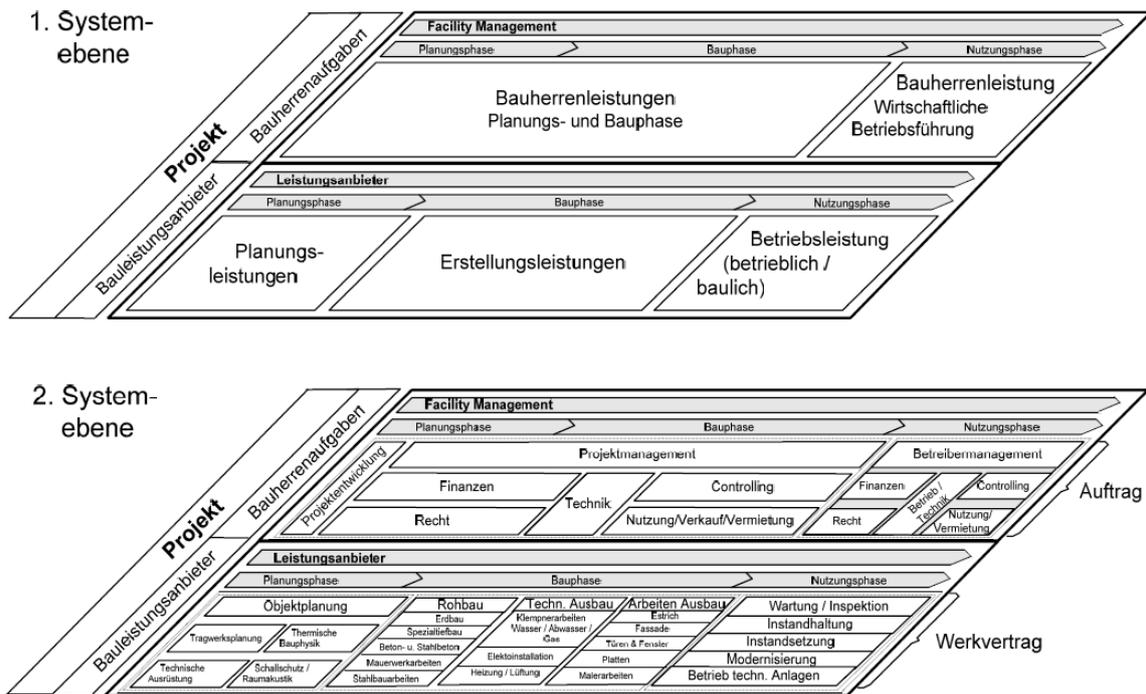


Fig. 4-10 Systématisation des services de projet [53]

Systemebene 1 : *niveau 1*, Projekt : *projet*, Bauleistungsanbieter : *Constructeur*, Bauherrnleistungen : *Tâches du constructeur*, facility management : *gestion des installations*, Planungsphase : *phase d'études*, Bauphase : *phase de réalisation*, Nutzungsphase : *phase d'exploitation*, Bauherrnleistungen : *prestations des constructeurs*, Wirtschaftliche Betriebsführung : *Gestion opérationnelle de la centrale*, Leistungsanbieter : *Fournisseur*, Planungsleistungen : *planification*, Erstellungsleistungen : *Réalisation*, Betriebsleistung (betrieblich / baulich) : *Mise en service (opérationnelle / structurelle)*

Systemebene 2 : *niveau 2*, Projektentwicklung : *élaboration du projet*, Projektmanagement : *gestion de projet*, Betreibermanagement : *gestion de l'exploitation*, Finanzen : *finances*, Recht : *Droit*, Technik : *Technique*, Controlling : *Contrôle*, Nutzung / Verkauf / vermietung : *utilisation / Vente / Location*, Betrieb / techn : *Exploitation / technologie*, Leistungsanbieter : *fournisseurs de services*, Objektplanung : *planification*, Tragwerksplanung : *conception structurelle*, Thermische Bauphysik : *Thermique du bâtiment*, Technische Ausrüstung : *Equipements techniques*, Schallschutz / Raumakustik : *Isolation phonique/acoustique des pièces*, Rohbau : *enveloppe des bâtiments*, Erdbau : *construction en terre*, Spezialtiefbau : *fondations spécifiques*, Beton- u. Stahlbau : *Construction en béton et acier*, Mauerwerkarbeiten : *ouvrages de maçonnerie*, Stahlbauarbeiten : *aciérie*, tech. ausbau : *Installations techniques (CVSE)*, Klempnerarbeiten : *travaux de plomberie*, Wasser/abwasser / gas : *Eau/eaux usées/gaz*, Elektroinstallation : *installation électrique*, Heizung / Lüftung : *Chauffage / Ventilation*, Arbeiten Ausbau : *Exécution des travaux*, Estrich : *chape*, Fassade : *façade*, Türen & Fenster : *Portes et fenêtres*, Platten : *Divers travaux*, Malerarbeiten : *travaux de peinture*, Wartung / Inspektion : *Maintenance / Contrôle*, Instandhaltung : *entretien*, Instandsetzung : *réfection*, Modernisierung : *modernisation*, Betrieb techn. Anlagen : *Exploitation des équipement techniques*

Girmscheid : Procédés de construction pour le génie civil et le bâtiment [51]

Responsabilités

Dans le cas classique, la construction est réalisée dans le triangle *maître de l'ouvrage – chef de projet – entrepreneur*. Par conséquent, il faut veiller à certains points juridiques.

Le maître de l'ouvrage :

- est tenu de participer au projet, c'est-à-dire qu'il doit prendre les décisions nécessaires en temps utile;
- doit rémunérer les services rendus conformément aux accords contractuels, c'est-à-dire qu'il est responsable du financement ;
- doit accepter la planification et réceptionner les travaux après exécution.

Le chef de projet :

- comme le maître de l'ouvrage n'a généralement que peu ou pas d'expérience, il a une position particulière en tant que consultant et représentant du maître de l'ouvrage. Cette importante relation de confiance est également soulignée à maintes reprises dans la jurisprudence;
- fournit un service et non un travail. Par conséquent, il ne doit au client qu'un service (c'est-à-dire qu'il doit prouver qu'il a travaillé sur un projet), mais pas un résultat (p. ex. pour terminer une centrale dans le délai exigé ou dans le cadre du budget).

L'entrepreneur :

- crée un ouvrage, c'est-à-dire qu'il est tenu de livrer un ouvrage sans défaut, dans les délais et dans le cadre des coûts convenus contractuellement. Un ouvrage présente un défaut s'il lui manque une certaine caractéristique qu'il devrait avoir selon le contrat de travail. L'écart par rapport au contrat constitue un défaut de travail [46];
- peut, si des modifications sont apportées au projet en cours d'exécution ou si des circonstances s'écartent de l'offre, exiger une rémunération supplémentaire et un ajustement du temps imparti.

Gauch : Le contrat d'entreprise [48]

SIA 118 [45]

Stöckli / Siegenthaler : Die Planerverträge (Contrats avec les planificateurs) [46]

Calendrier

En règle générale, un calendrier est établi pour un projet de construction. Dans le cas de projets de centrales électriques, une attention particulière doit être accordée aux points suivants en ce qui concerne le planning :

- les procédures d'autorisation peuvent prendre beaucoup de temps (6 à 12 mois au moins);
- les composants de l'installation tels que les turbines, les génératrices et les transformateurs ont des délais de livraison relativement longs (de 8 à 12 mois, plus longs pour les grandes installations);
- les travaux dans l'eau ne peuvent pas être effectués pendant certaines saisons (périodes de repos) ;
- Les travaux de construction peuvent être retardés en raison des conditions météorologiques (hiver), selon la saison.

OFEN : Planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage [31]

OFEN : Manuel Petites centrales hydrauliques [30]

Contrôle des coûts

Les coûts du projet sont déterminés selon une précision définie pour chaque étape des études, comme présenté dans la figure suivante.

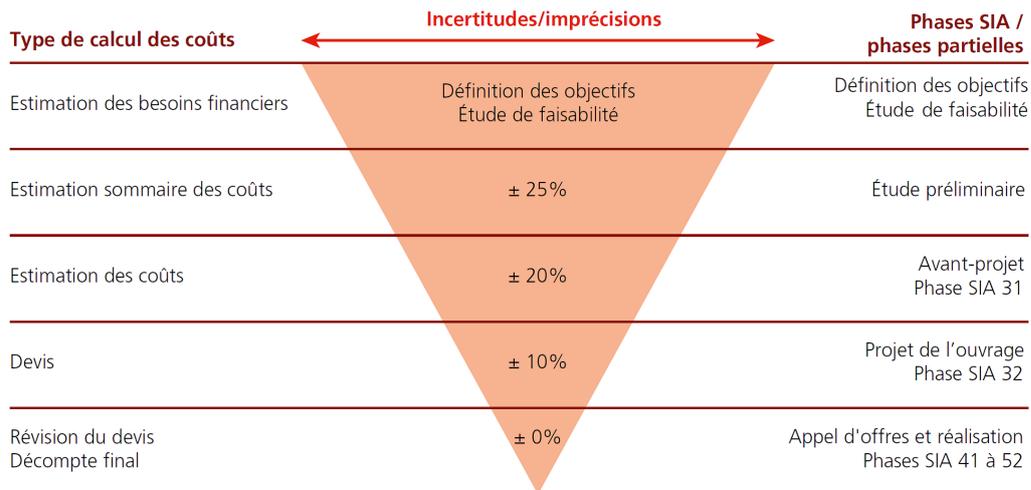


Fig. 4-11 Précision des coûts en fonction des phases d'étude SIA [32]

Dans le cadre de la détermination des coûts, le planificateur/chef de projet est uniquement responsable de la préparation professionnelle d'une prévision des coûts. Il ne peut toutefois pas être tenu responsable d'une prévision qui ne s'est pas réalisée, bien qu'établie correctement.

Lors de la mise en œuvre, le chef de projet est toutefois tenu de contrôler les coûts en permanence et d'informer le client en temps utile des coûts à prévoir. Si le chef de projet omet ce contrôle, il peut théoriquement en être tenu responsable.

Toutefois, il est recommandé que le maître de l'ouvrage établisse un système de contrôle des coûts et que le planificateur vérifie la plausibilité de l'information au cas par cas.

OFEN : Planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage [31]

Stöckli / Siegenthaler : Die Planerverträge (Contrats avec les planificateurs) [46]

4.4.3 Réception et mise en service

Au terme d'un travail (de construction), le constructeur informe le client que le travail est terminé et qu'il (le constructeur) a rempli sa part du contrat. Il convient ici de distinguer si le contrat d'entreprise se base sur la norme SIA 118 ou s'il s'agit d'un contrat de travail au sens du Code des obligations. Car le processus et les délais en dépendent. La procédure est la suivante :

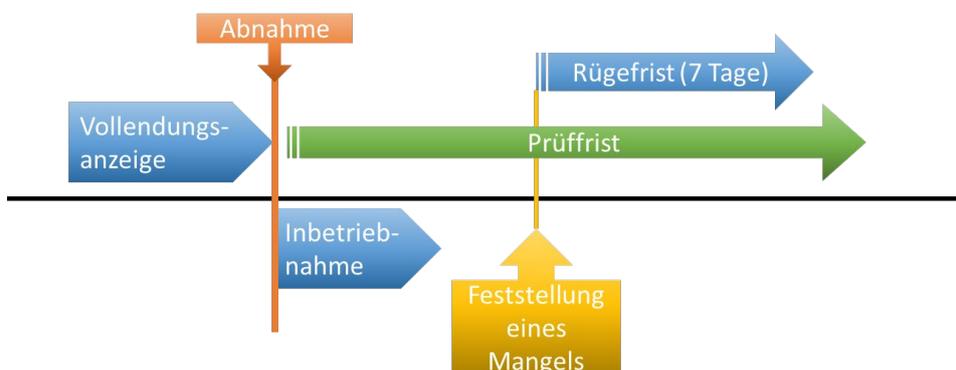


Fig. 4-12 Procédure selon le Code des obligations [52]

Vollendungsanzeige : notification d'achèvement, Abnahme : Réception, Inbetriebnahme : mise en service, Prüffrist : Période probatoire, Rügefrist : Période de garantie, Feststellung eines Mangels : Constatation d'un défaut

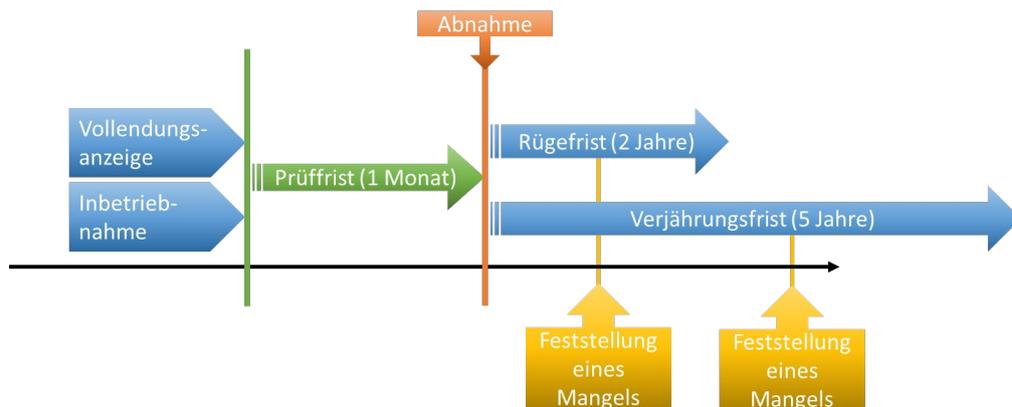


Fig. 4-13 Procédure selon la norme SIA 118 [45]

Vollendungsanzeige : *notification d'achèvement*, Inbetriebnahme : *mise en service*, Prüffrist (1 Monat) : *Période probatoire (1 mois)*, Abnahme : *Réception*, Rügefrist (2 Jahre) : *Période de garantie (2 ans)*, Feststellung eines Mangels : *constatation d'un défaut*, Verjährungsfrist (5 Jahre) : *délai de prescription (5 ans)*

Les principales différences sont :

- Selon la norme SIA 118, une visite des lieux en commun sera effectuée dans un délai d'un mois à compter de la notification d'achèvement. Ce n'est qu'alors que la réception a lieu.
- Selon la norme SIA 118, un défaut constaté lors de la période de garantie peut être signalé à tout moment dans les deux ans suivant la réception. Après l'expiration du délai de réclamation, mais toujours pendant le délai de prescription (5 ans), un défaut doit être signalé immédiatement (dans les 7 jours). Selon le CO, un défaut doit être signalé immédiatement (dans les 7 jours), mais à compter de la réception.

Gauch : Le contrat d'entreprise [48]

SIA 118 [45]

Tout au long du processus, il convient de noter que la réception est un moment défini par la loi, à partir duquel les délais de garantie (notification des défauts / délai de prescription) courent. Une réception doit être effectuée entre le maître de l'ouvrage et l'entrepreneur et faire l'objet d'un procès-verbal.

Cependant, des composants d'installation ou des matériaux peuvent déjà être soumis à des contrôles avant leur réception (essais de matériaux sur béton, essais de fonctionnement, etc.). Ils sont à la charge du client. Certaines parties de l'installation peuvent également être mises en service avant la réception. Toutefois, les travaux seront considérés comme officiellement terminés lors de la mise en service. C'est important pour ce qui concerne la responsabilité en cas de dommages causés, par exemple, par des dangers naturels. Par la mise en service, le risque est transféré de l'entrepreneur au maître de l'ouvrage.

5. Exploitation et maintenance

5.1 Pratique de l'exploitation et de l'entretien

L'exploitation de petites centrales hydrauliques se caractérise par les facteurs suivants :

- Rentabilité (optimisation de la production par rapport aux coûts d'exploitation);
- Protection de l'environnement / des eaux ;
- Protection contre les risques naturels.

5.1.1 Concept d'exploitation

Un concept d'exploitation est établi pour chaque installation. En général, il décrit d'abord l'installation dans la première partie, puis indique les spécifications d'exploitation. Voici ce qui y est réglementé :

- Organisation : Qui est responsable de quoi et qui se charge de quelles tâches ?
- Instructions d'utilisation en fonctionnement normal : Qui fait quoi et quand ? Ceci comprend également les instructions d'entretien et de maintenance. Ces indications se basent sur les spécifications des fabricants et fournisseurs. Elles seront complétées par le propriétaire de la centrale électrique au cas par cas.
- Instructions d'utilisation en fonctionnement hors marche normale: Que faire en cas de dysfonctionnement, qui a quelles tâches et quelles compétences ? Les processus pour les scénarios les plus importants sont présentés.
- Analyse de sécurité : L'accent sera mis en particulier sur la protection de l'eau et les cas d'incendie. Les autres dangers doivent être examinés au cas par cas (p. ex. glissements de terrain, etc.).

5.1.2 Rentabilité

En 2016, l'ISKB (aujourd'hui Swiss Small Hydro) a publié les résultats d'une enquête sur les coûts moyens d'exploitation et de maintenance [53]. Il en ressort clairement que plus l'installation est petite, plus les coûts par kW sont élevés. De plus, il apparaît que les centrales ont une part élevée de coûts fixes. Or, 60% des petites centrales hydrauliques font partie de la catégorie < 300 kW (voir 1.2).

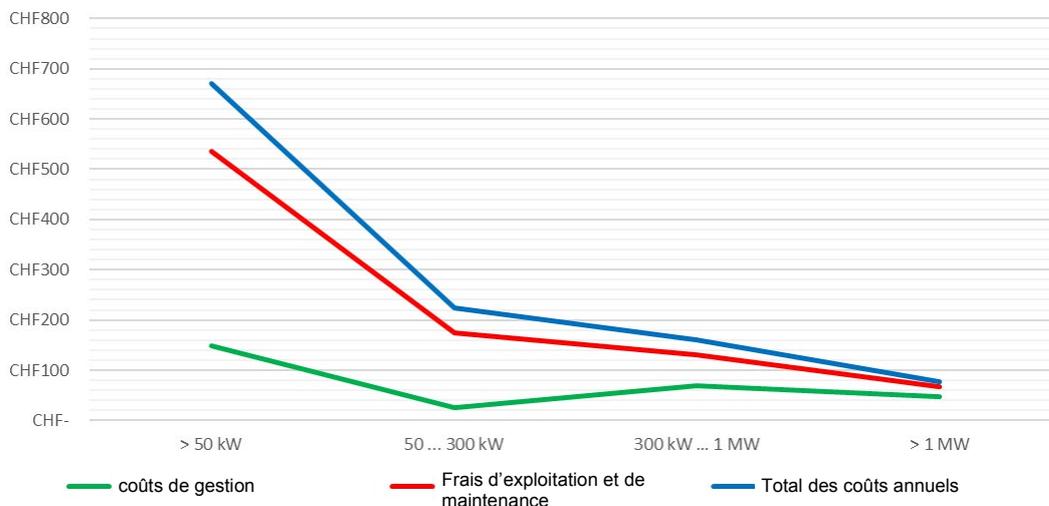


Fig. 5-1 Coûts d'exploitation et d'entretien [55]

Les coûts d'exploitation sont fortement influencés par les frais de personnel, qui représentent environ 70% des coûts. Par conséquent, l'optimisation des charges d'exploitation doit viser les points suivants :

- Installation de composants modernes et nécessitant peu d'entretien :
Les systèmes modernes ont en général des commandes automatiques et nécessitent très peu d'entretien. L'entretien se limite à des contrôles réguliers et au nettoyage occasionnel de toutes les pièces ainsi qu'à la lubrification et au graissage des pièces mobiles. Grâce à l'automatisation, une grande partie des frais de personnel peut être réduite.
- Commande à distance de l'installation
Souvent, les activités opérationnelles (sans travaux d'entretien) ne durent que quelques minutes, de sorte que le temps réel de trajet aller-retour à l'usine est souvent plus long que l'intervention à la centrale. Grâce à la télémaintenance, ces dépenses peuvent être pratiquement éliminées.
- Combinaison de l'exploitation de plusieurs installations proches les unes des autres :
La combinaison opérationnelle permet de réduire au minimum le temps « improductif » (p. ex. le temps de trajet) ou de le répartir entre les différentes installations. Les coûts par installation en seront réduits.
- Compétences techniques du préposé aux installations :
Un préposé aux installations peut effectuer lui-même des travaux simples et réduire ainsi les coûts de travaux effectués par des tiers, souvent à un coût supérieur.

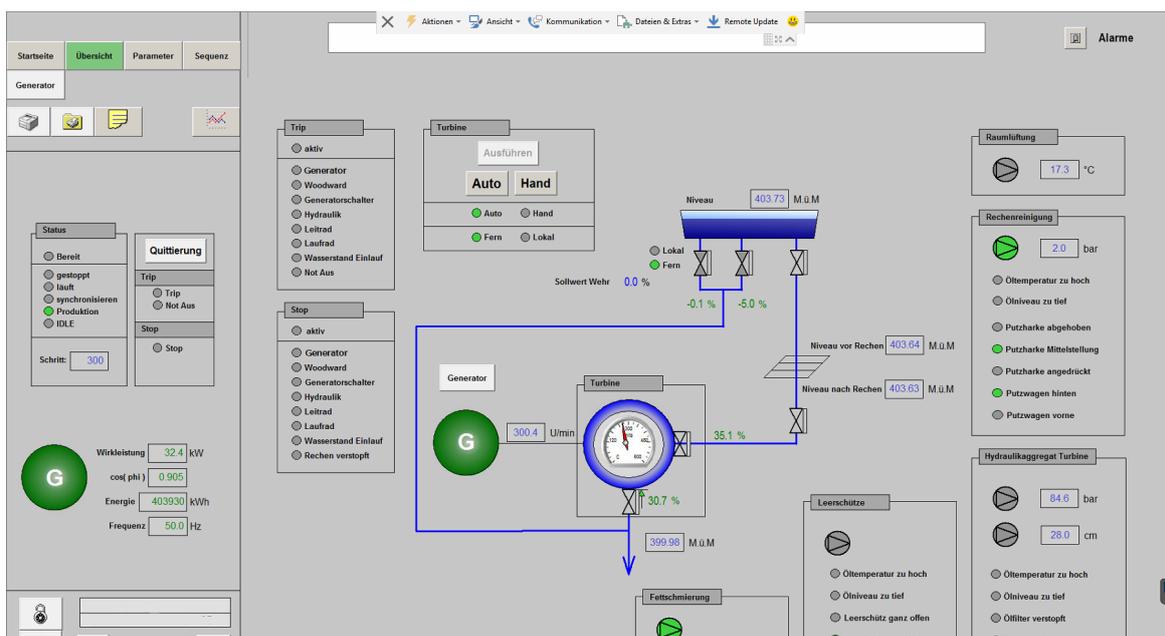


Fig. 5-2 Télémaintenance d'une PCH

5.1.3 Protection de l'environnement

En ce qui concerne la protection de l'environnement, les points suivants sont importants pour l'exploitation (voir aussi chapitre 6 et module V) :

- Protection et entretien des cours d'eau :
En règle générale, les exploitants d'installations sont responsables de l'entretien du cours d'eau dans le périmètre de la concession. Ici, il faudrait en principe mettre l'accent sur une gestion proche de la nature. Une protection opérationnelle des eaux doit également être assurée afin qu'aucun effet négatif sur la flore et la faune ne puisse être causé par la centrale électrique, en particulier dans des situations exceptionnelles (p.ex. crues).

- Circulation des poissons - il faut s'assurer que du point de vue de l'exploitation, les tronçons à débit résiduel et les passes à poissons soient constamment et suffisamment alimentés en eau.
- Élimination des débris charriés, flottants et retenus par les grilles - quoique les débris d'origine naturelle peuvent/doivent être restitués au cours d'eau.

Module V.1

OFEN : Manuel Petites centrales hydrauliques [30]

Bases juridiques / lois fédérales (LEaux, LFSP, LPE, LPN) [52]

5.2 Sécurité sur le lieu de travail

La santé et la sécurité sur le lieu de travail sont régies par l'article 6 de la loi sur le travail. L'ordonnance 3 relative à la loi sur le travail précise cette exigence en termes concrets

Dans le domaine des petites centrales hydrauliques, une attention particulière doit être accordée aux préposés des installations. Une fois que la centrale est en service, ils travaillent souvent seuls, ce qui peut comporter certains risques.

Un outil simple pour évaluer les risques est l'utilisation d'une matrice des risques. Dans cette matrice - et c'est là le facteur réducteur - chaque risque est évalué individuellement.

Probabilité	A	3	2	1	1	1
	B	3	2	1	1	1
	C	3	2	2	1	1
	D	3	2	2	2	1
	E	3	3	3	2	2
		V	IV	III	II	I
		Etendue du dommage				

Fig. 5-3 Exemple d'une matrice des risques [59]

Catégorie	Définition de la probabilité
A	Fréquent
B	Occasionnel
C	Rare
D	Improbable
E	Quasi impossible

Fig. 5-4 Définition des probabilités [59]

Zone 1	Risques importants: la sécurité n'est pas assurée
Zone 2	Risques moyens: la sécurité n'est pas assurée
Zone 3	Risques faibles: la sécurité est en grande partie assurée

Fig. 5-5 Définition des zones [59]

Aucune mesure n'est requise pour les risques professionnels situés dans la zone verte. Pour les risques de la zone jaune, des mesures visant à les réduire doivent être examinées, et pour ceux de la zone rouge, ils doivent être immédiatement évités. Dans le cas des petites centrales hydrauliques, le principal risque réside dans le fait que le préposé aux installations travaille généralement seul. Par conséquent, lors de l'évaluation de la sécurité sur le lieu de travail, il faut veiller à ce que le travail puisse être effectué sans risque inutile et que dans tous les cas une alarme puisse être déclenchée. Si nécessaire, les travaux doivent être effectués à deux.

SUVA : La sécurité dans les stations d'épuration des eaux usées [54]

SUVA : Liste de contrôle Travailleurs isolés [55]

SUVA : Huit règles vitales pour la maintenance [56]

5.3 Protection contre les crues

Les possibilités de contribuer à la protection contre les crues en cours d'exploitation sont limitées pour les petites centrales hydrauliques. Les centrales modernes au fil de l'eau peuvent utiliser des déversoirs mobiles à commande automatique à proximité pour amortir les effets des crues. En outre, la sécurité contre les crues est toujours vérifiée dans le cadre d'une modernisation et adaptée si nécessaire par des mesures appropriées.

Les mesures écologiques contribuent également à atténuer les risques de crue. En reliant les zones alluviales, il est non seulement possible d'amortir la vague de crue, mais aussi de créer et de relier des habitats. Si de telles plaines inondables sont créées en amont, il en résultera également une valeur ajoutée économique : Plus il y a de zones inondables et plus la quantité d'eau pouvant être stockée temporairement est grande, et plus grand sera le volume d'eau disponible pour la production d'énergie une fois la crue terminée.

Sur le plan opérationnel, il faut cependant prendre des mesures pour assurer la transmission sûre des crues. Par exemple, si une crue est annoncée, l'installation peut être arrêtée à temps, les déversoirs peuvent être ouverts ou fermés. Des mesures structurelles peuvent également être prises pour renforcer la protection contre les crues. De telles mesures, ainsi que l'élimination continue des débris flottants, contribuent à la protection contre les crues, p.ex. pour éviter la formation d'un embâcle par le bois flottant (= obstruction du lit avec effet de barrage).

Association suisse pour l'aménagement des eaux [58]

6. Mise en œuvre technique de mesures écologiques

6.1 Sédimentation et matériaux flottants

Le charriage est une fonction caractéristique et déterminante des cours d'eau. Le transit des matières charriées par les eaux de surface remplace les matériaux érodés par les crues et conduit à un renouvellement régulier des bancs de gravier et du substrat. Sans apport suffisant en matière solide de l'amont, le cours d'eau est nettoyé de ses graviers, et il se crée une semelle au fond du lit. Sans contremesures, le lit peut s'approfondir. Ces processus entraînent une dégradation croissante de l'habitat. Par exemple, le régime de charriage régule la hauteur du lit et contrôle ainsi le niveau des eaux souterraines et, si nécessaire, le fonctionnement des zones alluviales. Ces dernières peuvent être irréversiblement découplées du réseau fluvial par la tendance à s'approfondir. Le régime de charriage des cours d'eau suisses doit être évalué de manière très différenciée. D'une part, il y a des cours d'eau qui, en raison d'interventions humaines, ne transportent pratiquement aucune matière charriée et dont le régime de charriage est par conséquent gravement compromis. D'autre part, certains cours d'eau ont un surplus de sédiments et dans lesquels la sédimentation indésirable ne peut être évitée que par l'extraction de gravier. [59]

Des mesures structurelles et opérationnelles peuvent être prises en plus de l'agencement habile de la centrale au fil de l'eau, pour by-passer le transit des matières charriées. La structure du système offre des possibilités comme les seuils de séparation avec des canaux de collecte et de rinçage du charriage ou des vannes de rinçage directement devant la grille. En cas de crue en particulier, il est possible de by-passer le charriage « lui-même » au moyen d'une régulation appropriée du barrage.

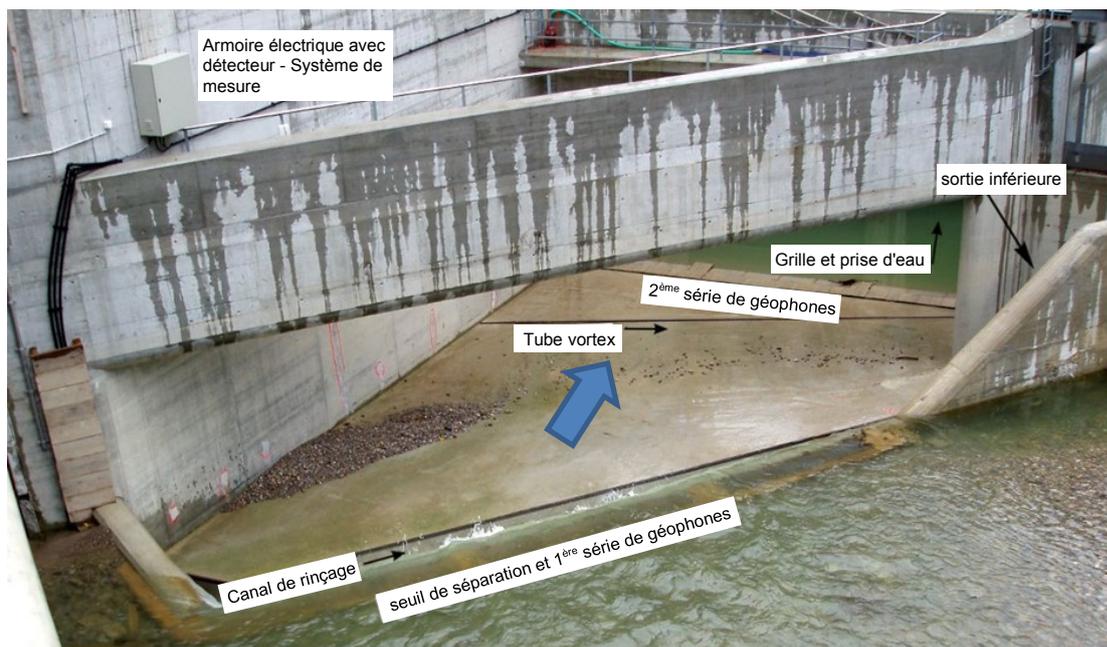


Fig. 6-1 Mise en œuvre dans la centrale de Mühlau [60]

OFEN : DIANE 10 - Dépôts alluviaux dans les petites centrales hydroélectriques. Optimisation du captage d'eau [61]

OFEV - Charriage [59]

Revue Eau, Energie, Air : Gestion du charriage dans les petites centrales hydrauliques [60]

OFEN : Pollution de petites centrales hydrauliques [62]

6.2 Circulation des poissons

La loi fédérale sur la pêche de 1991 stipule que toute intervention technique sur un cours d'eau doit garantir la libre circulation des poissons. La loi révisée sur la protection des eaux, entrée en vigueur en 2011, oblige les propriétaires de centrales hydrauliques à éliminer d'ici 2030 les atteintes à l'environnement causées par l'utilisation de l'énergie hydraulique. Il s'agit notamment des entraves à la migration des poissons. Les obstacles qui entravent considérablement la migration des poissons doivent être éliminés. Les propriétaires concernés sont pleinement indemnisés pour le faire, y compris pour ce qui concerne les contrôles du résultat ultérieurs. Les fonds utilisés proviennent d'un supplément payé pour le transport de l'électricité sur les réseaux haute tension et sont financés par les consommateurs d'électricité. Les recettes de cette taxe perçue depuis 2012 s'élèvent à environ 50 millions de francs par année. [63]

Échelles à poissons

Les échelles à poissons peuvent être classifiées en passes quasi naturelles ou techniques :

- Installations quasi naturelles :
 - Canal de contournement: présentant de nombreuses caractéristiques propres aux cours d'eau naturels, il s'agit généralement de la meilleure solution du point de vue de la pêche, mais elle nécessite un espace relativement important.



[64]

- Rampe en enrochements / passe rustique : La passe à poissons rustique est une solution intermédiaire entre un canal en dérivation quasi naturel et une passe à poissons technique.



- Passe à bassins quasi naturelle :



[66]

- Échelles techniques :

- Passe à bassins successifs : Il s'agit d'une ancienne forme d'échelle à poissons relativement encombrante. Aujourd'hui, ces passes ne se font plus que rarement car non optimales pour les poissons. De plus, elles demandent un entretien relativement conséquent.

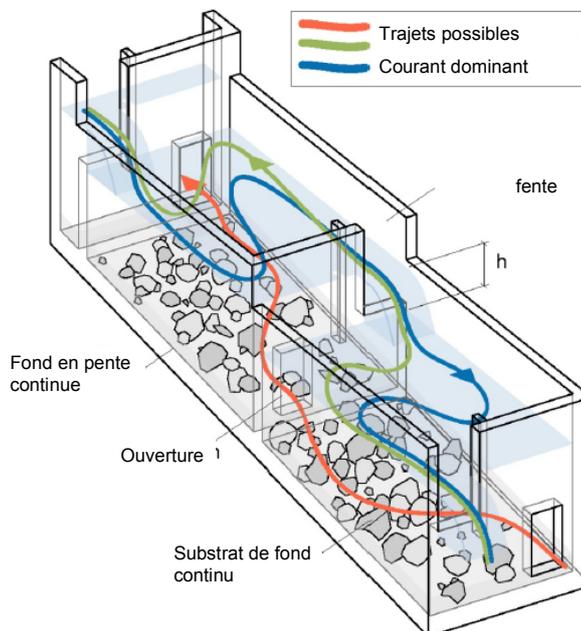


Fig. 6-2 Passe technique à bassins successifs [66]

- Passe à fentes verticales : La passe à fentes verticales (Vertical Slot) est une forme plus élaborée de passe à bassins, ne nécessitant que relativement peu d'entretien. C'est une solution adaptée aux seuils relativement hauts et aux espaces étroits .



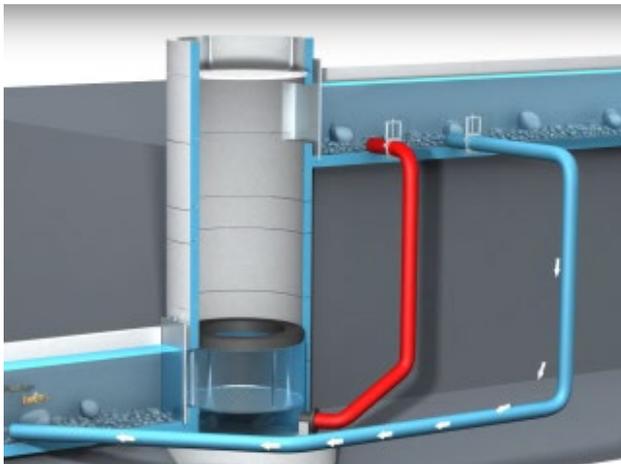
[64]

- Passe à brosse : cette passe se compose de brosse élastiques et perméables qui remplacent les éléments séparateurs rigides (comme ceux de la passe à bassins). Les brosse contribuent à une transformation efficace en énergie et offrent des espaces de repos supplémentaires aux poissons.



[64]

- Écluses et ascenseurs à poissons : Les développements récents visent à essayer de faire passer les poissons par-dessus un obstacle avec des techniques provenant d'autres domaines d'application. Les options sont, p.ex., les écluses ou les ascenseurs à poissons. Jusqu'à présent, ces systèmes n'ont été utilisés que de manière très sporadique.



[67]

- Élévateur à vis sans fin pour poissons : Une vis d'Archimède permet de remonter l'eau et avec elle, les poissons et autres organismes qu'elle contient. Il existe également des solutions à vis sans fin combinée, à l'intérieur de laquelle les poissons peuvent remonter et où l'eau est conduite à l'extérieur pour le turbinage tout en permettant la dévalaison des poissons. [68]

Coûts et avantages des échelles à poissons

Outre son encombrement souvent conséquent, une échelle à poissons coûte cher à construire (jusqu'à plusieurs centaines de milliers de CHF), ce qui rend difficile la mise en oeuvre de nouveaux projets. Toutefois, grâce au soutien financier de la Confédération, la rénovation des installations existantes est plus facile à réaliser. L'augmentation des besoins en espace peut entraîner des conflits d'utilisation sur les sites existants. En l'occurrence, les besoins supplémentaires en eau non turbinable pour l'alimentation de la passe à poissons peuvent réduire la rentabilité d'une centrale.

Systemes de dévalaison des poissons

Les solutions pour la dévalaison des poissons ne sont pas encore aussi développées que pour la montaison. Pour les petites centrales hydrauliques, une solution éprouvée consiste à combiner une grille à barres horizontales avec un bypass. [69]



Fig. 6-3 Étude du comportement des poissons en amont d'une grille à barres horizontales [69]



Fig. 6-4 Grille à barres horizontales avec by-pass à poissons à la centrale Hämmerli

Sur le marché, on peut également trouver quelques turbines développées de manière à assurer la dévalaison au moins à certaines espèces de poissons.

Office bavarois de l'environnement : Échelles à poissons en Bavière [65]

DWA-Merkblatt 509: Échelles à poissons et constructions avec passe à poissons - conception, dimensionnement, assurance qualité [70]

DWA WW-8.1 : Protection des poissons et systèmes de dévalaison des poissons- dimensionnement, conception, contrôle du fonctionnement [71]

Dr Guntram Ebel : Protection et dévalaison des poissons dans les centrales hydrauliques [73]

6.3 Effets d'éclusées (fluctuations abruptes de débit)

En cours de journée, des pointes de consommation se produisent le matin et en fin d'après-midi. Par contre, le besoin en électricité pendant les heures nocturnes diminue considérablement. En Suisse, seules les centrales à accumulation et les installations de pompage-turbinage permettent d'adapter rapidement la production à la demande. Lorsque la consommation d'électricité augmente le matin, les centrales à accumulation doivent turbiner plus d'eau et restituent ainsi plus d'eau dans le cours d'eau. Il en résulte une augmentation abrupte de débit. Pendant la nuit, les besoins en électricité des consommateurs (industrie, transports et ménages) diminuent à un point tel qu'ils peuvent être couverts par des centrales électriques de base (centrales nucléaires et centrales au fil de l'eau). Les centrales à accumulation réduisent alors leur puissance ou sont complètement arrêtées, soit une diminution abrupte de débit. Sans cette régulation de puissance par les centrales à accumulation, une exploitation fiable du réseau électrique ne serait pas possible. [73, 74]

Illustration tirée de Baumann et Klaus (2003), adaptée. Ces paramètres ont été établis à partir de données mesurées à intervalles de ≤ 10 minutes.

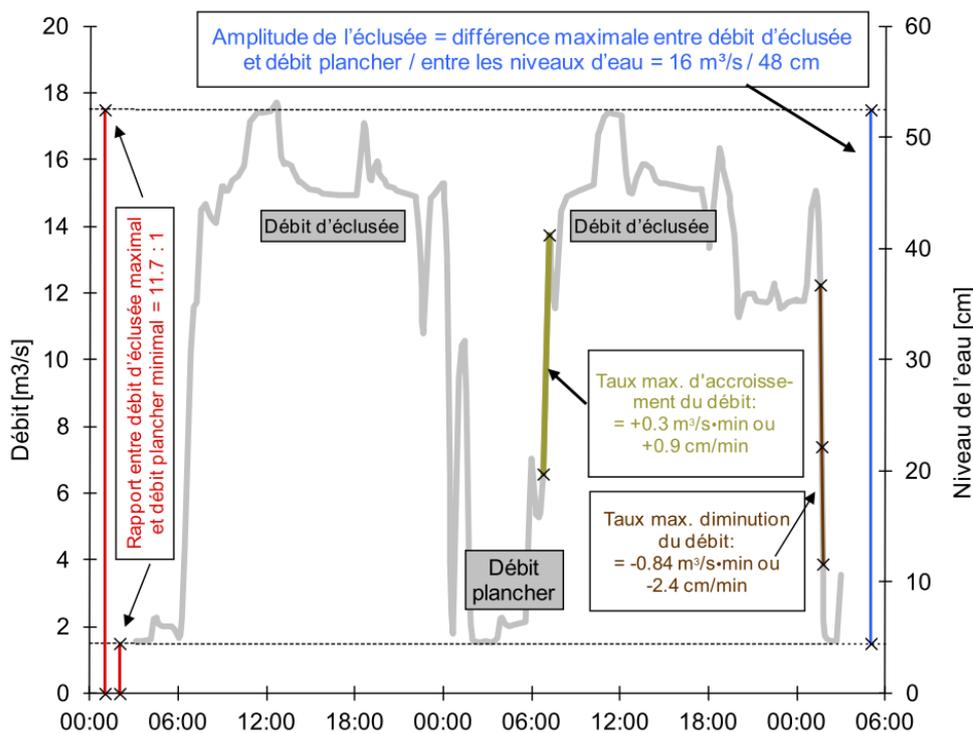


Fig. 6-5 Valeurs clés importantes de l'effet d'éclusées, représentées par la courbe de débit ou niveau d'eau [75]

Pour les petites centrales hydrauliques, le sujet de l'effet d'éclusées a considérablement diminué. En effet, alors que par le passé, les centrales étaient produites en fonction des besoins de l'industrie raccordée, les modèles actuels de tarifs de rachat n'incitent plus à la production d'énergie de pointe. C'est pourquoi les petites centrales hydrauliques produisent déjà aujourd'hui la plupart du temps avec les débits disponibles en continu (24h/24, 7j/7). Les systèmes de régulation actuels peuvent même absorber les variations de charge sur la turbine de telle sorte que l'effet d'éclusées sur les cours d'eau reste faible.

6.4 Débit résiduel

Pour que les cours d'eau puissent remplir leurs fonctions naturelles, il faut qu'il y ait suffisamment d'eau dans leurs lits en aval des points de captage d'eau. Ce débit d'eau, appelé débit résiduel, est régi par la loi sur la protection des eaux, entrée en vigueur initialement en 1992. Il doit garantir les diverses fonctions naturelles des eaux : que ce soit comme habitat pour la faune et la flore, comme élément du paysage ou pour alimenter les nappes phréatiques.

La loi stipule comment les débits résiduels appropriés doivent être déterminés pour l'autorisation de prélèvements d'eau. Cela vaut tant pour les nouveaux prélèvements d'eau que pour ceux existants pour lesquels la concession doit être renouvelée. La détermination du débit résiduel conformément à la loi sur la protection des eaux (LEaux) est basée sur le débit Q_{347} , qui est le débit atteint ou dépassé 347 jours par an. L'art. 31 de la LEaux régit la part de ce débit devant toujours rester dans le cours d'eau. Toutefois, les cantons déterminent séparément pour chaque cours d'eau et chaque point de captage le débit résiduel approprié. Des éléments tels que la garantie d'une profondeur d'eau minimale pour une libre circulation des poissons, peuvent également être pris en compte.

Les effets des débits résiduels prescrits ont également été pris en compte dans le calcul du potentiel d'expansion de l'hydroélectricité dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050.

OFEN : **Newsletter Petites centrales hydrauliques no 22** [75]
OFEN : Étude concernant le potentiel de développement hydroélectrique en Suisse [76]

La mise en œuvre peut se faire de différentes manières. Une pure dotation du débit résiduel peut être obtenue par des mesures de construction au prélèvement ou sur sa conception géométrique. De plus, une partie du débit résiduel peut également être utilisée en faveur de la circulation des poissons, par des mesures combinées telles que p.ex. des canaux de contournement. Dans tous les cas, il faut toutefois veiller à ce que le débit résiduel soit assuré dans toutes les conditions d'exploitation de la centrale électrique.

Énergie à partir du débit résiduel

Dans une certaine mesure, les stations de turbinage de dotation sont des centrales dans des centrales électriques. Intégrées dans le système de déversoirs des sites, elles utilisent le débit résiduel prescrit par la loi sur la protection des eaux.

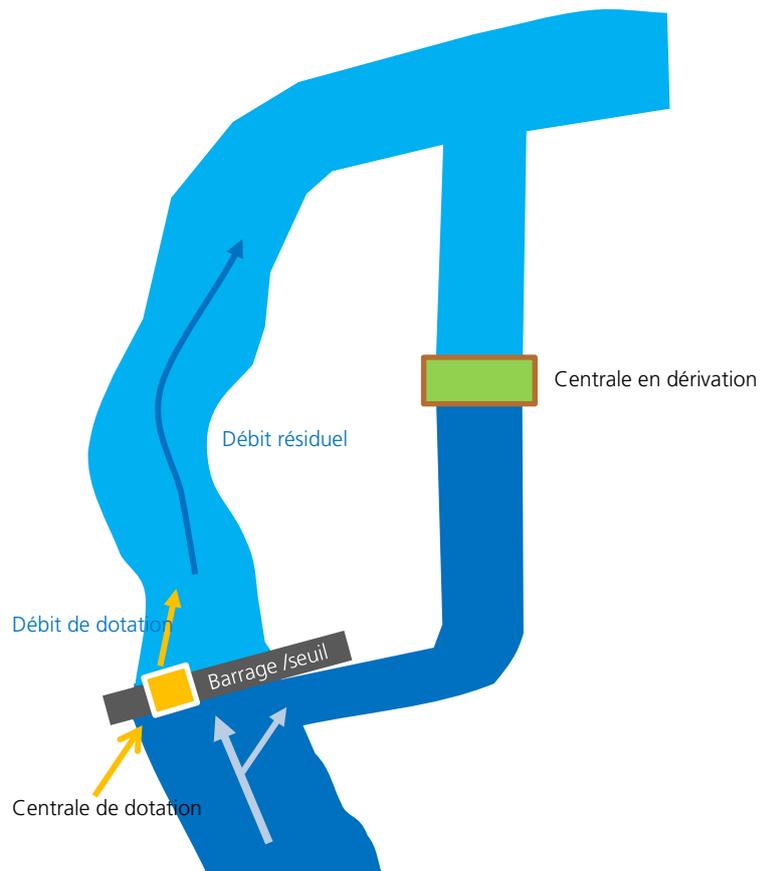


Fig. 6-6 Schéma d'une station de turbinage de dotation intégrée dans le barrage

7. Liste des sources

La liste suivante a été entièrement mise à jour en octobre 2019.

1. Office fédéral de l'énergie, «Force hydraulique» : <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/energies-renouvelables/force-hydraulique.html>
2. Office fédéral de l'énergie, «Programme Petites centrales hydrauliques»: www.petitehydraulique.ch
3. OFEN : liste des publications PACER : https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.PDF/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnlvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMjM1OS50REY=.PDF
4. Bayrische Landeskraftwerke: <http://www.landeskraftwerke.de>
5. Mhylab, Turbine Diagonale: <http://www.mhylab.com/petite-hydro/types-de-turbines/diagonale.html>
6. Energypedia, «Micro Hydro Power (MHP) Manuals» : [https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_\(MHP\)_Manuals](https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_(MHP)_Manuals)
7. Sulmkraft GmbH
8. Office fédéral de l'énergie, Technologies délaissées pour les prises d'eau- seuils gonflables et tôles perforées comme alternatives, «Vernachlässigte Technologien für Wasserrfassungen - Schlauchwehr und Lochblechrechen als Alternative» 2006, en allemand.
9. J. Giesecke, S. Heimerl und E. Mosonyi, Wasserkraftanlagen, Berlin / Heidelberg: Springer Vieweg, 2014, en allemand.
10. Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur, «Wasserrfassungen mit Coanda Rechen», en allemand.
11. J. J. Strong und R. F. Ott, «Intake Screens for Small Hydro Plants»: Hydro Review, <http://www.efsfiler.com/pdf/HCI%20article001.pdf> 1988, en anglais.
12. Technische Universität Dresden, «Das Piano-Key-Wehr: Messungen an einem innovativen Wehrtyp für kleine Wasserstrasse» : http://vzb.baw.de/publikationen/dresdner-wasserbauliche-mitteilungen/0/12_Heft_53_Belzner_Piano-Key-Wehr.pdf - en allemand.
13. European Small Hydropower Association (ESHA), «Layman's Guide on how to design a small micro-hydro site», juin 1998: <http://www.microhydropower.net/download/layman2.pdf> - en anglais
14. energie.ch, «Wasserturbinen»: <http://www.energie.ch/wasserturbinen> - en allemand
15. Office fédéral de l'énergie, «Pressemappe Kleinwasserkraft»: <https://docplayer.org/43201175-Programm-kleinwasserkraftwerke-kleinwasserkraft-pressemappe.html> - en allemand
16. Swissgrid: www.swissgrid.ch
17. Hydro-Connect GmbH, «Stromproduzierende Fischwanderhilfe» : www.hydroconnect.at – en allemand et en anglais
18. BKW AG, «BKW Blog» : <http://blog.bkw.ch/tag/regelenergie/>
19. Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie du canton de Berne, « Évaluation de la durabilité » : https://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/ueber-die-direktion/dossiers/nachhaltige_entwicklungne/nachhaltigkeitsbeurteilung.html
20. Revita GmbH, «Revita Gegendruckturbine» : <http://revita.ch/www/turbine.htm> - en allemand
21. Häny AG, Pelton à contre-pression : https://www.haeny.com/fileadmin/user_upload/Referenzen/Turbinen/referenz_GDPT_all.pdf
22. Centre de compétence suisse pour la recherche énergétique - approvisionnement en électricité «SCCER-SoE, Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity» : <http://www.sccer-soe.ch> - en anglais-
23. Office fédéral de l'énergie, « Recherche et développement» : <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/mesures-d-encouragement/recherche-et-developpement.html> - <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/recherche-et-cleantech/programmes-de-recherche/force-hydraulique.html>
24. Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, «Wasserkraftkonzept Schachtkraftwerk» : <https://www.wb.bgu.tum.de/schachtkraftwerk/> - en allemand -
25. Office fédéral de l'énergie, «Evaluation von Ultra-Niederdruckkonzepten für Schweizer Flüsse» : <https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=27610>
26. Small hydro action for the promotion of efficient solutions (SHAPES), «Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants» : http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2010_06_07_Mhylab%20&%20ESHA_Energy%20recovery%20n%20existing%20infrastructures%20with%20small%20hydropower%20plants.pdf

27. SSIIGE, Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux, <http://www.svgw.ch>, Energie in der Wasserversorgung, 2004.
28. SSIIGE, Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux, Réglementation eau, <http://www.svgw.ch/index.php?id=177&id=177&L=1>
29. Office fédéral de l'énergie, Programme DIANE, L'Eau potable génératrice d'électricité, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZnVlc3VjaGU=.html?keywords=&q=L%27eau+potable+&from=&to=&nr=>
30. Société suisse des ingénieurs et des architectes, SIA 112:2014 Étude et conduite de projet, 2014, <http://www.sia.ch/fr/services/articles-contributions/detail/article/sia-112-modele-etude-et-conduite-de-projet/>
31. Office fédéral de l'énergie, «Guide organe responsable, coopérations et financement de petites centrales hydrauliques», 2014: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZnVlc3VjaGU=.html?keywords=&q=guide+organe+responsable+petites+centrales+hydrauliques&from=&to=&nr=>
32. Office fédéral de l'énergie, «Manuel Petites centrales hydrauliques», 2012 : http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/Manuel_Petites_Centrales_Hydroelectr_2012-dec.pdf
33. Office fédéral de l'énergie, «Petites centrales hydrauliques, planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage» : <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/8376.pdf>
34. Office fédéral de l'énergie, «Fiche d'information 3 Exigences pour les études préliminaires et les études sommaires» : <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/4432.pdf>
35. Canton de Thurgovie, office de géo-information, «Thur GIS Viewer» : <https://map.geo.tg.ch/apps/mf-geoadmin3/?lang=de&topic=ech>
36. Office fédéral de l'environnement, «Données hydrologiques, Station Töss - Neftenbach» : <http://www.hydrodaten.admin.ch/de/2132.html>
37. Académie des sciences naturelles «Régimes d'écoulement» : https://sciencesnaturelles.ch/topics/water/water_balance/runoff/runoff_formation?_ga=2.128897230.391482881.1571138042-1600335996.1571138042
38. Office fédéral de l'environnement / Université de Berne, «Atlas hydrologique de la Suisse» : <http://hydrologischeratlas.ch>
39. Office fédéral de l'environnement, «Etat des eaux» : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/etat-des-eaux.html>
40. A. Harvey, Micro-Hydro Design Manual - A guide to small-scale water power schemes, ITDG Publishing, 1993
41. A.R. Inversin, Micro-Hydropower Sourcebook, Arlington, VA: NRECA International Foundation, 1986
42. Conférence des Services cantonaux de géoinformation, «Géoportails cantonaux» : <https://www.kkgeo.ch/fr/geodonnees/geoportails-cantonaux>
43. Office fédéral de l'énergie, Rénover au lieu d'abandonner (DIANE 10). Modernisation et remise en service des petites centrales hydrauliques - Critères d'évaluation - https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/_jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnVlcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxyYWQvMjA5OS5wZGY=.pdf
44. Arrêté du Tribunal fédéral sur les droits d'eau perpétuel, mars 2019, en allemand https://www.bger.ch/ext/eurospider/live/de/php/aza/http/index.php?lang=de&type=highlight_simple_query&page=1&from_date=&to_date=&sort=relevance&insertion_date=&top_subcollection_aza=all&query_words=Hammer&rank=9&azaclir=aza&highlight_docid=aza%3A%2F%2F29-03-2019-1C_631-2017&number_of_ranks=62
45. P. Galli, A. Moser, E. Lang und M. Steiner, Praxis des öffentlichen Beschaffungsrechts, Zürich / Basel / Genf: Schulthess Juristische Medien AG, 2013.
46. M. Kurer, C. Quinto und W. (Maffioletti, Handbuch zum Bauwesen, Zürich / St. Gallen: Dike Verlag AG, 2012.
47. Société suisse des ingénieurs et des architectes, SIA 118:2013 Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction, 2013, <http://shop.sia.ch/collection%20des%20normes/ing%C3%A9nieur/sia%20118/f/2013/F/Product>
48. H. Stöckli und T. Siegenthaler, Die Planerverträge, Zürich: Schulthess Juristische Medien AG, 2013.
49. H. R. Spiess und M.-T. Huser, Norm SIA 118, Bern: Stämpfli Verlag AG, 2014.
50. P. Gauch, Der Werkvertrag, Zürich: Schulthess Juristische Medien AG, 2011.

51. Société suisse des ingénieurs et des architectes, SIA 103:2014 Règlement concernant les prestations et honoraires des ingénieurs et ingénieures civils, 2014, <http://shop.sia.ch/collection%20des%20normes/ing%C3%A9neur/sia%20103/f/2014/F/Product>
52. H. Stöckli und M. Beyeler, Das Vergaberecht der Schweiz, Zürich: Schulthess Juristische Medien AG, 2014.
53. G. Girmscheid, «Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus», Procédés de construction pour le génie civil et le bâtiment, 2015: http://www.cttconsulting.ch/skripte_bauprozess.htm
54. Confédération suisse, « Recueil systématique du droit fédéral (RS) » : <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/droit-federal/recueil-systematique.html>
55. Swiss Small Hydro - Interessenverband Schweizer Kleinkraftwerk-Besitzer ISKB, «Umfrage Betriebs- und Unterhaltskosten Kleinwasserkraft», Enquête sur les coûts d'exploitation et d'entretien des petites centrales hydroélectriques, en allemand, 2016: <http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2016/02/Bericht-Betriebskosten-KWKW-v1.1-mit-Anhang.pdf>
56. SUVA, « La sécurité dans les stations d'épuration des eaux usées » : <https://www.suva.ch/de-CH/material/Dokumentationen/sichere-klaeranlagen>
57. SUVA, «Checkliste: Travailleurs isolés » : <https://www.suva.ch/de-CH/material/Checkliste/allein-arbeitende-personen-67023d1582515825>
58. SUVA, « Huit règles vitales pour la maintenance » : <https://www.suva.ch/de-CH/material/Sicherheitsregeln-Tipps/acht-lebenswichtige-regeln-fuer-die-instandhaltung-faltprospekt-84040d-36421-36421>
59. SUVA, Méthode SUVA d'appréciation des risques à des postes de travail et lors de processus de travail, <https://www.suva.ch/fr-CH/materiel/documentation/methode-suva-d-appreciation-des-risques-a-des-postes-de-travail-et-lors-de-processus-de-travail>
60. Association suisse pour l'aménagement des eaux, « protection contre les crues et hydroélectricité » (en allemand) : <https://www.swv.ch/Aktuelles/Archiv-2014/Hochwasserschutz-und-Wasserkraft>
61. Office fédéral de l'environnement, «Charriage» : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/mesures-pour-la-protection-des-eaux/renaturation-des-eaux/charriage.html>
62. Revue Eau, Energie, Air, n°2/2013, «Bewältigung von Geschiebe an Kleinwasserkraftanlagen» (Gestion du charriage dans les petites centrales hydroélectriques), en allemand: https://issuu.com/swv_wel/docs/wel_2_2013/7
63. Office fédéral de l'énergie, Diane 10, « Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken. Optimierung der Wasserfassung" (Dépôts alluviaux dans les petites centrales hydroélectriques. Optimisation du captage d'eau), en allemand <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/1365.pdf>
64. Office fédéral de l'énergie, «Verschmutzung von Kleinwasserkraftanlagen» (Pollution des petites centrales hydroélectriques), en allemand: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=29477>
65. Office fédéral de l'environnement, «Restauration de la migration des poissons » : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/mesures-pour-la-protection-des-eaux/renaturation-des-eaux/restauration-de-la-migration-des-poissons.html>
66. Direction de l'économie publique, Canton de Berne, «Passes à poissons» : https://www.vol.be.ch/vol/fr/index/natur/fischerei/naturnahe_gewaessergestaltung/fischaufstiegshilfen.html
67. Office bavarois de l'environnement, "Praxishandbuch Fischaufstiegsanlagen in Bayern" (manuel pratique pour les passes à poissons en Bavière) , 2016, en allemand : <http://lfvbayern.de/download/fischaufstiegsanlagen-in-bayern>
68. Fichtner GmbH, Dr. Stephan Heimerl, «Beckenartige Fischaufstiegsanlagen - Grundlagen und Konstruktion» (Échelles à poissons en bassins - notions de base et construction), en allemand, 2014: <https://wa21.ch/wp-content/uploads/2017/10/Ausschreibung-Tagung-2014.pdf>
69. DI Bernhard Monai, Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, «3D Animation Fischliftschleuse» (écluse pour ascenseur à poissons), en allemand : <http://www.der-wasserwirt.at/artikel/3d-animation-fischliftschleuse>
70. Fishcon, Montaison, dévalaison des poissons et turbinage avec deux vis hydrauliques, en allemand et en anglais : <https://www.fishcon.at/deutsch/technologie/>
71. Ecole polytechnique de Zurich, ETHZ, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, « systèmes by-pass en grille horizontale », 2019 : <https://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2019/05/06-Meister-Rev3-FR-1.pdf>
72. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Association allemande pour la gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets), DWA-Merkblatt 509: Échelles à poissons et constructions avec passe à poissons -conception, dimensionnement, assurance qualité, en allemand et en anglais, 2016 : <http://www.dwa.de/dwa/shop/shop.nsf/Produktanzeige?openform&produktid=P-DWAA-9KC89Q>
73. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Association allemande pour la gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets), DWA WW-8.1 : Protection des poissons et systèmes de dévalaison

- des poissons- dimensionnement, conception, contrôle du fonctionnement, en allemand et en anglais, 2005 : <http://www.dwa.de/dwa/shop/shop.nsf/Produktanzeige?openform&searchhitshow=1&produktid=P-DWAA-7D6LJB>
74. Dr Guntram Ebel : Protection et dévalaison des poissons dans les centrales hydrauliques, 2019 : [https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/EBEL_Richtigstellungen zum Vortrag von Prof. Dr. Boris Lehmann.pdf](https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/EBEL_Richtigstellungen_zum_Vortrag_von_Prof._Dr._Boris_Lehmann.pdf)
75. Office fédéral de l'environnement, « Assainissement des éclusées – Planification stratégique », 2012 : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/assainissement-eclusees-planification-strategique.html>
76. Office fédéral de l'environnement, « Effet d'éclusée » : https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/mesures-pour-la-protection-des-eaux/renaturation-des-eaux/effet-d_eclusee.html
77. Office fédéral de l'énergie, « Newsletter Petite hydraulique n°22 » : https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/_jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnlvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvNzQyOS5wZGY=.pdf
78. Office fédéral de l'énergie, Étude concernant le potentiel de développement hydroélectrique en Suisse, 2019 : <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-76258.html>
79. Office fédéral des eaux et de la géologie , « La redevance hydraulique - principale taxe frappant l'utilisation de la force hydraulique en Suisse », 2002: https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/_jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnlvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvOTQzLnBkZg==.pdf

SuisseEnergie

Office fédéral de l'énergie, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; adresse postale: CH-3003 Berne
Tél. 058 462 56 11, fax 058 463 25 00; contact@bfe.admin.ch; www.suisseenergie.ch