

Petite hydraulique

Module V Aspects environnementaux et socio-économiques



Client

SuisseEnergie, 3003 Berne

Mandataires

INFRAS Forschung und Beratung, Binzstrasse 23, 8045 Zürich, www.infras.ch

Ecosens AG, Grindelstrasse 5, 8304 Wallisellen, www.ecosens.ch

Auteur(s)

Anik Kohli, Rolf Iten, Anna Vettori (INFRAS)

Daniel Sabathy, Christoph Erdin (Ecosens AG)

Coordination de la documentation générale pour petite hydroélectricité

Skat Consulting AG, Vadianstrasse 42, 9000 St. Gallen, www.skat.ch

Dr. Hedi Feibel, Martin Bölli

Personnes d'accompagnement OFEN

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 (octobre 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.	Les points de vue environnementaux	6
1.1	Principaux points de vue environnementaux	6
1.1.1	Écologie des cours d'eau	6
1.1.2	Protection de la nature et du paysage.....	16
1.1.3	Impact sur l'environnement	17
1.1.4	Certification environnementale.....	18
1.2	Aspects liés au climat.....	19
1.2.1	Les petites centrales hydroélectriques contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre	19
1.2.2	Impacts du changement climatique sur les petites centrales hydroélectriques	22
1.3	Bilans énergétiques des petites centrales hydroélectriques	24
1.3.1	Concepts	24
1.3.2	Bilans énergétiques des petites centrales hydroélectriques par rapport aux autres centrales électriques	26
1.3.3	Effets externes des petites centrales hydroélectriques	26
2.	Aspects sociaux.....	28
2.1	Conflits d'utilisation.....	28
2.1.1	Description des conflits d'utilisation	28
2.1.2	Options pour réduire les conflits d'utilisation	31
2.2	Protection des monuments historiques	32
2.3	Relations publiques.....	33
	Glossaire	35
	Bibliographie	36

Liste des illustrations

Fig. 1	En raison de la faible quantité d'eau résiduelle, des sédiments fins se déposent entre les pierres, ce qui entraîne le pavage du lit (colmatage).	7
Fig. 2	Bancs de graviers créés par un régime de charriage naturel	10
Fig. 3	Extrait de la carte nationale montrant les chutes > 50 cm, naturelles (en bleu) et artificielles (en rouge) dans la continuité des cours d'eau.....	13
Fig. 4	Exemples d'une échelle à poissons naturelle (en haut) et d'une passe à bassins (en bas).....	14
Fig. 5	Le seuil de l'ancienne installation et le dégrilleur (à gauche)	16
Fig. 6	Comparaison entre la production d'été et celle d'hiver	23
Fig. 7	Les flux d'énergie de base dans un processus de production électrique	25
Fig. 8	Fonctions des eaux et vue d'ensemble de la gestion intégrée des eaux.....	29
Fig. 9	Matrice pour la pesée des intérêts de protection et d'utilisation de cours d'eau.....	31

Abréviations

ADUR	Association des Usiniers Romands (aujourd'hui SSH)
ARE	Office fédéral du développement territorial
Cst.	Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999, RS 101
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DAE	Durée d'amortissement de l'énergie
EIE	Étude d'impact sur l'environnement
ESTI	Inspection fédérale des installations à courant fort
ISKB	Interessenverband Schweizer Kleinkraftwerk-Besitzer, association suisse des propriétaires de petites centrales (aujourd'hui SSH)
LAT	Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (loi sur l'aménagement du territoire) du 22 juin 1979, RS 700
LEaux	Loi fédérale sur la protection des eaux (loi sur les eaux) du 24 janvier 1991, RS 814.20
LFo	Loi fédérale sur les forêts (Loi sur les forêts) du 4 octobre 1991, RS 921
LFSP	Loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche, RS 923.0
LOA	Loi fédérale sur les ouvrages d'accumulation (loi sur les ouvrages d'accumulation) du 1er octobre 2010, RS 721.101
LPE	Loi fédérale sur la protection de l'environnement (loi sur la protection de l'environnement) du 7 octobre 1983, RS 814.01
LPN	Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage du 1er juillet 1966, RS 451
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998, RS 814.201
OEIE	Ordonnance relative à l'étude d'impact sur l'environnement du 19 Octobre 1988, RS 814.011
OFEFP	(ancien) Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (aujourd'hui OFEV)
OFEG	Office fédéral des eaux et de la géologie (aujourd'hui OFEV)
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OLFP	Ordonnance relative à la loi fédérale sur la pêche du 24 novembre 1993, RS 923.01
OPN	Ordonnance sur la protection de la nature et du paysage du 16 janvier 1991, SR 451.1
OSOA	Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation du 17 octobre 2012, RS 721.101.1
RIE	Rapport d'impact sur l'environnement
RPC	Rétribution à prix coûtant du courant injecté
SSH	Swiss Small Hydro, association suisse de la petite hydraulique, anciennement ISKB/ADUR
TRE	Taux de retour énergétique

1. Les points de vue environnementaux

1.1 Principaux points de vue environnementaux

1.1.1 Écologie des cours d'eau

1.1.1.1 Protection des eaux en général

Les cours d'eau naturels forment, avec leurs rives, une unité fonctionnelle offrant divers habitats pour la faune et la flore. Ils sont soumis à une dynamique avec des processus constants d'accumulation et de retrait de l'eau dans la rivière et sur les berges. Les cours d'eau naturels se caractérisent par leur capacité à créer leur propre lit de rivière et, selon la pente, le charriage et le débit, de former un des types de morphologie les plus divers.¹ De cette façon, ils créent les conditions de vie pour une grande variété d'habitats et d'espèces.

De nombreux cours d'eau suisses sont aujourd'hui contraints, étranglés ou obstrués. La fonction de l'habitat est compromise. Sur les tronçons de cours d'eau dégradés, les structures des eaux ne sont pas naturelles. La dynamique s'est perdue et la continuité longitudinale est insuffisante. Il s'agit là des atteintes les plus graves aux fonctions naturelles, hormis la pollution matérielle des eaux. Par le passé, la construction de centrales hydroélectriques contribuait à ce phénomène. Par contre, la construction de nouvelles installations est aujourd'hui associée à des exigences environnementales sévères, qui garantissent une bonne intégration et une minimisation des impacts écologiques.

Les problèmes écologiques suivants peuvent survenir comme conséquences des centrales hydroélectriques :

- La montaison et la dévalaison des poissons et du benthos (organismes benthiques) sont entravées.
- certains turbinages génèrent des fluctuations artificielles du débit qui emportent des organismes vivants, voire assèchent des habitats dans le lit de la rivière.
- Le transit des matières charriées est empêché. Les matières charriées se déposent au fond du bassin de retenue et manquent en aval du barrage comme substrat de frai ou comme protection contre l'érosion.
- Un débit résiduel trop faible entraîne des dépôts de sédiments et l'envasement du lit de la rivière, ce qui peut avoir de graves répercussions sur la totalité de l'écosystème.

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) prévoit diverses mesures pour remédier aux conséquences négatives de l'utilisation de la force hydraulique. Selon les plans cantonaux de renaturation des eaux dans le cadre de l'assainissement de la force hydraulique, il s'agit de remettre en état dans toute la Suisse env. 1000 obstacles à la migration des poissons liés à l'hydroélectricité, env. 100 ouvrages hydroélectriques provoquant des fluctuations de débit artificielles (éclusées) et environ 500 ouvrages hydroélectriques et autres installations entraînant des déficits de charriage².

Module IV chapitre 1.2

Les chapitres suivants décrivent les aspects importants pour les petites centrales hydroélectriques et présentent les principales mesures nécessaires. Le module IV décrit en même temps les bases juridiques. Le module II explique les étapes et les processus de planification ainsi que les bases techniques de la réalisation des mesures.

Module II chapitre 6

¹ DIANE 1996, p. 4

² OFEV 2016, p. 17

OFEV 2016 :

État des cours d'eau suisses, résultats de l'observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011-2014.

DIANE 1996 :

Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux. Analyse de la situation.

1.1.1.2 Débit résiduel

Dans les centrales de dérivation, une certaine quantité d'eau est extraite du cours d'eau et dérivée par les turbines pour produire de l'électricité. Un débit résiduel suffisant est nécessaire dans le tronçon en aval de la prise d'eau jusqu'à la restitution (tronçon à débit résiduel) afin de remplir les nombreuses fonctions naturelles du cours d'eau, que ce soit comme habitat pour la flore et la faune, comme élément du paysage ou pour alimenter les eaux souterraines et dégrader des polluants. L'absence de débit résiduel, ou des débits résiduels insuffisants, peuvent avoir entre autres les effets écologiques suivants :

- Perte d'habitats due à des profondeurs d'eau insuffisantes et à la prévention des inondations périodiques. Le transit des matières charriées est réduit. Les espèces typiques qui préfèrent un courant rapide meurent.
- Continuité interrompue due à des profondeurs d'eau trop faibles.
- Dépôts de matières en suspension, entraînant une modification des conditions chimiques et physiques sur et dans le lit de la rivière (colmatage). Diverses espèces de poissons - en particulier les poissons lithophiles (frayant sur gravier) - ne peuvent plus se reproduire.
- En cas de faible débit, la température de l'eau est plus influencée par la température ambiante, ce qui entraîne des températures basses en hiver et élevées en été, pouvant sensiblement perturber le cycle de développement des microorganismes.
- Les zones alluviales et marais du bassin versant peuvent être mis à sec et disparaître en raison de l'abaissement du niveau des eaux souterraines.



Fig. 1 En raison de la faible quantité d'eau résiduelle, des sédiments fins se déposent entre les pierres, ce qui entraîne le pavage du lit (colmatage).³

³ Source: <http://aarelauf.ch/von-olten-nach-aarau/>

La valeur du débit résiduel raisonnable et nécessaire pour maintenir les fonctions naturelles d'un cours d'eau dépend dans une large mesure de ses caractéristiques et de son importance écologique. Il faut tenir compte de la diversité des courants, des fluctuations saisonnières et, éventuellement, quotidiennes du débit, ainsi que de la fréquence et de l'étendue naturelles des crues. L'objectif devrait être un régime d'écoulement des eaux qui corresponde le plus possible au caractère naturel du cours d'eau, même si le volume d'eau est plus faible.

Les mesures de construction et d'exploitation suivantes peuvent réduire les impacts écologiques négatifs :

- Réduire au maximum la longueur du tronçon de débit résiduel et bien le structurer sur le plan morphologique (pas de renforcement du lit et en pied de berge, largeur et profondeur du lit variables, chenal d'étiage, rives proches de l'état naturel).
- Comme compensation écologique, concevoir les voies des eaux motrices d'une façon la plus naturelle possible, afin de faciliter le passage des organismes aquatiques.
- Dotations variables dans le temps afin de maintenir la dynamique du débit.
- Nettoyage et structuration du lit de la rivière par de courtes augmentations de débit périodiques.
- Si la topologie le permet, transformation des centrales de dérivation en centrales au fil de l'eau par l'utilisation de nouvelles turbines à très basse pression, afin de supprimer tout tronçon d'eau résiduelle.

Dans les centrales au fil de l'eau, l'eau est turbinée directement en pied de barrage/seuil. De telles centrales électriques sont implantées de telle sorte qu'il coule autant d'eau dans le lit de la rivière qu'auparavant⁴. La question des débits résiduels ne se pose pas pour ces types de centrales.

Les cantons déterminent les débits résiduels conformément à la LEaux. Le débit résiduel minimal, c.-à-d. la quantité d'eau correspondant au débit naturel de l'étiage, et les exigences écologiques spécifiques des eaux sont prises en compte. Pour de plus amples informations sur le calcul de la quantité d'eau minimale et la détermination de la quantité d'eau résiduelle, ainsi que sur la base technique et juridique en la matière, se reporter aux modules II et IV.

Module II et Module IV

DIANE 1996 :

Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux. Analyse de la situation.

OFEFP 2004 :

Débits résiduels - quel bénéfice pour les cours d'eau ?
Cahier de l'environnement no SRU-358-F

OFEFP 2000 :

Débits résiduels convenables - Comment peuvent-ils être déterminés ?
Instructions / L'environnement pratique.

WWF et Pro Natura 2008 :

Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke (catalogue de critères pour centrales hydroélectriques écologiques) – en allemand

1.1.1.3 Effets d'écluse

Si une centrale électrique ne turbine l'eau qu'à certaines périodes (fonctionnement intermittent), des fluctuations abruptes du niveau d'eau se produisent. C'est ce qu'on appelle les effets d'écluse. Les caractéristiques d'un régime d'écluse sont, outre les débits plancher et d'écluse, le rapport entre ces deux débits et l'amplitude de l'écluse, ainsi que la vitesse maximale (taux) auquel le niveau monte et

⁴ ISKB/ADUR 2015a, p. 6

descend⁵. Habituellement, l'augmentation et la diminution du niveau se produisent rapidement. Par rapport aux crues naturelles, ces événements se produisent beaucoup plus fréquemment et régulièrement. **Comme les petites centrales électriques fonctionnent généralement sans bassin de retenue et utilisent le débit directement et en continu, de telles fluctuations abruptes du débit se produisent rarement.** Et c'est au cas par cas que doit être clarifiée la question de savoir si une petite centrale hydroélectrique ayant une capacité de rétention relativement faible doit être considérée comme responsable d'effets d'éclusée.

La production d'éclusées constitue une perturbation majeure pour l'ensemble de l'écosystème. On peut s'attendre à des dégradations importantes de la faune et de la flore indigènes et de leurs habitats si le débit d'éclusée d'un cours d'eau est au moins 1,5 fois supérieur à son débit plancher (art. 41e OEaux). Les impacts possibles sur l'environnement sont :

- Dérive de jeunes poissons et d'autres micro-organismes en phase d'éclusée.
- L'assèchement des zones littorales naturelles d'eaux peu profondes (appelées pièges à poissons) peut conduire à l'échouage des poissons s'ils ne trouvent plus leur chemin vers le chenal d'étiage.
- Perturbation du développement du frai des poissons, important pendant les mois d'hiver, et du développement du benthos (organismes benthiques), qui leur servent d'alimentation de base.
- Fluctuations de température à court terme.
- L'appauvrissement de la diversité des espèces, car ce sont surtout des espèces communes qui s'y installent et qui supportent le mieux les conditions défavorables.
- L'érosion des berges et du lit par les éclusées.

D'un point de vue écologique, la priorité consiste à éviter ou à supprimer les fluctuations de débit. Comme éventuelles mesures de construction ou d'exploitation, il est envisageable de :

- Ne pas rejeter l'eau turbinée directement dans la rivière, mais dans un lac ou par un cours d'eau séparé (p. ex. un canal parallèle).
- Construction de bassins de retenue ou de cavernes.
- Réaménagement du cours d'eau (optimisation morphologique) ou installation de déversoirs auxiliaires.
- Augmentation du débit minimal et/ou limitation de la puissance (débit maximal).
- Amortissement des fluctuations du débit (fréquence, quantité), notamment pendant la saison de frai.

Les bases juridiques concernant les effets d'éclusée sont expliquées dans le module IV. Pour les aspects techniques, se référer au Module II.

Modul IV chapitre 1.2.2

Modul II chapitre 6.3

DIANE 1996 :

Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux. Analyse de la situation.

WWF et Pro Natura 2008 :

Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke (catalogue de critères pour centrales hydroélectriques écologiques).

OFEV 2012a :

Assainissement des éclusées – Planification stratégique L'environnement pratique n° 1203.

⁵ OFEV 2012a, p. 15

OFEV 2012b :

Revitalisation des cours d'eau. Planification stratégique.
L'environnement pratique n° 1208.

SuisseEnergie 2012 :

Manuel petites centrales hydrauliques, informations sur la planification, la construction et l'exploitation, Office fédéral de l'énergie.

SuisseEnergie 2016 :

Petites centrales hydrauliques, planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage, Office fédéral de l'énergie

1.1.1.4 Régime de charriage

Le régime de charriage est un élément caractéristique et déterminant pour un cours d'eau (le charriage se réfère à la proportion de matériaux solides transportés en aval avec le débit, par roulement, glissement ou saut par-dessus le lit de la rivière; granulométrie \geq env. 2 mm). Les matériaux charriés depuis l'amont lors des crues remplacent ceux qui ont été emportés par l'érosion et assurent à intervalles réguliers le renouvellement des bancs de gravier et du substrat.⁶ C'est ainsi que sont assurés les processus biologiques naturels.



Fig. 2 Bancs de graviers créés par un régime de charriage naturel⁷

De nombreuses espèces de plantes et d'animaux, notamment les espèces de poissons frayant dans le gravier, ont besoin de charriages meubles. Un engorgement des eaux peut interrompre ce processus naturel.

En voici les conséquences :

- Les matériaux de charriage se déposent au fond du réservoir et ne sont plus transportés en aval.
- En l'absence d'une alimentation suffisante de matières charriées à partir des eaux en amont, le canal en aval - notamment après la sortie de la centrale - est dégagé. Par contre, sur le tronçon de débit résiduel, de plus en plus de sédiments fins se déposent à cause du faible débit. Les

⁶ OFEV 2012c, p. 11

⁷ Source: <http://www.reart66.fr/les-milieux-aquatiques/le-transport-solide.html>

cavités du lit de la rivière se remplissent, un phénomène connu sous le nom de colmatage. D'importants habitats pour le benthos (organismes benthiques) mais aussi pour les jeunes poissons sont ainsi détruits.

- En l'absence de matériaux de charriage, l'érosion peut approfondir le lit de la rivière. Il en résulte en général une baisse du niveau de la nappe phréatique, ce qui peut endommager durablement les zones alluviales ou régions marécageuses.
- Les structures de berges qui présentent une valeur écologique (bancs de gravier, déplacement des cours d'eau) sont endommagées.

Une gestion écologique des matériaux de charriage peut permettre dans une large mesure la formation d'une morphologie qui correspond au type de cours d'eau concerné. Les habitats des espèces locales peuvent se renouveler ou être préservés. Les mesures suivantes peuvent être utilisées au cas par cas pour améliorer ou rétablir l'équilibre du régime de charriage d'un cours d'eau. Il faut aussi absolument tenir compte de la protection contre les crues.

- Ne pas déblayer les matériaux de charriage dans le réservoir. En cas de crue, il devrait être possible d'enlever les matériaux de charriage inutiles en ouvrant une vanne, en rabattant le déversoir ou en prenant d'autres mesures similaires.
- Augmenter l'approvisionnement en sédiments dans les cours d'eau en éliminant les aménagements en dur des berges du lit (le potentiel est habituellement faible).
- Augmenter les matériaux de charriage provenant de cours d'eau latéraux (en aval du déversoir) en améliorant leur passage à travers les pièges à charriage ou en retirant les pièges à charriage.
- Ajouter des matériaux de charriage provenant de pièges à charriage, de prélèvements de matériaux de charriage dans le cadre de mesures de protection contre les crues ou de gravières. Les ajouter à des endroits facilement accessibles et adaptés du point de vue hydraulique (il convient d'éviter les dégradations des habitats et des biotopes sur les rives dues au transport).

Dans la mesure du possible et toutes proportions gardées, il est préférable d'améliorer le passage des sédiments à travers les pièges à charriage, les déversoirs et les centrales électriques, plutôt que d'ajouter régulièrement des matériaux de charriage. Lors de la planification et de la mise en œuvre de mesures, il faut absolument tenir compte de tout effet écologique indésirable qui pourrait survenir. Abaisser les barrages pendant les crues peut p.ex. provoquer l'érosion des berges, déstabiliser des digues ou assécher des zones d'eau peu profondes, ou entraîner une pollution des eaux si des sédiments pollués sont libérés.

Dans un plan stratégique (art. 83b LEaux), les cantons déterminent :

- sur quels tronçons de cours d'eau, les animaux et les plantes indigènes et leurs habitats sont fortement perturbés,
- le potentiel écologique des tronçons concernés
- les mesures d'assainissement à prendre.

La planification comprend également des mesures visant à rétablir la circulation des poissons. Dans le cas des centrales hydroélectriques existantes, les propriétaires sont tenus, en vertu de l'article 83a de la LEaux, de prendre les mesures appropriées d'ici à la fin de 2030.

Les bases juridiques de l'assainissement du régime de charriage sont expliquées dans le Module IV. Pour les aspects techniques, se référer au Module II.

OFEV 2012c :

Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique
L'environnement pratique n° 1226.

OFEV 2012b : Revitalisation des cours d'eau. Planification stratégique.
L'environnement pratique n° 1208.

1.1.1.5 Migration des poissons

Toute intervention technique artificielle sur un cours d'eau (seuils, mises sous terre ou centrales électriques) réduit ou interrompt la continuité longitudinale du cours d'eau et, par conséquent, également la libre migration des poissons. Aujourd'hui, il est considéré que toutes les espèces de poissons présentes dans nos cours d'eau dépendent plus ou moins largement de ces possibilités de migration en amont et en aval, au cours de leur cycle de développement. C'est la seule façon d'assurer la survie d'une population et d'une espèce à long terme.

Du point de vue de l'écologie des poissons, une interruption des possibilités de migration peut avoir les conséquences suivantes :

- La migration vers les sites de frai et les sources de nourriture est interrompue. La conservation et le renouvellement des populations de poissons ne sont plus possibles.
- Plus de repeuplement possible sur les tronçons de rivière en amont du barrage après des événements majeurs tels que des crues ou la pollution de l'eau.
- Appauvrissement génétique, puisqu'un échange entre espèces de différentes régions n'est plus possible.
- Les invertébrés ne peuvent pas franchir les obstacles et ne peuvent donc plus compenser leur dérive en aval par la migration.
- L'empoisonnement ne peut pas se substituer à la circulation des poissons, car il favorise avant tout les espèces à valeur économique et peut conduire à des mélanges génétiques indésirables sur certains tronçons.

La loi fédérale sur la pêche (LFSP) exige que la libre migration du poisson soit assurée dans les deux sens, pour l'ensemble de la faune piscicole. Elle concerne les nouvelles installations ou nouvelles concessions, mais aussi les installations existantes, si les mesures sont économiquement viables. Aucune mesure n'est requise pour les installations situées à proximité immédiate d'une barrière naturelle à la migration (p.ex. une chute d'eau) et pour les installations situées à plus de 1 700 m d'altitude ou sur un cours d'eau de nature non piscicole.

Les obstacles à la migration le long des cours d'eau se subdivisent en chutes artificielles (seuils) et en ouvrages (digue, passage couvert, pont, etc.). Selon les extrapolations, il y aurait en Suisse au total 101'000 obstacles artificiels d'une hauteur de chute de plus de 50 cm. A partir d'une hauteur de chute d'environ 50 cm, la migration des poissons en est entravée. Il convient de souligner que la majorité des obstacles, env. 92'000, ne sont pas dus à l'utilisation de la force hydraulique⁸. Ils servent, par exemple, à la protection contre les crues et à celle des terres cultivées. Au moins certains d'entre eux pourraient être utilisés pour produire de l'énergie tout en étant améliorés sur le plan écologique⁹.

⁸ OFEV 2009, p. 51

⁹ ISKB/ADUR 2015b, p. 6

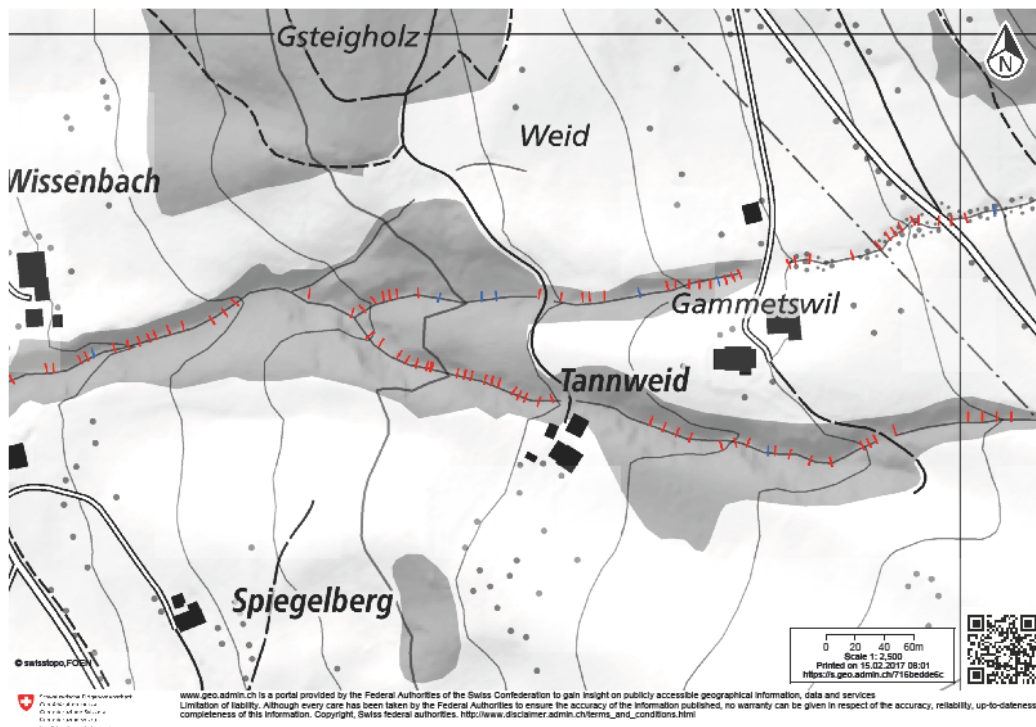


Fig. 3 Extrait de la carte nationale montrant les chutes > 50 cm, naturelles (en bleu) et artificielles (en rouge) dans la continuité des cours d'eau.¹⁰

La solution pour rétablir la continuité des cours d'eau repose sur ce qu'on appelle des aides à la migration des poissons. Les exigences écologiques pour de telles installations sont, entre autres, les suivantes :

- La libre migration dans les deux sens (montaison et dévalaison) doit être garantie.
- Cette fonctionnalité doit être assurée pendant toutes les phases de développement et les cycles de vie des poissons pendant lesquels la migration est importante.
- Les aides à la migration des poissons ne doivent pas viser des espèces spécifiques. Elles doivent être utilisables par toutes les espèces aquatiques.
- Pour les invertébrés aquatiques, la migration nécessite un lit de rivière continu, d'une structure globalement cohérente, avec du substrat et des zones de repos à faible courant.

Les ouvrages techniques qui conviennent à la migration des poissons sont la passe à bassins ou les ouvrages naturels tels que les canaux en enrochement, les rampes ou les dérivations. Dans l'ensemble, l'objectif consiste à attirer les poissons à l'entrée de la passe par un courant d'appât et de les inciter ensuite à remonter le courant de manière active, conformément à leur comportement naturel.

Le choix de l'échelle à poissons dépend de nombreuses conditions souvent locales : faune piscicole, différence de niveau à franchir, situation hydrologique, type de déversoir, etc. D'un point de vue écologique - et si les conditions topographiques le permettent- les constructions de type naturel sont préférables. Par rapport aux installations techniques, une conception très proche de la nature avec une semelle naturelle permettra également la migration voire le peuplement d'organismes benthiques et de petits poissons. Les petites centrales hydroélectriques ont souvent une faible pente entre le niveau supérieur et le niveau inférieur de l'eau, ce qui crée de bonnes conditions pour la construction d'une passe à poissons de type naturel. Des combinaisons de différents types d'ouvrages sont également envisageables.

¹⁰ Source : https://map.geo.admin.ch/?topic=bafu&lang=en&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&catalogNodes=781,1361,2771,2818,2780&layers=ch.bafu.oekomorphologie-f_abstuerze



Fig. 4 Exemples d'une échelle à poissons naturelle (en haut) et d'une passe à bassins (en bas)¹¹

Pour ce qui concerne la dévalaison, elle est généralement passive, les poissons étant guidés par le courant. Les échelles à poissons ne sont donc généralement pas adaptées (toutefois, la dévalaison est possible à travers les rampes naturelles ou les canaux de contournement). Les poissons doivent pouvoir être transférés vers le bas sans dommage. Pour ce faire, on peut utiliser des installations techniques telles qu'une grille et un bypass, ou passer par-dessus le déversoir avec une faible hauteur de chute et une profondeur d'immersion suffisante. Certains types de turbines permettent également un « passage inoffensif » à travers la turbine elle-même, un certain taux de mortalité pouvant être toléré.

Un élément important pour assurer la libre migration des poissons est le contrôle de son efficacité. C'est la seule façon d'évaluer si l'aide à la migration des poissons a été conçue correctement. Pour vérifier si les poissons utilisent l'échelle à poissons, on peut avoir recours à des moyens techniques (enregistrement vidéo, marquage et captures de contrôle, nasses dans l'échelle) ou à l'observation directe.

¹¹ Source : <http://www.htsbau.de/Wasserbau/Fischaufstiegshilfen-FAH/>

Comme déjà mentionné, il n'y a pas de « recette » générale standard pour la construction d'une aide à la migration des poissons. Les études et le choix exigent beaucoup de connaissances spécialisées. Il est donc recommandé d'échanger des informations à un stade précoce avec l'autorité responsable de la pêche et avec des experts. Le module II contient des informations complémentaires sur les exigences techniques, les études et la réalisation d'aides à la migration des poissons.

Module II chapitre 6

OFEV 2012d :

Migration du poisson vers l'amont et vers l'aval à la hauteur des ouvrages hydroélectriques. Checkliste best practice.

OFEV 2012e :

Rétablissement de la migration du poisson – Planification stratégique; aide à l'exécution.

DIANE 1997a :

Poissons et petites centrales hydrauliques : solutions avantageuses de franchissement pour les poissons et la microfaune aquatique.

DIANE 1997b :

Continuité dans les petites centrales hydroélectriques. Enquête sur la continuité des eaux pour les poissons et la microfaune aquatique.

1.1.1.6 Qualité de l'eau

L'exploitation d'une centrale hydroélectrique peut influencer la qualité de l'eau dans le cours supérieur (bassin de rétention) et dans le cours inférieur (tronçon d'eau résiduelle) de la rivière utilisée. Dans la zone du bassin de rétention où l'eau est presque stagnante, l'échange gazeux est plus faible que dans l'eau courante. La concentration d'oxygène est plus faible. Ce processus est encore intensifié par la dégradation des boues sédimentaires qui consomme beaucoup d'oxygène. En été, la température de l'eau augmente, ce qui entraîne un déficit supplémentaire en oxygène. Il peut en résulter une eutrophisation des eaux qui conduit à une diminution du nombre d'espèces.

Lorsque la profondeur de l'eau est faible sur le tronçon d'eau résiduelle, l'eau s'adapte plus rapidement à la température ambiante. D'une température plus élevée en été, l'eau gèle en hiver. En raison de la dilution réduite des éventuelles substances nocives et nutritives, la qualité de l'eau se détériore. Des espèces sensibles et spécifiques disparaissent ou sont déplacées.

Les solutions possibles pour éviter ou réduire ce phénomène sont des zones riveraines et des canaux de type naturel et structurés (ombrage par la végétation au niveau de la retenue, chenaux d'étiage pour élever le niveau de l'eau) ou une augmentation du volume d'eau résiduel.

Le risque de pollution de l'eau lors de la construction et de l'exploitation des petites centrales hydroélectriques peut normalement être considéré comme faible si les précautions appropriées sont prises (stockage sans risque d'inondation des substances polluantes, utilisation de graisses et d'huiles biodégradables, entretien régulier des installations) et si les précautions habituelles d'hygiène de l'eau sont respectées pendant les travaux.

DIANE 1996 :

Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux. Analyse de la situation.

L. von Moos et H. Leutwiler 1997 :

Aperçu général des petites centrales hydroélectriques, DIANE 10 Petite hydroélectricité. Office fédéral de l'énergie, Berne.

WWF et Pro Natura 2008 :

Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke (catalogue de critères pour centrales hydroélectriques écologiques) – en allemand

1.1.2 Protection de la nature et du paysage

Le paysage peut être modifié et altéré par la construction et l'exploitation d'une centrale électrique. Il faut distinguer d'une part les effets des ouvrages (barrage/seuil, local de turbinage, canaux, conduites), évalués différemment selon l'emplacement et l'environnement de la centrale (paysage naturel ou zone agricole / industrielle intensive) et, d'autre part, les conséquences de l'intervention sur le cours d'eau (voir chapitre 1.1.1). Le paysage peut être protégé par une conception optimale de l'ouvrage p.ex. en construisant des installations souterraines, en utilisant des matériaux de construction naturels locaux ou en replantant de la végétation dans les zones d'intervention. Il existe de nombreux exemples de petites centrales hydroélectriques qui ont pu être construites sans impacts négatifs même dans des zones protégées. Un exemple est présenté ci-dessous.

La petite centrale hydroélectrique d'Engstligenalp est située dans une zone IFP (Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels). Compte tenu de l'expiration de la concession, il a été décidé de construire un nouveau bâtiment avec une capacité augmentée. Afin de répondre aux exigences de construction dans la zone protégée, l'ancienne installation a été complètement démontée, et la conduite forcée ainsi que la centrale ont été complètement enterrées. Le seuil est le seul élément subsistant de l'ancienne centrale. Ainsi, on ne peut deviner que le cours d'eau plonge dans une station de turbinage, ni depuis le bas, ni depuis le chemin de fer de l'Engstligenalp.



Fig. 5 Le seuil de l'ancienne installation et le dégrilleur (à gauche)¹²

En général, la construction d'une centrale électrique et l'endiguement d'un cours d'eau qui en résulte peuvent endommager ou détruire complètement une grande variété d'habitats environnants. L'abaissement du niveau d'eau en aval peut entraîner la mise à sec des biotopes des berges et des zones alluviales. Si le niveau de la nappe phréatique baisse, les marais peuvent être coupés de l'eau souterraine et s'assécher. Le processus d'endiguement transforme une partie du cours d'eau (juste au-dessus du barrage) en un cours d'eau pratiquement immobile. En particulier, la flore et la faune changent dans cette zone. Les espèces disparaissent avec les habitats.

Par conséquent, certains habitats et paysages sont protégés contre toute intervention par des dispositions légales. Une perturbation n'est admissible que si elle est inévitable après avoir pris en

¹² source : Fondation RPC

compte tous les intérêts. Dans ce cas, l'auteur devra prendre des mesures spéciales pour assurer la meilleure protection possible, la remise en état ou tout autre remplacement approprié.

Module IV chapitre 1

Les impacts sont évalués dans le cadre de la procédure d'autorisation, par une étude d'impact sur l'environnement (EIE), qui définit également les mesures appropriées (voir aussi chapitre 1.1.3).

OFEFP 1997 :

EIE des aménagements hydroélectriques. Mesures pour la protection de l'environnement; Informations concernant l'EIE

OFEV 2009 :

Manuel EIE, Directive de la Confédération sur l'étude de l'impact sur l'environnement.

SuisseEnergie 2012 :

Manuel Petites centrales hydrauliques, informations pour la planification, la construction et l'exploitation, Office fédéral de l'énergie.

SuisseEnergie 2016 :

Petites centrales hydrauliques, planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage, Office fédéral de l'énergie

1.1.3 Impact sur l'environnement

Pour les nouvelles installations d'une puissance installée **supérieure à 3 MW**, une étude d'impact sur l'environnement (EIE) est obligatoire (annexe 21.3 de l'ordonnance EIE). Les petites installations et les modifications apportées aux installations existantes qui n'entraînent pas de modification de l'hydrologie ou de leur mode d'exploitation ne sont pas soumises à l'EIE. Même s'il n'existe aucune obligation en matière d'EIE, les dispositions environnementales doivent être respectées pendant la construction et l'exploitation de l'installation. Un rapport sur les débits résiduels doit être soumis aux autorités en même temps que la demande de concession. Il peut être combiné à un rapport sur l'environnement qui décrit le projet et présente l'ensemble des impacts sur l'environnement et leur conformité à la loi (les exigences détaillées pour l'établissement d'un rapport sur les débits résiduels se trouvent dans une directive de l'OFEV¹³).

Module IV chapitre 1.1.9

L'EIE doit présenter les impacts que le projet aura probablement sur l'environnement, et les mesures à prendre au niveau du projet ou du site pour assurer le respect des prescriptions environnementales. En général, l'EIE des centrales hydroélectriques se déroule en deux phases :

- Phase 1 : Enquête préliminaire et cahier des charges
- Phase 2 : Étude principale ou étude d'impact sur l'environnement (EIE)

Dans l'enquête préliminaire, les impacts du projet sur les différentes zones environnementales sont enregistrés dans une matrice et évalués en fonction de leur ampleur. Cette évaluation couvre à la fois la phase de construction et la phase d'exploitation. Sur cette base, un cahier des charges est établi pour l'étude principale. L'étude principale est l'étude d'impact sur l'environnement qui formule des propositions pour la réduction des perturbations environnementales et des mesures de compensation. Cela comprend également les mesures de restauration ou de remplacement liées à la perturbation d'habitats protégés ou dignes d'être protégés.

¹³ OFEFP 2000, p. 65

La base juridique de l'EIE est expliquée dans le module IV et dans les documents suivants (informations détaillées sur le déroulement et le contenu d'une EIE):

OFEFP 2000 :

Débits résiduels convenables - Comment peuvent-ils être déterminés ?
Instructions / L'environnement pratique.

OFEFP 1997 :

EIE des aménagement hydroélectriques. Mesures pour la protection de
l'environnement; Informations concernant l'EIE

OFEV 2009 :

Manuel EIE, Directive de la Confédération sur l'étude de l'impact sur
l'environnement.

SuisseEnergie 2012 :

Manuel Petites centrales hydrauliques, informations pour planification,
construction et exploitation, Office fédéral de l'énergie.

SuisseEnergie 2016 :

Petites centrales hydrauliques, planification et procédures,
guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage, Office fédéral de l'énergie

1.1.4 Certification environnementale

En Suisse, les installations de production et les produits énergétiques peuvent être certifiés « naturemade basic » ou « naturemade star ». Les labels de qualité sont décernés par l'Association pour une énergie respectueuse de l'environnement (VUE). Ils exigent le respect de vastes critères élaborés sur une base scientifique. Il s'agit notamment de la question des débits résiduels, de l'effet d'écluse, du régime de charriage, de la continuité des cours d'eau (migration des poissons), du paysage, des biotopes et de la conception des centrales électriques. Le respect de ces critères garantit une fonction écologique minimale des cours d'eau utilisés. Les centrales hydroélectriques d'une puissance supérieure à 100 kW doivent également créer un fonds pour des mesures supplémentaires visant une continuelle amélioration écologique au niveau du cours d'eau et dans son bassin versant hydrologique (ou ailleurs si des améliorations ne s'avèrent pas pertinentes).

EAWAG 2001 :

Certification de l'éco-électricité pour les centrales hydroélectriques
– concepts, procédés, critères.

<https://www.naturemade.ch/fr/>

1.2 Aspects liés au climat

1.2.1 Les petites centrales hydroélectriques contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre

Les petites centrales hydroélectriques contribuent à atténuer les changements climatiques d'origine humaine en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Par exemple, l'injection sur le réseau d'électricité provenant de petites centrales hydroélectriques peut remplacer celle issue d'énergies fossiles pour couvrir l'électricité de ruban.¹⁴

Même si l'hydroélectricité est généralement considérée comme une énergie propre, il en résulte des émissions de gaz à effet de serre lors de la construction, de l'exploitation et, le cas échéant, du démantèlement de la centrale¹⁵. C'est le cas, par exemple, lors de la production d'acier pour les turbines ou de ciment pour les seuils, les canaux, le bâtiment de la centrale, etc. Les émissions de gaz à effet de serre dues à la production d'électricité par les centrales hydroélectriques sont toutefois très faibles - également en comparaison avec les autres technologies d'énergie renouvelable (voir Tableau 1). En effet, d'autres technologies génèrent également des émissions lors de la fourniture, du transport et l'élimination de combustibles, y compris la dégradation ou l'extraction des sources énergétiques primaires (p.ex. gaz naturel, pétrole brut, houille, uranium, bois), pendant la combustion elle-même ou lors de la fabrication énergétiquement intense de certains composants (p.ex. modules photovoltaïques).¹⁶

Les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie d'une centrale hydroélectrique peuvent être décomposées par kilowattheure d'électricité produite, ce qui permet de comparer les différents types de centrales hydroélectriques et les autres technologies de production d'électricité. Comme on peut le constater sur le Tableau 1, les petites centrales hydroélectriques présentent particulièrement de bons résultats. Avec 1,9 g CO₂-éq/kWh, les émissions des petites centrales hydroélectriques d'exploitation accessoire, ou « intégrées » (p.ex., les turbinages d'eau potable ou d'eaux usées, voir les exemples 4 et 6 du module VI) sont les plus faibles de toutes les technologies. Cependant, avec 4,9 g CO₂-éq/kWh, même les autres petites centrales hydroélectriques, c'est-à-dire en cours d'eau ou « autonomes », produisent de très faibles émissions. Elles se situent donc légèrement au-dessus des grandes centrales au fil de l'eau, qui génèrent des émissions de seulement 3,6 g CO₂-éq/kWh, une grande centrale produisant plus d'électricité. Les centrales à accumulation produisent 5,5 g CO₂-éq/kWh¹⁷, et les centrales à pompage-turbinage, 155,1 g CO₂-éq/kWh. Ces émissions plus importantes sont dues aux bassins de retenue, à l'origine d'environ 1,4 g CO₂-éq/kWh d'émissions de méthane.¹⁸ Toutefois, la grande partie (96,6 %) des émissions des centrales de pompage-turbinage peut être attribuée au fonctionnement des pompes.¹⁹

Modul VI Exemples 4 et 6

L'énergie nucléaire ne produit pas non plus d'émissions directes de gaz à effet de serre, à part au moment de la construction de la centrale nucléaire, de l'extraction de l'uranium, ainsi que du démantèlement de la centrale et de l'élimination des déchets, ce qui explique ses relativement bons résultats. Dans le cas des réacteurs à eau bouillante, les émissions de gaz à effet de serre s'élèvent à 10,5 g d'éq.-CO₂/kWh. La technologie la plus émettrice de gaz à effet de serre est le charbon, avec plus d'un kilogramme par kilowattheure produit.

¹⁴ L. von Moos et H. Leutwiler 1997, p. 6-7

¹⁵ ESU-services 2012b p.13-14

¹⁶ ESU-services 2012b, p. 1

¹⁷ Si on tient compte de la consommation électrique des pompes, les émissions s'élèvent à 10,8 g eq.-CO₂/kWh (ESU-services 2012b).

¹⁸ ESU-Services et PSI 2012, p. v; ESU-Services 2012b, p. i

¹⁹ ESU-services 2012b, p. 54

Technologie	Émissions de gaz à effet de serre en g CO ₂ - éq/kWh
Énergie renouvelable	
Énergie hydraulique	
• Centrale hydroélectrique	3,6
• Centrale hydroélectrique à accumulation	10,8
• Centrale hydroélectrique à accumulation (pompes retirées ¹)	5,5
• Petites centrales hydroélectriques classiques ²	4,9
• Petites centrales hydroélectriques d'exploitation accessoire (intégrées) ²	1,9
• Pompage-turbinage	155,1
Autres énergies renouvelables	
• Solaire	81,6
• Éolienne	17,2
• Bois	30,0
• Biogaz Agriculture	240,6
• Biogaz Industrie	237,7
Énergie non renouvelable	
Sources d'énergie fossiles	
• Pétrole	730,7
• Gaz naturel	585,4
• Charbon	1'093,0
Énergie nucléaire	
• Réacteur à eau pressurisée	5,2
• Réacteur à eau bouillante	10,5

¹ La consommation électrique des pompes est retirée en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de kWh d'électricité¹⁷

² Il convient de noter que pour les petites centrales hydroélectriques <300kW, aucune donnée n'est disponible sur les émissions pendant la phase d'exploitation. Toutefois, comme ce chiffre est faible, une comparaison avec les autres technologies est tout de même appropriée.

Tableau 1 : Émissions de gaz à effet de serre provenant de diverses technologies²⁰

Source : ESU-services 2012b, p. 11 et ESU-services 2012a, p. 30, 53-54

En plus de la comparaison de différentes technologies, il est également possible de comparer différents mix électriques. Il est ainsi possible de démontrer combien d'émissions de gaz à effet de serre peuvent être économisées en passant par la petite hydraulique. Dans une telle comparaison, il est important de faire la différence entre le mix électrique de production suisse, qui reflète l'électricité produite en Suisse, et le mix électrique du fournisseur, qui reflète l'origine de l'électricité vendue en Suisse. Comme on peut le constater sur le Tableau 2, les émissions de gaz à effet de serre du mix électrique du fournisseur suisse s'élèvent à 121,7 g d'éq.-CO₂/kWh. Les émissions de gaz à effet de serre sont donc nettement supérieures aux 4,9 g d'équivalent CO₂/kWh produits par les petites centrales hydroélectriques. Si l'électricité devait être achetée sur le marché européen, les émissions de gaz à effet de serre seraient massivement plus élevées, à 462,1 g d'éq.-CO₂/kWh²¹.

²⁰ treeze Ltd. 2016, p. 16 et 44.

²¹ treeze Ltd. 2014, S. 204

Mix électrique	Émissions de gaz à effet de serre en g CO ₂ - éq/kWh
Mix électrique de production CH	24,2
Mix électrique des fournisseurs CH	121,7
• Mix électrique certifié ¹	14,4
• Mix électrique égal ²	132,9
Mix électrique européen (ENTSO)	462,1

¹ Le mix électrique certifié est calculé selon les statistiques de l'Association pour une énergie respectueuse de l'environnement (VUE).

² Le mix électrique égal est la différence entre le mix électrique du fournisseur et le mix électrique certifié.

Tableau 2 : Emissions de gaz à effet de serre issus de différents mix d'électricité²⁰

Tableau INFRAS. Source : ESU-services 2012a, p. 12 et treeze Ltd 2014, p. 204

En supposant qu'une petite centrale hydroélectrique autonome d'une puissance de 300 kW produise 2 millions de kWh d'électricité par an et alimente près de 450 ménages. Une petite centrale hydroélectrique de cette taille produit des émissions de 9,8 t d'éq. CO₂. Pour la même quantité d'électricité, le mix électrique des fournisseurs suisses produirait des émissions de 243,4 t d'éq. CO₂. Si l'électricité produite par la petite centrale hydroélectrique devait être remplacée par de l'électricité provenant du marché européen, il en résulterait même des émissions de 924,2 t CO₂-eq. L'énergie annuelle produite par une petite centrale hydroélectrique de cette taille permet d'épargner des émissions correspondant à une bonne centaine de vols aller-retour entre Zurich et New York (comparé au mix des fournisseurs suisses) ou à près de 400 vols (comparé au mix électrique européen)²².

Module I chapitre 2.3

SSH 2016 :

Swiss Small Hydro, [Argumentation en faveur des petites centrales hydroélectriques](#)

ESU-Services 2012 (a) :

[Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation](#),
Öko-Institut – en anglais

Les données de la publication ci-dessus ont été intégrées dans un rapport comparant différentes technologies et leurs émissions de gaz à effet de serre et calculant les émissions par mix électrique²³:

ESU-Services 2012 (b):

[Émissions de gaz à effet de serre des mix électriques suisses](#)
Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe
mandat de l'Office fédéral de l'environnement – en allemand

En mars 2017, l'étude suivante a été publiée avec des chiffres partiellement nouveaux sur les émissions de gaz à effet de serre en fonction de chaque technologie, avec toutefois un seul chiffre pour la petite hydraulique (5.0 g d'éq.-CO₂/kWh) :

Treeze Ltd. 2016:

[Bilan écologique mix électrique Suisse 2014](#)
Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014
mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)– en allemand

²² De Zurich (CH), ZRH à New York (US), JFK, vol retour, classe économique, env. 12 600 km, 1 voyageur : 2,3 t CO₂
(source : myclimate.ch)

²³ treeze Ltd. 2016, p.44

1.2.2 Impacts du changement climatique sur les petites centrales hydroélectriques

Le changement climatique affecte fortement l'exploitation de la force hydraulique, car il modifie le cycle des eaux et entraîne une recrudescence des événements extrêmes. Les modifications des précipitations, la fonte des glaciers et l'augmentation de la limite des chutes de neige jouent sur le débit et les volumes de charriage transportés et ainsi que sur la production d'électricité²⁴. Au cours du XX^e siècle, le volume des eaux de ruissellement est resté relativement stable, mais les régimes d'écoulement ont changé²⁵. Une étude de l'Office fédéral de l'environnement établit que les débits en Suisse ne changeront que légèrement jusqu'en 2035 et qu'ils diminueront ensuite légèrement jusqu'en 2085²⁶. Cependant, la répartition saisonnière des débits change presque partout en Suisse, avec notamment une augmentation du débit en hiver et une diminution en été²⁷.

En 2007, sur la base d'une étude portant sur onze bassins versants alpins, l'Office fédéral de l'énergie prévoyait une perte de 7% (environ 2000 GWh/a) de la production hydroélectrique en Suisse d'ici à 2035 dans les perspectives énergétiques 2035.²⁸ Pour la stratégie énergétique 2050, en 2012, l'OFEN - sur la base des études disponibles - partait du principe que le changement climatique n'aurait aucun impact sur la production annuelle moyenne d'électricité d'origine hydraulique d'ici à 2050²⁹. En 2019, l'OFEN confirmait cette position³⁰. Et de préciser que, par rapport à la période allant de 1980 à 2009, la production moyenne, entre 2021 et 2050 devrait reculer de 4 à 6 % en été, mais croître de 10 % en hiver.

Outre la saison, les effets du changement climatique sur l'hydroélectricité varient fortement selon la situation géographique, le bassin versant ou le type d'installation, comme le montre un projet de recherche mené par l'Institut de géographie de l'Université de Berne et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage. Les études de cas réalisées ne laissent entrevoir que de faibles variations de la production jusqu'en 2035, même si elles sont légèrement négatives pour le Sud et l'Est du Valais et positives pour les régions basses du centre et de l'Est des Préalpes³¹. Étant donné que le type d'installation est également déterminant et qu'aucune petite centrale hydroélectrique n'a été incluse dans les études de cas, il n'est pas possible de se fier entièrement aux résultats. Il n'est pas non plus possible de faire une extrapolation pour l'ensemble de la Suisse.

De plus amples informations se trouvent dans le rapport de synthèse du projet de recherche susmentionné:

SSHL et CHy 2011 :

Société suisse d'hydrologie et de Limnologie, SSHL,
et Commission suisse d'hydrologie, CHy 2011 :

[Impact du changement climatique sur l'utilisation de l'hydroélectricité.](#)

« Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung »
Rapport de synthèse- en allemand –

D'autres informations sont disponibles dans les documents suivants:

OFEV 2012f :

[Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau.](#) Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro).

²⁴ SSHL et CHy 2011, p. 1-21

²⁵ SSHL et CHy 2011, p. 15

²⁶ OFEV 2012f, p. 44

²⁷ OFEV 2012f, p. 44

²⁸ OFEN 2007, p. 76

²⁹ OFEN 2012, p. 13

³⁰ OFEN 2019, p. 26

³¹ SSHL et CHy 2011, S.25

OFEN 2007 : [Perspectives énergétiques pour 2035](#) (tome 1) Synthèse Modélisation, comparaisons, évaluations et défis. Janvier 2007.

OFEN 2012 : [Potentiel hydroélectrique de la Suisse](#). Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050. Juin 2012.

OFEN 2019 : [Potentiel hydroélectrique de la Suisse](#). Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050. Août 2019.

SSH 2019 : [Communiqué de presse sur l'étude du potentiel hydroélectrique de l'OFEN](#) : les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 risquent de ne pas être atteints !

La plupart des microcentrales hydroélectriques (celles de moins de 300 kW) se situant à basse altitude³², Swiss Small Hydro, l'Association suisse des petites centrales hydroélectriques, montre que ces installations bénéficient généralement d'un régime hydrologique plus équilibré³³. Certaines de ces centrales montrent depuis un certain temps déjà que les hivers particulièrement humides et les périodes de sécheresse prolongées en été entraînent des fluctuations saisonnières plus faibles. La Fig. 6 montre les résultats d'une évaluation réalisée pour les années 2011, 2012 et 2013, par Swissgrid sur mandat de Swiss Small Hydro confirmant que, contrairement à l'éolien et au photovoltaïque, les microcentrales hydrauliques (< 300 kW) ne présentent aucune dépendance saisonnière. La production a même augmenté pendant ces 3 années, principalement en raison de la construction de nouvelles centrales³⁴.

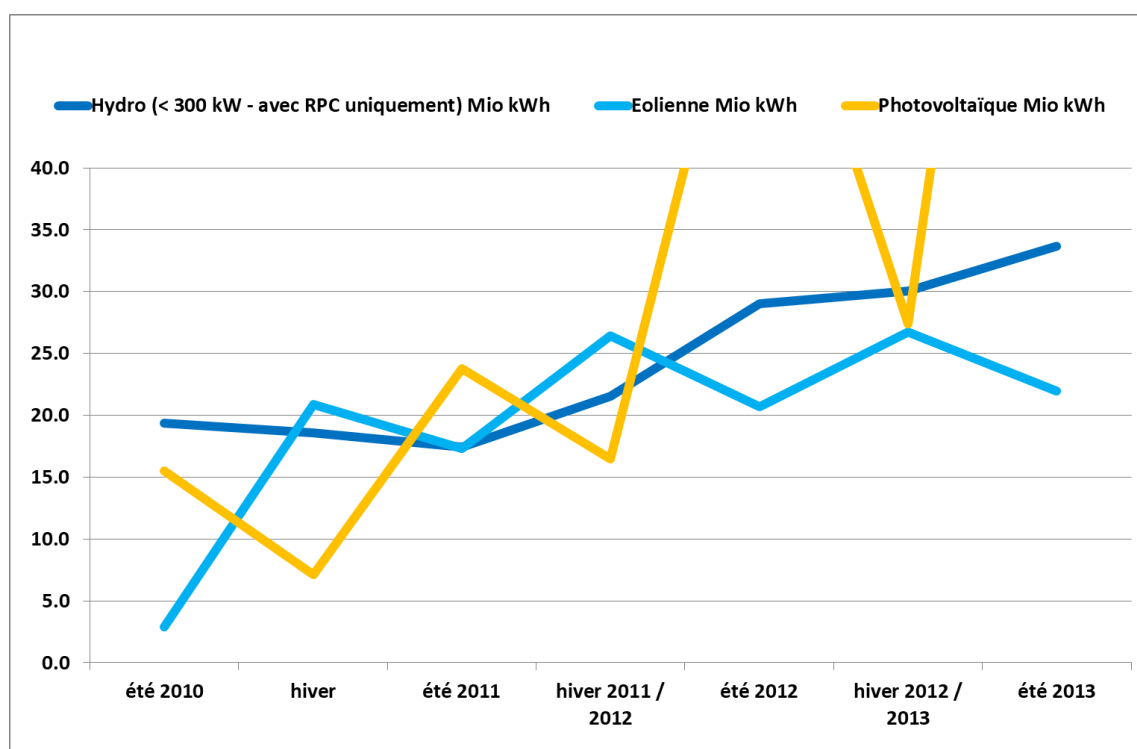


Fig. 6 Comparaison entre la production d'été et celle d'hiver³⁵

³² ISKB/ADUR 2015a, p. 2

³³ ISKB/ADUR 2015a, p. 2

³⁴ ISKB/ADUR 2015a, p. 3

³⁵ ISKB/ADUR 2015b, p. 4

Dans sa stratégie d'adaptation, la Confédération estime que le besoin d'intervention auprès des petites centrales hydroélectriques en raison du changement climatique est d'une importance moyenne (sur une échelle de 3 niveaux – faible, moyen, grand)³⁶. Les effets du climat pouvant varier considérablement selon l'emplacement et le type de centrale, il est important que les prévisions climatiques soient incluses dès l'acquisition des données de base d'un projet spécifique³⁷. Suivant l'endroit, il faut par exemple tenir compte du fait qu'en raison des périodes de sécheresse de l'été, il pourrait y avoir trop peu d'eau à disposition pour la production d'énergie³⁸. L'été sec de l'année 2003 a ainsi entraîné l'arrêt de plusieurs petites centrales hydroélectriques dans la région du Plateau³⁹.

OFEV 2012g : [Adaptation aux changements climatiques en Suisse - Objectifs, défis et champs d'action](#).

SuisseEnergie 2012 : Manuel petites centrales hydrauliques, informations sur la planification, la construction et l'exploitation, Office fédéral de l'énergie.

1.3 Bilans énergétiques des petites centrales hydroélectriques

1.3.1 Concepts

On distingue quatre flux d'énergie en rapport avec une centrale électrique⁴⁰

- E_{in} : l'apport énergétique direct, c'est-à-dire le flux d'énergie de la source d'énergie comme p.ex. l'énergie potentielle de l'eau.
- $E_{indirect}$: l'apport énergétique indirect, c'est-à-dire l'énergie nécessaire à la construction, à l'exploitation et au démantèlement d'une centrale électrique ainsi qu'à la fourniture et au transport de la source d'énergie (p.ex. charbon, bois ou biogaz), ce qui n'est toutefois pas nécessaire pour la force hydraulique.
- E_{out} : la production énergétique, ou plus exactement la production électrique.
- E_{pertes} : le flux énergétique perdu, c'est-à-dire l'énergie inutilisée lors de la conversion de l'énergie brute en énergie électrique (pertes par frottement, chaleur perdue) ou l'énergie qui a dû être utilisée pour produire les matériaux de construction utilisés et qui ne peut pas être récupérée.

Ces quatre flux d'énergie s'entendent comme somme des flux pendant toute la durée de vie de l'installation. En outre : $E_{in} + E_{indirect} = E_{out} + E_{pertes}$. Les flux énergétiques de base dans un processus de production d'énergie peuvent être illustrés comme suit sur la Fig. 7 :

³⁶ OFEV 2012g, p. 22

³⁷ SuisseEnergie 2012, p. 16

³⁸ Bundesrat 2012, p. 26-27

³⁹ Bundesrat 2012, p. 28

⁴⁰ W. Baumgartner et G. Doka 1996, p. 3.

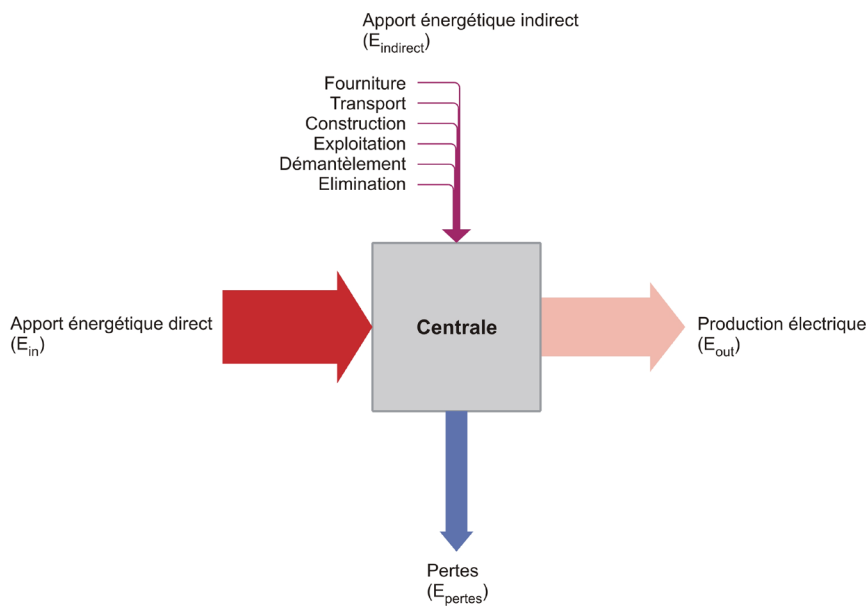


Fig. 7 Les flux d'énergie de base dans un processus de production électrique⁴¹

L'apport énergétique direct d'une centrale hydroélectrique correspond à l'énergie potentielle de l'eau prélevée dans le milieu naturel. L'apport énergétique indirect tient compte non seulement de la quantité d'électricité et de combustible utilisée directement sur le chantier, mais aussi de l'énergie « grise » utilisée pour la production du béton, de l'acier, etc. nécessaires à la réalisation de la centrale. Dans le cas d'une centrale hydroélectrique, l'énergie nécessaire pour fournir et transporter l'énergie jusqu'à la centrale n'est pas nécessaire, car elle est disponible sur place.

Des chiffres clés pour le bilan énergétique peuvent être définis pour chaque source énergétique⁴². Le taux de retour énergétique (TRE) est calculé à partir du rapport entre la production électrique et l'apport énergétique indirect, ou en d'autres termes, entre l'énergie utilisable et celle dépensée. Le TRE indique par conséquent combien d'énergie supplémentaire la centrale peut produire au cours de sa durée de vie, par rapport à celle qui a été utilisée de son berceau à sa tombe, comme le veut l'expression consacrée des analyses de cycle de vie. L'apport énergétique direct, c'est-à-dire le contenu énergétique de la source d'énergie utilisée - en l'occurrence l'eau - n'est pas compté.⁴³

- $TRE = E_{out} / E_{indirect}$

La durée d'amortissement énergétique (DAE) indique la période pendant laquelle la centrale doit être en exploitation jusqu'à ce qu'elle ait produit la même quantité d'énergie investie pour la mettre à disposition, la construire, l'exploiter, la démolir et l'éliminer pendant sa durée de vie utile. L'apport énergétique indirect se compose en fait d'une partie fixe pour la construction et la démolition, et d'une partie pour l'entretien et l'exploitation, qui dépend de la durée de vie de la centrale électrique⁴⁴. La consommation d'énergie nécessaire pour l'exploitation d'une petite centrale hydraulique, pendant toute sa durée de vie, étant faible par rapport à l'énergie fixe investie et par rapport à la production électrique, la durée d'amortissement énergétique peut être évaluée par :

- $DAE = E_{indirect} * \text{durée de vie de la centrale} / E_{out}$
- $DAE = \text{durée de vie de la centrale} / TRE$

W. Baumgartner et G. Doka 1996:
[Bilans énergétiques des petites centrales hydroélectriques.](#)
 Durée d'amortissement énergétique, taux de retour énergétique

⁴¹ W. Baumgartner et G. Doka 1996, p. 4

⁴² W. Baumgartner et G. Doka 1996, p. 5-6.

⁴³ Une extension de la définition du taux de retour énergétique est le « facteur de qualité », qui prend en compte non seulement l'apport énergétique indirect mais aussi l'apport énergétique direct. C'est particulièrement intéressant pour une comparaison avec les centrales électriques fossiles.

⁴⁴ D. Weissbach et al. 2016, p. 411

1.3.2 Bilans énergétiques des petites centrales hydroélectriques par rapport aux autres centrales électriques

Les seuls chiffres sur le taux de retour et la durée d'amortissement énergétiques des petites centrales hydrauliques suisses datent de 1996⁴⁵, calculés à partir de quatre petites centrales hydroélectriques (voir tableau 3). Il ne semble pas y avoir de chiffres plus actuels pour la Suisse. On peut en outre constater qu'il existe, globalement, peu de données sur les taux de retour énergétiques pour les petites centrales hydroélectriques⁴⁶.

Centrale	Puissance nominale (kW)	TRE (pondéré ¹)	DAE (années)
Champagna-Samedan	361	188	0,4
Obermühle-Baar	150	130	0,6
Mühlibach-Burgdorf	70	87	0,8
Buechetsmatt-Samen	18,5	538	0,06

¹ Avec pour l'électricité, un facteur 2,67 fois supérieur à celui du combustible.

Tableau 3 : TRE et DAE de quatre petites centrales hydroélectriques⁴⁷

Les usines d'Obermühle-Baar et de Mühlibach-Burgdorf sont comparables en termes de type d'installation. Il s'agit de petites centrales hydroélectriques en rivière, avec un TRE relativement faible. Champagna-Samedan est une centrale équipée d'une conduite forcée (haute chute !) avec un TRE relativement élevé. Le turbinage de l'eau potable de Buechetsmatt-Samen présente de loin le meilleur résultat avec un TRE de 538. Ce résultat s'explique par le fait qu'une grande partie des dépenses de l'usine peut être attribuée au réseau d'eau potable et non pas à la production d'électricité⁴⁸. Pour ces 4 sites, la comparaison des durées d'amortissement énergétique amène globalement les mêmes conclusions.

La publication Diane de 1997⁴⁹ présente également les TRE de deux grandes centrales hydroélectriques. La centrale au fil de l'eau de Bannwil, d'une puissance nominale de 24,5 MW, a un taux de retour de 170, et la centrale à accumulation de Tinzen, de 64 MW, de 280. Ainsi, les TRE des petites centrales hydroélectriques se situent dans un même ordre de grandeur.

Comparées à d'autres énergies renouvelables, les petites centrales hydroélectriques sont donc performantes. A noter que les chiffres pour le photovoltaïque évoluent vite que ce soit au niveau des coûts de production que de l'impact négatif sur l'environnement⁵⁰. Ainsi, en 2015, la DAE est comprise entre 0,8 ou 1,7 an en Europe du Sud, selon le système photovoltaïque⁵¹, soit un TRE de 38 ou 17, respectivement, pour une durée de vie de 30 ans⁵². A comparer au TRE de 18 de l'éolien, comme on le trouve alors dans la littérature⁵³.

1.3.3 Effets externes des petites centrales hydroélectriques

En général, la production et l'utilisation d'électricité ont des effets négatifs sur l'environnement, tels que la perte de biodiversité, la pollution atmosphérique ou le changement climatique, pour lesquels personne ne paie ou ne reçoit de compensation. Ces effets externes négatifs peuvent également s'exprimer en coûts externes⁵⁴. Si le prix de l'énergie est un facteur local important face à la concurrence internationale, ces coûts externes sont également pertinents dans le débat environnemental⁵⁵. Comme déjà décrit dans ce chapitre, les impacts négatifs des petites centrales

⁴⁵ W. Baumgartner et G. Doka 1996

⁴⁶ N. Kittner et al. 2016, p. 411

⁴⁷ Tableau INFRAS. Source : W. Baumgartner et G. Doka 1996, p. Z-2

⁴⁸ W. Baumgartner et G. Doka 1996, p. Z-4

⁴⁹ L. von Moos et H. Leutwiler 1997, p. 6

⁵⁰ R. Frischknecht et al. 2015, p. 4

⁵¹ R. Frischknecht et al. 2015, p. 9-10

⁵² ESU-services 2012a, p. ii

⁵³ C.A.S. Hall et al. 2014, p. 143 ; à noter que cette valeur ne se réfère pas spécifiquement à la Suisse.

⁵⁴ INFRAS, econcept, Prognos 1996, p. 35-51

⁵⁵ K. Masuhr et al. 1999, p. 1

hydroélectriques sont plutôt faibles. Contrairement aux grandes centrales hydroélectriques, la petite hydraulique peut souvent ne pas avoir d'impact écologique négatif (tels que les effets d'éclusée). De plus, les petites centrales sont celles qui émettent le moins de gaz à effet de serre (après les grandes centrales au fil de l'eau) et qui ont le taux de retour énergétique le plus élevé.

Pour pouvoir résumer et quantifier les impacts environnementaux déjà évoqués dans ce module, on peut utiliser la méthode des unités de charge écologique (aussi appelées « écopoints »). Dans le cadre d'un écobilan ou d'une analyse du cycle de vie, une analyse systématique d'un produit tout au long de son cycle de vie est effectuée ainsi qu'une évaluation de son impact sur l'environnement. Un inventaire de cycle de vie des produits est réalisé, puis une évaluation des émissions et de la consommation des ressources. La méthode des unités de charge écologique permet de pondérer les impacts environnementaux à l'aide de facteurs écologiques, qui résultent d'objectifs de qualité environnementale fonction des conditions législatives ou politiques⁵⁶.

Comme on peut le constater sur le Tableau 4, l'hydroélectricité, à l'exception des centrales à accumulation par pompage, donne de très bons résultats, surtout en comparaison aux technologies de production d'électricité non renouvelables. Les petites centrales hydroélectriques ont, avec 11,8 unités de charge écologique (UCE) ou écopoints par kilowattheure d'électricité produite, l'un des plus faibles impacts négatifs sur l'environnement. La houille a, avec 664,6 unités de charge écologique (UCE) ou écopoints/kWh, l'impact environnemental le plus élevé des technologies mentionnées dans le tableau.

Technologie	Impact environnemental total en UBP ¹ /kWh
Énergie renouvelable	
Énergie hydraulique	
• Centrale hydroélectrique	9,8
• Centrale hydroélectrique à accumulation	25,5
• Centrale hydroélectrique à accumulation (certifiée ²)	11,1
• Petite hydroélectricité	11,8
• Pompage-turbinage	418,1
Autres énergies renouvelables	
• Solaire	135,7
• Éolien	37,9
• Bois	201,7
• Biogaz Agriculture	178,9
• Biogaz Industrie	312,6
• Géothermie	25,1
Énergie non renouvelable	
Sources d'énergie fossiles	
• Pétrole	558,8
• Gaz naturel	368,9
• Charbon	664,6
Énergie nucléaire	
• Réacteur à eau pressurisée	369,6
• Réacteur à eau bouillante	392,5

¹ Unités de charge écologique (UCE) ou écopoints totaux selon la méthode de la rareté écologique 2013.

² La différence entre l'hydroélectricité à accumulation non certifiée et l'hydroélectricité à accumulation certifiée est que cette dernière ne tient pas compte des pompes.

Tableau 4 : Unités de charge écologique (UCE) ou écopoints^{57,58}

⁵⁶ OFEV et Öbu 2013, p. 16-18

⁵⁷ Tableau INFRAS. Source : treeze Ltd. 2015, p. 20

⁵⁸ En mars 2017, l'étude suivante a été publiée avec des chiffres partiellement nouveaux sur les émissions de gaz à effet de serre en fonction de chaque technologie : treeze Ltd. 2016 : Bilan écologique mix électrique Suisse 2014, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), p. 20.

La comparaison des écopoints demande de tenir compte du fait que les impacts environnementaux ne sont pas tous quantifiés et inclus dans les bilans écologiques. Les données du tableau ci-dessus ne tiennent pas compte des aspects écologiques locaux tels que p.ex. les effets d'écluse, les débits résiduels ou la continuité des eaux en référence à la migration des poissons. C'est pourquoi, par exemple, le label « naturemade star » ne tient pas uniquement compte des bilans écologiques des centrales hydroélectriques, mais aussi des critères écologiques locaux.⁵⁹ Ainsi, il est fort probable que la petite hydraulique présente de meilleurs résultats grâce à des impacts écologiques locaux négatifs moins fréquents.

Une autre possibilité de comparer les effets externes des différentes technologies est proposée dans le rapport suivant, et consiste à déterminer les coûts externes causés par les émissions de gaz à effet de serre :

treeze Ltd 2013 :

[Coûts externes des systèmes énergétiques selon ECOPLAN](#),
sur mandat de l'Office zurichois du bâtiment

Une première estimation des coûts externes des centrales hydroélectriques a été faite dans les années 1990, mais elle n'incluait pas les petites centrales hydroélectriques :

K. Masuhr et al. 1993 :

[Coûts externes de la production hydroélectrique](#).

Étude partielle sur le projet global

Sur mandat de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, de l'Office fédéral de l'énergie et de l'Office fédéral des constructions (bâtiments civils).

Un projet mené sous mandat de l'OFEN, de 2015 à 2017, a développé un outil d'aide à la décision qui permet d'évaluer les aspects écologiques de la construction et de la transformation de petites centrales hydroélectriques.

Carbotech, 2017 :

[« Aide à la décision pour le choix écologique du site des petites centrales hydroélectriques suisses »](#)

Sur mandat du DETEC et de l'OFEN

2. Aspects sociaux

2.1 Conflits d'utilisation

2.1.1 Description des conflits d'utilisation

Lorsqu'il s'agit des eaux, une grande variété d'intérêts et de parties prenantes s'affrontent. Par exemple, la Confédération encourage la petite hydraulique en Suisse dans une certaine mesure, tandis que les associations de défense de l'environnement soulignent avant tout les dommages que les petites centrales hydroélectriques causent à la nature et au paysage⁶⁰. Les associations environnementales critiquent, entre autres, le fait que même les masses d'eau encore intactes sont menacées, et que la production d'électricité de nombreuses petites centrales hydroélectriques reste modeste. Les conflits dans le domaine de l'hydroélectricité ne s'enflamment pas uniquement pour des questions de protection de l'environnement, mais aussi à cause des nombreuses exigences auxquelles sont soumises les cours d'eau dans une Suisse à forte densité de population. Comme on peut le

⁵⁹ K. Flury, R. Frischknecht, R. Itten 2012, p. 35

⁶⁰ WWF 2016

constater sur la Fig. 8 ci-après, outre l'utilisation économique des eaux pour la production d'électricité, les intérêts de protection et d'utilisation suivants sont à considérer⁶¹ :

- Protection des eaux contre toute atteinte nuisible pour les animaux, les plantes, les écosystèmes, les paysages, et afin de préserver la santé des êtres humains.
- Protection contre les dangers liés à l'eau, en particulier les crues.
- Utilisation des eaux à différentes fins, notamment comme eau potable, eau d'usage industriel et eau d'extinction, pour la production agricole et alimentaire, pour la production d'énergie et le refroidissement, pour la navigation, les loisirs et l'enneigement artificiel.

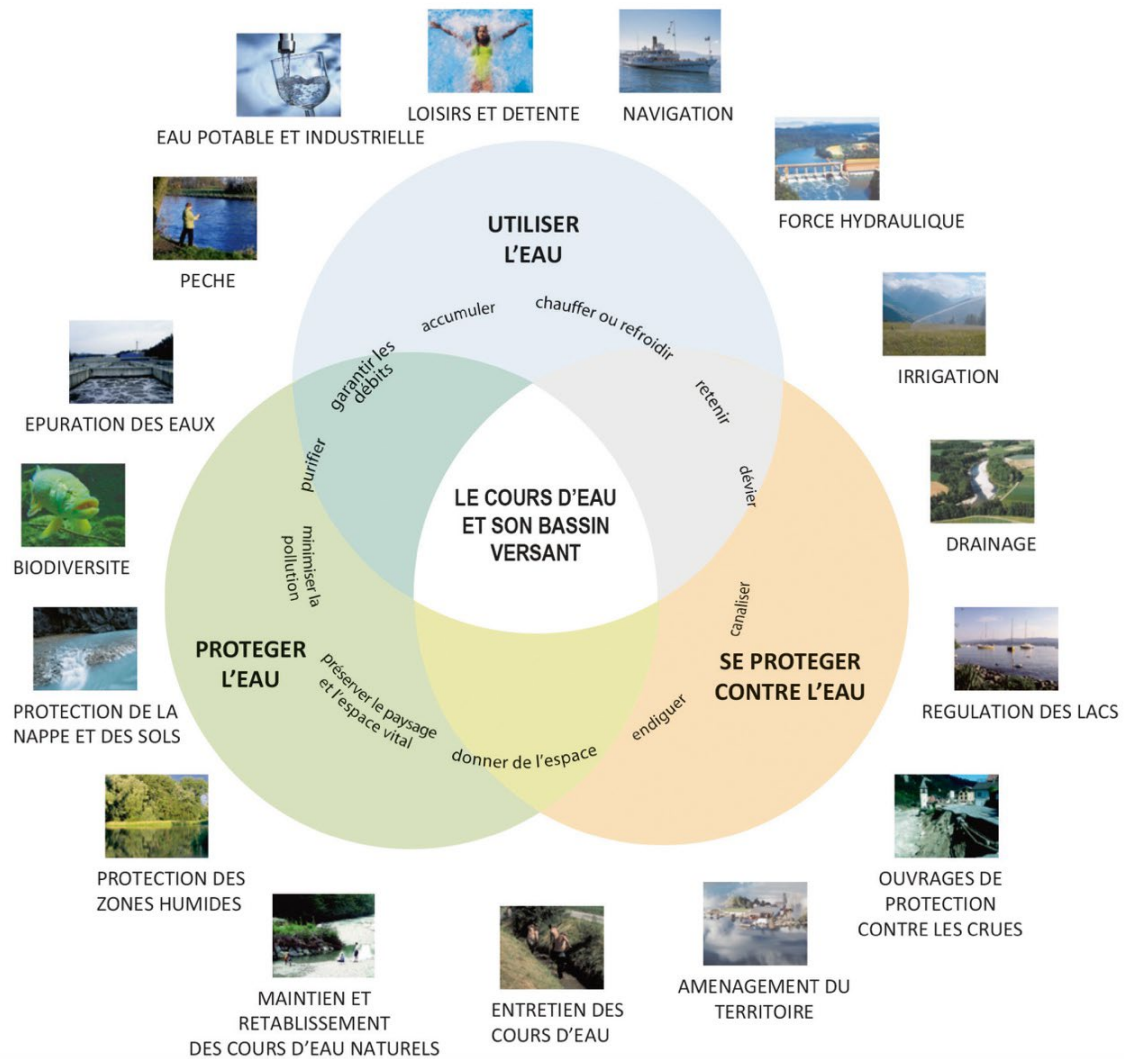


Fig. 8 Fonctions des eaux et vue d'ensemble de la gestion intégrée des eaux⁶²

Les intérêts divergents peuvent également conduire à des conflits au niveau législatif. En raison des objectifs de croissance pour les énergies renouvelables et des instruments de promotion associés, tels que la rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC), de plus en plus de projets ont été développés pour la construction, l'agrandissement et la réactivation de petites centrales

⁶¹ Conseil fédéral 2012, p. 16

⁶² OFEG 2003, p. 12-13

hydroélectriques.⁶³ Toutefois, les objectifs de la loi sur l'énergie en matière d'énergie hydraulique contredisent en partie les objectifs de protection des eaux, des espèces, de l'habitat et du paysage.⁶⁴

Module IV chapitre 1

Le module III donne de plus amples informations sur les intérêts économiques liés à l'utilisation de l'eau par les petites centrales hydroélectriques, comme la création d'emplois dans les régions périphériques.

Module III

Dans le cadre de l'étude « Le potentiel hydroélectrique de la Suisse », les résultats d'une enquête sur les conflits d'utilisation ont été présentés :

OFEN 2012 :

[Le potentiel hydroélectrique de la Suisse](#). Potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050

Se référer également à la version de 2019 :

OFEN 2019 : [Potentiel hydroélectrique de la Suisse](#). Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050.

Dans son rapport sur le postulat 10.353⁶⁵ « Eau et agriculture. Les défis de demain », le Conseil fédéral aborde également les conflits potentiels entre l'utilisation de l'énergie et la protection des eaux.⁶⁶ Les conflits entre la consommation d'énergie et d'autres utilisations telles que l'agriculture, l'eau potable, l'eau industrielle et l'eau d'extinction ou l'enneigement artificiel sont relativement mineurs et sont généralement résolus sur place. Les conflits entre la consommation d'énergie et les intérêts en matière de protection surviennent souvent en matière de débits résiduels, de crues et d'effets d'écluse, ainsi que d'impacts sur la nature et le paysage. Comme nous l'avons décrit au chapitre 1 du présent module, les petites centrales hydroélectriques ne causent pratiquement jamais de conflits en matière d'effets d'écluse. Le conflit potentiel autour des exigences en matière de débits résiduels a déjà été désamorcé dans les années 1990 dans le cadre d'« Énergie 2000 », par un dialogue de résolution de conflit entre centrales électriques et organisations environnementales. Pour contrebalancer les intérêts dans la détermination des exigences en matière de débits résiduels conformément aux art. 31-33 Leaux, il existe depuis 1992, dans l'art. 32, lettre c, LEaux, la possibilité de fixer des exigences plus faibles en matière de débits résiduels. Ceci doit se faire dans le cadre d'une planification de protection et d'utilisation limitées dans l'espace, comme exception de l'art. 31, al. 1, à condition d'une compensation par une protection accrue à un autre endroit du même périmètre de planification.⁶⁷

A côté des conflits, il y a aussi des situations qui offrent des avantages pour tous. Comme nous l'avons vu au chapitre 1 du présent module, il existe environ 101'000 obstacles artificiels dans les rivières suisses qui entravent la migration des poissons. Il est souvent financièrement impossible de rétablir et de maintenir la circulation des poissons. Comme un bon nombre de ces obstacles permet d'utiliser le potentiel hydroélectrique, la construction d'une petite centrale hydroélectrique pourrait en même temps améliorer la situation écologique.⁶⁸

⁶³ SuisseEnergie 2012, p. 36

⁶⁴ OFEV, OFEN et ARE 2011, p. 8

⁶⁵ <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20103533>

⁶⁶ Conseil fédéral 2012, p. 45

⁶⁷ SuisseEnergie 2012, p. 36

⁶⁸ SSH 2016, p. 4

2.1.2 Options pour réduire les conflits d'utilisation

Les conflits d'utilisation ne peuvent pas être résolus d'une manière générale. Cependant, au niveau des stratégies et des priorités régionales, il existe déjà des possibilités de réduire certains conflits par une mise en balance transparente et participative des intérêts et la définition de priorités.⁶⁹ Il est recommandé aux cantons d'élaborer une stratégie globale de protection et d'utilisation pour contrôler l'utilisation de l'énergie hydraulique dans leurs cours d'eau.⁷⁰ Il peut en résulter une stratégie de gestion des petites centrales hydroélectriques.

L'OFEV, l'OFEN et l'ARE ont publié en 2011 les aides à l'exécution suivantes :

OFEV, OFEN et ARE 2011 :

[Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques](#)

Une stratégie de protection et d'utilisation doit permettre une répartition adéquate des eaux, en désignant les cours d'eau dont il est en principe possible d'utiliser la force hydraulique de manière judicieuse et mesurée, et ceux qu'il est prioritaire de protéger. Pour l'évaluation de ces cours d'eau, l'OFEV, l'OFEN et l'ARE proposent de tenir compte d'une série d'intérêts de protection et d'utilisation. En vue de pouvoir mesurer les intérêts, les cours d'eau sont subdivisés en quatre catégories comme présenté par la Fig. 9.

Intérêt de protection	Exclusion	noir	noir	noir	Légende	
	Très haute valeur	rouge	rouge	jaune		■ Noir: exclusion
	Haute valeur	rouge	jaune	vert		■ Rouge: protection
	Autres cours d'eau	jaune	vert	vert		■ Jaune: réserve
		Potentiel faible	Potentiel moyen	Potentiel élevé	■ Vert: intérêt	
		Intérêt d'utilisation				

Fig. 9 Matrice pour la pesée des intérêts de protection et d'utilisation de cours d'eau⁷¹

De nombreux cantons ont déjà élaboré ou sont en train d'élaborer une stratégie cantonale de protection et d'utilisation de l'énergie hydraulique. Cependant, certains cantons se sont également prononcés explicitement contre un outil ou une stratégie, comme les cantons de Vaud, d'Appenzell Rhodes-Extérieures, d'Appenzell Rhodes-Intérieures, de Schwyz et de Zoug⁷². A l'exception du canton de Vaud, le nombre de demandes pour de petites centrales hydroélectriques dans ces cantons est également faible.

⁶⁹ Conseil fédéral 2012, p. 17

⁷⁰ OFEV, OFEN et ARE 2011, p. 9

⁷¹ OFEV, OFEN et ARE 2011, p. 21

⁷² BG Ingenieure und Berater 2012, p. 4 ; Selon la publication, le canton de Thurgovie n'avait pas encore décidé à l'époque si un instrument devait être développé. Entre-temps, un tel instrument a été élaboré :

https://umwelt.tg.ch/public/upload/assets/12940/Wassernutzung_im_TG.pdf [29.11.2016]

Les principaux résultats de la stratégie de protection et d'utilisation des cours d'eau doivent être intégrés dans le plan directeur cantonal. Dans le plan directeur, le niveau de détails du traitement des petites centrales hydroélectriques doit être adapté en fonction de l'importance de la petite hydraulique dans un canton ou une région⁷³. Toutefois, l'évaluation des conflits d'objectifs concrets ne peut avoir lieu que dans le cas de projets concrets. Pour traiter ces conflits, on fait appel aux procédures existantes d'aménagement du territoire et à celles de la demande de permis de construire⁷⁴.

SuisseEnergie 2012 :

[Manuel petites centrales hydrauliques - informations sur la planification, la construction et l'exploitation](#), Chapitre 4.2 Procédures d'octroi d'une concession et d'autorisation, étude de l'impact sur l'environnement

SuisseEnergie 2016 :

[Petites centrales hydrauliques planification et procédures](#).
Guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage

2.2 Protection des monuments historiques

Dans certains cas, les anciennes petites centrales hydrauliques ont une valeur historique en tant que témoins de l'utilisation industrielle précoce de l'hydroélectricité.⁷⁵ Le Conseil fédéral est d'avis que les petites centrales historiques ou les anciens moulins doivent être préservés autant que possible en raison de leur valeur culturelle⁷⁶. Dans une étude publiée en 2004, 309 petites centrales hydroélectriques de valeur historique ont été identifiées dans huit cantons (BE, BS, GE, JU, NE, OW, TG, ZH) pour lesquelles les données nécessaires ont pu être recueillies⁷⁷. La restauration de ces centrales peut être soutenue par les offices cantonaux de protection du patrimoine⁷⁸. Des exemples montrent que la rénovation d'une petite centrale hydroélectrique et les revenus qui y sont associés permettent souvent de conserver des sites. En principe, la planification des projets de petites centrales hydroélectriques doit inclure la protection du patrimoine et les éventuelles expertises nécessaires à la protection des monuments historiques⁷⁹.

Sur la base du postulat UREK No 01.3211 de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil national, il a été examiné si l'assainissement des débits résiduels au sens de l'art. 80 LEaux⁸⁰ entraînerait la fermeture de centrales hydroélectriques qui méritent d'être conservées du point de vue de la protection des monuments historiques.⁸¹ La proportion de petites centrales hydroélectriques qui pourraient engendrer un conflit s'élève à environ 10% des ouvrages importants du point de vue de la protection du patrimoine⁸². Il a pu être démontré que l'art. 80 LEaux laissait aux autorités cantonales une marge d'appréciation suffisante. Ceci leur permet de trouver des solutions qui tiennent suffisamment compte des intérêts de la protection des eaux, de la nature et du paysage, ainsi que du patrimoine⁸³. Étant donné qu'un conflit n'est jamais totalement exclu, il est recommandé d'impliquer les autorités cantonales responsables de la protection du patrimoine le plus tôt possible en cas d'assainissement ou de nouvelle concession de centrales hydroélectriques d'intérêt historique⁸⁴.

⁷³ OFEV, OFEN et ARE 2011, p. 24

⁷⁴ OFEV, OFEN et ARE 2011, p. 20

⁷⁵ SuisseEnergie 2012, p. 61

⁷⁶ Conseil fédéral 2004, p. 6634

⁷⁷ Conseil fédéral 2004, p. 6635

⁷⁸ SuisseEnergie 2012, p. 61

⁷⁹ SuisseEnergie 2012, p. 16

⁸⁰ Cf. Modul IV, chapitre 1.2.2

⁸¹ OFEFP 2004, p. 6

⁸² OFEFP 2004, p. 6

⁸³ OFEFP 2004, p. 31 und Conseil fédéral 2004, p. 6636

⁸⁴ OFEFP 2004, s. 31

Les informations sur ce thème se trouvent dans :

OFEFP 2004 :

Assainissement des débits résiduels pour les petites centrales hydroélectriques présentant un intérêt historique, documents environnement no 190 protection des eaux, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

Conseil fédéral 2004 :

[Rapport du Conseil fédéral sur l'assainissement des débits résiduels pour les petites centrales hydrauliques présentant un intérêt historique](#)

Modul VI Exemple 08

Informations pour la prise en compte de la protection des monuments historiques dans la planification de projets de petites centrales hydroélectriques :

SuisseEnergie 2012 :

[Manuel petites centrales hydrauliques, informations sur la planification, la construction et l'exploitation](#)

SuisseEnergie 2016 :

[Petites centrales hydrauliques planification et procédures.](#)

Guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage.

Chapitre 4.3.5 Critère en matière de « conservation du patrimoine »

2.3 Relations publiques

Le travail de relations publiques est important à deux niveaux. D'une part, il est important pour les maîtres d'ouvrage et les investisseurs lors de la planification de projets concrets de petites centrales hydroélectriques et, d'autre part, pour la politique et les groupes d'intérêt dans la formulation des conditions cadres pour les petites centrales hydroélectriques.

Étant donné que le travail de relations publiques dans la planification de projets de petites centrales hydroélectriques dépend dans une large mesure de la taille et de l'emplacement du projet, il n'est pas possible de donner des instructions générales. En principe, il est toutefois important qu'un concept d'adéquation à l'environnement soit élaboré pour toutes les phases critiques du projet.⁸⁵ Il faudrait le faire dès le début de la phase de planification du projet afin qu'une réaction rapide soit possible. Notamment pour ce qui concerne les phases d'autorisation, il est important de décider à un stade précoce comment le public sera informé et dans quelle mesure les éventuelles parties prenantes et opposants, tels que les propriétaires fonciers et les associations environnementales, seront impliqués.⁸⁶

Pour les projets généraux de planification de petites centrales hydroélectriques, voir :

Module II chapitre 4 Planification / processus de planification

SuisseEnergie 2016 :

[Petites centrales hydrauliques planification et procédures.](#)

Guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage

⁸⁵ SuisseEnergie 2012, p. 13

⁸⁶ SuisseEnergie 2016, p. 74

Le travail de relations publiques pour le débat politique est effectué par différents acteurs. La Confédération et les cantons exercent des activités de relations publiques par le biais des médias et de conférences, qui contribuent indirectement à la promotion des petites centrales hydroélectriques. Voir par exemple :

[Dossier de presse de SuisseEnergie relatif à la petite hydraulique](#)

[Newsletter de SuisseEnergie relative à la petite hydraulique](#)

Swiss Small Hydro, l'association suisse pour la petite hydraulique, met également des informations à disposition pour le travail de relations publiques. Voir par exemple l'argumentation en faveur des petites centrales hydroélectriques, leur brochure sur les microcentrales hydroélectriques et les explications y relatives.

[10 bonnes raisons d'opter pour les petites centrales hydrauliques](#)

[Explications sur la brochure 300 kW](#)

[Argumentation en faveur des petites centrales hydroélectriques](#)

Les associations environnementales fournissent également des informations pour le débat politique sur les petites centrales hydroélectriques. Voir par exemple :

[Fiche d'information de l'alliance environnementale](#)

De nombreuses petites centrales hydroélectriques peuvent également être visitées par le public, en en faisant la demande via le [Centre InfoEnergie pour la petite hydraulique](#), soutenu par SuisseEnergie.

Glossaire

Appauvrissement génétique	Chaque espèce, chaque individu représente une réserve d'informations génétiques (gènes). La quantité de gènes par individu varie considérablement. La totalité de tous les gènes d'une espèce est appelée le « pool génétique ». Comme chaque individu d'une espèce supérieure diffère de l'autre par sa variabilité génétique, le pool génétique se rétrécit déjà rien que par la diminution de la taille de la population et non seulement par l'extinction de l'espèce entière. Une extinction des espèces accélérée par l'homme entraîne inévitablement un appauvrissement génétique.
Benthos	L'ensemble des organismes présents au fond d'un cours d'eau, dans la zone dite benthique. Le benthos comprend à la fois les organismes fixes (sessiles) et les organismes mobiles (vagiles) rampant, marchant ou flottant temporairement sur le fond.
Biotope	Habitat lié à une biocénose, c'est-à-dire à l'ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace écologique donné, y compris leurs organisations et interactions.
Colmatage	Si le débit est trop faible pour éliminer complètement les sédiments fins, ils se déposent sur le lit de la rivière et combrent les espaces vides, d'une valeur hydro-écologique importante. Ce matériau se solidifie progressivement. D'où une disparition de ces espaces vides.
Dérive	Le transport passif des organismes par l'eau.
Écoulement	L'eau qui coule dans les cours d'eau et les rivières constitue les ressources en eau renouvelables disponibles dans une région. Ce flux est le résultat du bilan hydrique régional, qui tient compte des précipitations, de l'évaporation et de la variation de l'état des réserves : écoulement = précipitations - évaporation - variation de l'état des réserves
Eutrophisation	Eutrophe vient du grec et signifie « bien nourri ». Il s'agit d'une augmentation des éléments nutritifs, en particulier du phosphore et des composés azotés dans un cours d'eau et de la croissance excessive des plantes aquatiques qui y est associée (p. ex. algues, potamots - plantes aquatiques -). Il en résulte également une végétation progressive des rives et une formation accrue de boues dans le sol, ce qui peut finalement entraîner peu à peu un assèchement des eaux stagnantes.
Mortalité	La mortalité ou taux de mortalité se réfère au nombre de décès par rapport au nombre total d'individus ou, dans le cas du taux de mortalité spécifique, par rapport à celui de la population concernée, généralement dans un certain laps de temps.
Poissons lithophiles	Espèces de poissons frayant sur le gravier et les galets au fond de l'eau, puis recouvrant le frai de cailloux. Des exemples typiques sont la truite et l'ombre.
Régime d'écoulement des eaux	Le régime d'écoulement des eaux décrit l'évolution moyenne du débit sur une année. Pour calculer les régimes, on prend pour chaque mois le quotient de la valeur moyenne mensuelle et de la valeur moyenne annuelle. Le régime d'écoulement fournit des informations importantes pour l'utilisation des eaux et par conséquent pour la production d'électricité.

Bibliographie

Cette liste a été mise à jour en octobre 2019.

- Alliance environnementale 2016 : Fiche d'information force hydraulique, http://www.umweltallianz.ch/fileadmin/user_upload/Energiezukunft/Faktenblaetter/Faktenblatt_Wasserkraft_F.pdf
- BG Ingénieurs Conseils 2012 : Aperçu des stratégies et des outils cantonaux pour l'utilisation de la force hydraulique. Agenda 21 pour l'eau en collaboration avec l'OFEV et l'OPEN.
- Carbotech, 2017 : Aide à la décision pour le choix écologique du site des petites centrales hydroélectriques suisses, « Entscheidungshilfe für die ökologische Standortwahl von Schweizer Kleinwasserkraftwerken », sous mandat du DETEC et de l'OFEN, en allemand
<https://carbotech.ch/cms/wp-content/uploads/501287-01-KWKW-Carbotech-SB-2016-v3.pdf>
- C.A.S. Hall et al. 2014 : EROI of different fuels and the implications for society, Energy Policy, Volume 64, p. 141-152.
- Conseil fédéral 2004 : Rapport du Conseil fédéral sur l'assainissement des débits résiduels pour les petites centrales hydrauliques présentant un intérêt historique (en réponse au postulat 01.3211 du 10 avril 2001 de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil national) du 27 octobre 2004.
- D. Weissbach et al. 2013 : Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants, in: Energy, Volume 52, p. 210-221.
- DIANE 1996 : Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux.
- DIANE 1997a : Poissons et petites centrales hydrauliques : solutions avantageuses de franchissement pour les poissons et la microfaune aquatique.
- DIANE 1997b : Continuité dans les petites centrales hydroélectriques. Enquête sur la continuité des eaux pour les poissons et la microfaune aquatique.
- EAWAG 2001 : Certification de l'éco-électricité pour les centrales hydroélectriques – concepts, procédés, critères.
- ESU-Services 2012a : Émissions de gaz à effet de serre des mix électriques suisses, Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe, rapport sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, en allemand.
- ESU-Services 2012b : Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation, sur mandat de l'Öko-Institut, en anglais.
- ESU-Services et PSI 2012 : Impact environnemental de la production d'électricité en Suisse, v1.4, rapport sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.
- K. Flury, R. Frischknecht, R. Itten 2012 : Enseignements des éco-bilans actuels concernant l'électricité produite à partir d'énergie hydraulique. Le transport de l'électricité et les pompes d'alimentation influencent le bilan, Erkenntnisse aktueller Ökobilanzen zu Strom aus Wasserkraft.; Stromtransport und Zulieferpumpen prägen die Bilanz, Dans : Technologie Wasserkraft Bulletin 2/2012, p. 33-36, en allemand, esu-services.ch/fileadmin/download/flury-2012-Bulletin-SEV.pdf
- R. Frischknecht et al. 2015: Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-04:2015.
- ISKB/ADUR 2015a : 10 bonnes raisons d'opter pour les petites centrales hydrauliques, quelques faits concernant les centrales hydrauliques de 300 kW, http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2015/12/Pro-Kleinwasserkraftwerke_300-kW.pdf
- ISKB/ADUR 2015b: Brochure centrales hydrauliques de 300 kW, en allemand- <http://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2015/12/Erlaeuterungen-zur-300-kW-Broschuere.pdf>
- K. Masuhr et al. 1993 : Coûts externes de la production hydroélectrique. Étude partielle sur le projet global « Externalitäten der Wärme- und Stromversorgung und Ermittlung von Energiepreiszuschlägen ». Sur mandat de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, de l'Office fédéral de l'énergie et de l'Office fédéral des constructions (bâtiments civils), en allemand, www.energie.ch/bfk/pacer/270_4D.pdf

- L. von Moos et H. Leutwiler 1997 : Aperçu général des petites centrales hydroélectriques. Élaboré dans le cadre du projet DIANE 10 Petite hydroélectricité. Office fédéral de l'énergie, Berne.
https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnNlcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMTM1OS5wZGY=.pdf
- N. Kittner et al. 2016 : Energy return on investment (EROI) of mini-hydro and solar PV systems designed of a mini-grid, in: Renewable Energy, Volume 99, p. 410-419.
- OFEFP 1991 : Assainissement au sens de l'art. 80 ss LEaux du 24.1.1991; Cahier de l'environnement no 163.
- OFEFP 1997 : EIE des aménagements hydroélectriques. Mesures pour la protection de l'environnement; Informations concernant l'Étude d'impact sur l'environnement (EIE).
- OFEFP 2004 : Assainissement des débits résiduels pour les petites centrales hydroélectriques présentant un intérêt historique, documents environnement no 190 protection des eaux, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.
- OFEFP 2004 : Débits résiduels - quel bénéfice pour les cours d'eau ? Cahier de l'environnement no SRU-358-F
- OFEF 2003 : Plongée dans l'économie des eaux. Découvrez le monde fascinant de l'économie des eaux en Suisse.
- OFEN 2007 : Perspectives énergétiques pour 2035 (tome 1) Synthèse Modélisation, comparaisons, évaluations et défis. Janvier 2007. https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/politique/strategie-energetique-2050/documentation/perspectives-energetiques-2035/jcr_content/par/tabs/items/tab/tabpar/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnNlcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMjM1OS5wZGY=.pdf
- OFEN 2012 : Potentiel hydroélectrique de la Suisse. Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050. Juin 2012.
www.news.admin.ch/news/message/attachments/27058.pdf
- OFEN 2019 : Potentiel hydroélectrique de la Suisse. Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050. Août 2019.
<https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/58260.pdf>
- OFEV 2007 : Réactivation du régime de charriage dans les cours d'eau suisses, mesures et coûts.
- OFEV 2009 : Écomorphologie des cours d'eau suisses, État du lit, des berges et des rives; Résultats des relevés écomorphologiques État : Avril 2009. État de l'environnement no 0926
- OFEV 2012a : Assainissement des éclusées – Planification stratégique, L'environnement pratique no 1203.
- OFEV 2012b : Revitalisation des cours d'eau – Planification stratégique, L'environnement pratique no 1208.
- OFEV 2012c : Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique L'environnement pratique n° 1226.
- OFEV 2012d : Migration du poisson vers l'amont et vers l'aval à la hauteur des ouvrages hydroélectriques. Checkliste best practice.
- OFEV 2012e : Rétablissement de la migration du poisson – Planification stratégique; aide à l'exécution.
- OFEV 2012f : Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro).
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/impacts-changements-climatiques-eau.html>
- OFEV 2012g : Adaptation aux changements climatiques en Suisse - Objectifs, défis et champs d'action.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/publications-etudes/publications/adaptation-changements-climatiques-suisse-2012.html>
- OFEV 2015 : Assainissement des débits résiduels au sens de l'art. 80 ss LEaux : État fin 2014 et évolution depuis fin 2012.
- OFEV 2016 : État des cours d'eau suisses, Résultats de l'observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011-2014.

- OFEV et Öbu 2013 : Ecofacteurs suisses 2013 selon la méthode de la saturation écologique. Bases méthodologiques et application à la Suisse.
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wirtschaft-konsum/uw-umwelt-wissen/oekofaktoren_schweiz2013gemaessdermethodederoekologischenknapphe.pdf.download.pdf/ecofacteurs_suisses2013selonlamethodedelasaturationecologique.pdf
- OFEV, OFEN et ARE 2011 : Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques,
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/recommandation-strategies-cantonales-protection-utilisation-domaine-petites-centrales-hydroelectriques.html>
- Société suisse d'hydrologie et de Limnologie SSHL et de la Commission suisse d'hydrologie CHy 2011 : Impact du changement climatique sur l'utilisation de l'hydroélectricité. Rapport de synthèse. Matériaux pour l'Hydrologie de la Suisse, n° 38.
- SuisseEnergie 2010 : Dossier de presse relatif à la petite hydraulique, Office fédéral de l'énergie.
- SuisseEnergie 2012 : Manuel petites centrales hydrauliques, informations sur la planification, la construction et l'exploitation, Office fédéral de l'énergie. https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZnlvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvNjUzOS5wZGY=.pdf
- SuisseEnergie 2016 : Petites centrales hydrauliques, planification et procédures, guide pratique pour les maîtres de l'ouvrage, Office fédéral de l'énergie.
- SSH 2016 : Swiss Small Hydro, Argumentation en faveur des petites centrales hydroélectriques,
<https://swissmallhydro.ch/wp-content/uploads/2016/06/Argumentation-Kleinwasserkraft-F-2016.pdf>
- SSH 2019 : Swiss Small Hydro, Communiqué de presse sur l'étude du potentiel hydroélectrique de l'OFEN : les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 risquent de ne pas être atteints !
<https://swissmallhydro.ch/fr/potentiel-hydro2019/>
- Treeze Ltd 2013 : Coûts externes des systèmes énergétiques selon ECOPLAN, sur mandat de l'Office zurichois du bâtiment, en allemand
treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/492_Externe-Kosten-von-Energiesystemen-ECOPLAN-v1.0.pdf
- Treeze Ltd 2014 : Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Version 1.3, sur mandat de l'Institut Paul Scherrer
- Treeze Ltd 2016 : Bilan écologique mix électrique Suisse 2014, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/Umweltbilanz%20Strommix%20Schweiz%202014%20.pdf.download.pdf/589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3_0.pdf
- W. Baumgartner et G. Doka 1996 : Bilans énergétiques des petites centrales hydroélectriques. Durée d'amortissement énergétique –taux de retour énergétique - Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken (DIANE 10). Energierückzahldauer – Energieerntefaktor - DIANE 10 Petite hydroélectricité. Office fédéral de l'énergie, Berne – en allemand - https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/publications/jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZG93bmxvYWQvMTN5NS5wZGY=.pdf
- WWF 2016 : Quel est l'état de santé de nos cours d'eau : État et nécessité de protection des cours d'eau suisses.
https://www.wwf.ch/sites/default/files/doc-2017-07/2016-12-etude-resume-etat-des-cours-d%27eau-suisses_jbr.pdf
- WWF et Pro Natura 2008 : Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke (catalogue de critères pour centrales hydroélectriques écologiques). En allemand

SuisseEnergie

Office fédéral de l'énergie OFEN; 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