



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Division Economie

Le potentiel hydroélectrique de la Suisse

Potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie
énergétique 2050

Juin 2012



Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen • Adresse postale: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00 • contact@bfe.admin.ch • www.bfe.admin.ch



Résumé

Le Conseil fédéral voit dans le développement de la force hydraulique une contribution importante à l'approvisionnement en électricité futur de la Suisse. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN), s'appuyant sur les avis des principaux acteurs impliqués (administrations fédérale et cantonales, milieux scientifiques, associations écologistes et industrie électrique), a analysé avec soin le potentiel hydroélectrique, afin de vérifier la croissance de référence de 4 TWh/a à l'horizon 2050 postulée dans la nouvelle stratégie énergétique.

Les résultats de la présente étude montrent que le développement de la force hydraulique en Suisse polarise fortement les opinions. Le conflit naît souvent de préoccupations écologiques. La protection de l'environnement n'est cependant pas le seul élément qui limite l'extension de la force hydraulique. Dans une Suisse densément peuplée, les cours d'eau répondent à tout un éventail de besoins. A cela s'ajoute que bien des projets ne sauraient atteindre le seuil de rentabilité dans les conditions actuelles, ce qui les condamne à la relégation.

Le potentiel de développement de la force hydraulique d'ici 2050 a été estimé dans deux scénarios. Le scénario «conditions d'utilisation actuelles» montre l'accroissement de production envisageable au vu des contraintes légales, économiques et socioéconomiques qui prévalent de nos jours. Le scénario «conditions d'utilisation optimisées» implique un changement des conditions économiques et socioéconomiques qui permettrait de développer la production d'hydroélectricité sans violer les exigences constitutionnelles relatives au développement durable et à la protection de l'environnement. Il faudrait pour cela que la Confédération et les cantons affichent clairement leur volonté de développer la production hydroélectrique indigène, que ladite volonté soit largement partagée par la population et que l'on soit disposé à attribuer à cette action plus de poids dans la pesée des intérêts. En outre, il importe d'associer à temps tous les intéressés de la conception et de la réalisation des projets. Pour améliorer la rentabilité de certains d'entre eux, il faut leur accorder une aide financière plus importante, en particulier en faveur de l'extension des grandes centrales, tout en simplifiant les procédures d'octroi des autorisations et des concessions. Des potentiels nouveaux apparaîtront réalisables d'eux-mêmes en cas de renchérissement de l'électricité, évolution prévue dans les perspectives énergétiques 2050 de l'OFEN.

Résultats de l'évaluation du potentiel de développement de force hydraulique (GWh/a) :

	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
<i>Nouvelles grandes centrales</i>	770	1'430
<i>Petite hydraulique</i>	1'290	1'600
<i>Transformation, extension, agrandissement grandes centrales</i>	870	1'530
<i>Effets LEaux</i>	- 1'400	- 1'400
Potentiel total	1'530	3'160

Les potentiels indiqués, tant pour les grandes installations que pour la petite hydraulique, découlent avant tout des estimations des cantons. Partout où c'était possible, on s'est appuyé sur des projets concrets. Pour les travaux de transformation, d'extension et d'agrandissement d'installations en place, les calculs se basent sur des études antérieures et sur les estimations de la branche. Les effets de la loi sur la protection des eaux ont été évalués par l'administration fédérale. Conformément aux plus récentes recherches sur le changement climatique, on a admis que celui-ci n'aurait pas, jusqu'en 2050, d'influence sur la production hydroélectrique annuelle moyenne.



Table des matières

1	Situation	1
1.1	Stratégie énergétique 2050	1
1.2	Perspectives énergétiques	1
1.3	Objectifs, délimitation	1
1.4	La notion de potentiel	2
2	Bases actuelles.....	2
2.1	Etudes menées jusqu'en 2006	2
2.2	Perspectives énergétiques 2035	3
2.3	Stratégie d'utilisation de l'énergie hydraulique en Suisse	3
2.4	Actualisation des Perspectives énergétiques 2035.....	3
2.5	Autres études du potentiel des petits aménagements hydrauliques.....	4
3	Saisie des données	4
4	Réactions.....	5
4.1	Remarques générales	5
4.2	Entraves au développement de la force hydraulique, solutions proposées.....	6
4.3	Procédures, compétences d'autorisation	7
5	Evaluation du potentiel	7
5.1	Introduction	7
5.2	Grandes centrales hydrauliques.....	8
5.3	Petits aménagements hydrauliques	9
5.4	Travaux de transformation et d'extension des grandes centrales.....	10
5.5	Conséquences de la loi sur la protection des eaux.....	11
5.6	Changement climatique et force hydraulique	12
5.7	Vue d'ensemble des potentiels.....	13
6	Conclusion	13
7	Bibliographie.....	15
	Annexe 1: Détail des réactions recueillies: entraves et solutions proposées	18
	Annexe 2: Liste des projets de grandes centrales	23
	Annexe 3: Potentiels des petits aménagements hydrauliques, par canton	24



1 Situation

1.1 Stratégie énergétique 2050

Le Conseil fédéral entend garantir encore à l'avenir la sécurité d'approvisionnement de la Suisse en électricité, même si l'énergie nucléaire doit être abandonnée à moyen terme. Tel est le sens de sa décision du 25 mai 2011. Les centrales nucléaires actuelles devront être arrêtées au terme de leur durée d'exploitation sûre, sans faire place à de nouveaux équipements de ce type. La stratégie énergétique vise à assurer la sécurité d'approvisionnement en tablant sur des économies plus généralisées (efficacité énergétique) ainsi que sur le développement de la force hydraulique et des nouvelles énergies renouvelables; si besoin est, on aura recours à la production d'électricité fossile (installations à couplage chaleur-force, centrales combinées à gaz) et à l'importation. Parallèlement, il faut développer sans tarder les réseaux électriques et renforcer la recherche énergétique. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a été chargé de concrétiser la stratégie énergétique 2050 conformément à ces impératifs, pour faire rapport en été 2012 sur les mesures à prendre, leurs conséquences et les coûts qui en résulteront, ainsi que sur les possibilités de financement. En automne de cette année, un projet sera mis en consultation.

Dans le contexte de la réorientation de la politique suisse de l'énergie, le Conseil fédéral a postulé un accroissement de la production hydroélectrique de l'ordre de 4 TWh/a d'ici en 2050. Si cet objectif n'était pas atteint, il faudrait, selon la demande, recourir davantage à d'autres formes d'énergie ou à l'importation.

1.2 Perspectives énergétiques

Afin de permettre au Conseil fédéral d'adopter une décision de principe, on a actualisé au printemps 2011 les Perspectives énergétiques 2035. On a alors admis la possibilité d'accroître de 4 TWh/a la production hydroélectrique (installations au fil de l'eau et à accumulation) à l'horizon 2050.¹ Les fondements de cette estimation du potentiel d'augmentation ont fait l'objet d'un document publié par l'OFEN le 10 juin 2011.² Une adaptation systématique des modèles illustrant les Perspectives ainsi que la vérification de toutes les données initiales ont abouti à la note de discussion adressée au Conseil fédéral au printemps 2012.

1.3 Objectifs, délimitation

Le développement de la force hydraulique est un élément central de la stratégie énergétique 2050. Afin de vérifier le chiffre de 4 TWh/a postulé par le Conseil fédéral, l'OFEN a mené la présente étude du potentiel. Les résultats seront intégrés dans les Perspectives énergétiques.

Le présent rapport montre dans quelle mesure la production annuelle d'électricité indigène d'origine hydraulique peut être accrue jusqu'en 2050. Il s'agit de déterminer une fourchette pour l'exploitation de ce potentiel. La limite inférieure se situe au niveau de l'augmentation de la production réalisable compte tenu des conditions actuelles. La valeur la plus élevée correspond au potentiel durable admissible en vertu des impératifs écologiques dans des conditions d'exploitation optimisées. Il s'agit de présenter les facteurs (relevant notamment de l'économie, de l'écologie, de l'aménagement du territoire, de la société) décisifs dans la réalisation de ce potentiel. Quant à l'adaptation des conditions cadres, on évitera expressément de formuler des recommandations et on se bornera à mettre en relation les potentiels décrits et les conditions d'exploitation admises à titre d'hypothèses. Le point de départ de l'évaluation se situe au 1er janvier 2012 – les capacités de production figurant dans

¹ Prognos (2011). La production obtenue dans de nouvelles installations à pompage-turbinage a été évaluée à 6 TWh/a.

² OFEN (2011).



la statistique des aménagements hydroélectriques à ce moment-là (production moyenne annuelle escomptée: 35,8 TWh/a³) ne sont pas prises en compte dans la détermination du potentiel. Les potentiels de développement considérés se rapportent à l'horizon 2050, sans référence à leur échelonnement dans le temps. L'augmentation de production due à l'exploitation de pompage-turbinage n'est pas considérée ici car les équipements en question consomment, sur l'année hydrologique, plus de courant qu'ils n'en produisent. On a également laissé de côté l'extension de bassins d'accumulation destinée à faciliter le transfert saisonnier lorsqu'il n'en résulte pas un accroissement de la production annuelle. Il faut néanmoins souligner l'importance majeure de ces équipements dans la concrétisation de la stratégie énergétique 2050.⁴

On notera par ailleurs que la Confédération se borne à fixer les conditions cadres de l'approvisionnement en électricité, la réalisation de centrales sur des sites appropriés incombant à la branche électrique. Bien que la détermination du potentiel se réfère autant que possible à des projets et chiffres concrets, les projets individuels ne figurent pas au premier plan.

1.4 La notion de potentiel

Dans cette étude, le potentiel est compris de la façon suivante⁵: le *potentiel théorique* est l'offre physique totale d'un type d'énergie renouvelable dans la région considérée, sans égard aux restrictions réelles imposées à l'exploitation. Le *potentiel technique* est la part du potentiel théorique réalisable dans les limites des contraintes techniques. Le *potentiel attendu* est la part du potentiel technique répondant aux critères d'économie, d'écologie et d'acceptabilité sociale. C'est ce dernier potentiel que l'on veut évaluer ici.

2 Bases actuelles

2.1 Etudes menées jusqu'en 2006

Dans une étude souvent citée, Broggi et Reith évaluèrent en 1984 quarante projets d'exploitation de la force hydraulique dans l'optique de la protection de la nature et du paysage.⁶ Leurs travaux ont été pris en compte notamment par Elektrowatt dans une analyse datant de 1987.⁷ Celle-ci prévoyait un accroissement de la production hydraulique de l'ordre de 4 à 6 TWh/a entre 1985 (production moyenne escomptée à ce moment-là: 32 TWh/a) et 2025. Outre l'ouvrage de Broggi et Reith, les présentes estimations s'appuient sur des listes de projets propres à Elektrowatt. Pour ce qui est de la petite hydraulique (équipements n'atteignant pas 10 MW), Desserich + Funk en ont étudié en 1987 le potentiel de développement, compte tenu des conditions générales écologiques, économiques et politiques.⁸ Leurs travaux ont abouti à la conclusion que cet apport peut être accru de 1,2 à 2 TWh/a entre 1985 et 2025 en supposant une bonne acceptation sociale, en précisant toutefois que l'ampleur du développement dépendra avant tout de l'aide financière obtenue. Laufer et al. (Elektrowatt-Ekono), travaillant sur mandat de l'OFEN, ont établi en 2004 une évaluation détaillée du potentiel d'exploitation de la force hydraulique jusqu'en 2050.⁹ Afin de déterminer le potentiel technique des nouvelles installations à construire (5,5 TWh/a), les listes de projets d'Elektrowatt (1987) ont été prises en compte. Une analyse séparée portant sur l'accroissement de production imputable à des travaux de

³ Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse, état au 1^{er} janvier 2012

⁴ Les atouts des centrales à pompage-turbinage sont notamment leur apport à la sécurité d'approvisionnement en hiver, la possibilité de transfert temporaire grâce au pompage-turbinage et plus généralement, la flexibilité de leur production. Le présent rapport fait l'impasse sur la disponibilité de la force hydraulique dans le temps.

⁵ Cf. OFEN (2007b).

⁶ Broggi und Reith (1984).

⁷ Elektrowatt (1987). Autres études datant de la même époque : SWV (1987), KOWA (1993) et SGS (1996).

⁸ Desserich + Funk (1987).

⁹ Laufer et al. (2004).



transformation et d'extension y voyait un potentiel estimé à 2,1 TWh/a. Ainsi la production maximale possible (d'origine hydraulique) en vertu des conditions techniques (indépendamment des aspects politiques, environnementaux et financiers) est de 42,5 TWh/a (34,9 TWh/a, production moyenne escomptée en 2004, plus 7,6 TWh/a de potentiel supplémentaire). A partir de ces chiffres, on a pronostiqué le développement prévu en procédant à une analyse des facteurs déterminants, assortie de scénarios. Selon les conditions cadres politiques et économiques, on obtient d'ici 2050 un accroissement de la production de 1,9 TWh/a dans le scénario «Evolution négative», de 3,6 TWh/a dans le scénario «Référence» et de 5,4 TWh/a dans le scénario «Evolution positive», toujours à partir d'une production escomptée de 34,9 TWh/a en 2004. Cette évaluation ne tient pas compte des effets de la loi sur la protection des eaux (cf. chap. 5.5) ni de ceux de l'évolution climatique.

2.2 Perspectives énergétiques 2035

Pour les Perspectives énergétiques 2035, l'OFEN a réévalué en 2007 le potentiel de développement des forces hydrauliques jusqu'à l'horizon considéré en partant d'hypothèses sur la probabilité de réalisation des projets connus de grandes centrales hydrauliques.¹⁰ Quant au potentiel latent dans le renouvellement des équipements, la rehausse du niveau de retenue, le dragage, la transformation et l'extension d'installations existantes, on a repris la valeur de 2,1 TWh/a calculée par Laufer et al. (2004). Pour les nouveaux projets d'envergure, les indications fournies par cette dernière étude et par la liste de projets actualisée tirée de Broggi und Reith (1984) ont donné un potentiel de 1,1 à 1,8 TWh/a. De son côté, le potentiel des petits aménagements hydrauliques a été évalué à 1,1 TWh/a sur la base de l'étude Desserich + Funk (1987). Compte tenu des restrictions (moins 0,9 TWh/a) imputables aux dispositions régissant la protection des eaux (débits résiduels), les Perspectives énergétiques 2035 faisaient état d'un potentiel de 3,4 à 4,1 TWh/a (production moyenne escomptée en 2007: 35,3 TWh/a) sans tenir compte des effets du changement climatique.

2.3 Stratégie d'utilisation de l'énergie hydraulique en Suisse

En mars 2008, l'OFEN a formulé une stratégie pour l'utilisation de la force hydraulique en Suisse.¹¹ Ce document s'appuie sur les données fournies par une étude du bureau-conseil econcept, datant de 2006.¹² Pour les potentiels, cette entreprise avait repris les conclusions de Laufer et al. (2004) en les complétant en particulier au moyen des chiffres des Perspectives énergétiques 2035.

2.4 Actualisation des Perspectives énergétiques 2035

Dans le cadre de la révision de la stratégie énergétique du Conseil fédéral (printemps 2011), l'OFEN a réévalué le potentiel de développement de la force hydraulique en admettant des conditions cadres renouvelées. On s'est appuyé pour cela sur les documents élaborés pour les Perspectives énergétiques 2035 et utilisés à ce moment-là. Les résultats ont été publiés le 10 juin 2011 sous forme de fiche technique.¹³

Le potentiel latent dans les travaux pour le renouvellement des équipements ainsi que pour la rénovation et la transformation des installations existantes, évalué à 2,1 TWh/a dans les Perspectives énergétiques 2035, a été porté à 2,4 TWh/a dans l'hypothèse de conditions plus favorables. Le potentiel des grandes centrales a été évalué (comme dans les Perspectives énergétiques 2035) à l'aide de la liste de projets de Broggi et Reith (1984), mais les probabilités de réalisation ont été revues, donnant un potentiel de 2 TWh/a jusqu'en 2050. On y a ajouté le potentiel des projets situés

¹⁰ OFEN (2007b).

¹¹ OFEN (2008).

¹² Econcept (2006).

¹³ OFEN (2011).



dans les actuelles régions OCFH¹⁴, soit 0,4 TWh/a. Il résulte un total de 2,4 TWh/a au titre des futures grandes centrales. De son côté, la petite hydraulique a été créditée de 1,9 TWh/a sur la base de l'actuelle liste d'inscriptions RPC¹⁵. Par ailleurs, les pertes de production imputables aux prescriptions sur les débits résiduels ainsi qu'aux changements climatiques se chiffrent à moins 0,7 TWh/a et à moins 2 TWh/a, respectivement. Finalement, l'actualisation des Perspectives énergétiques 2035 fait état d'un potentiel de développement de la force hydraulique d'environ 4 TWh/a d'ici en 2050.

2.5 Autres études du potentiel des petits aménagements hydrauliques

En 2005, l'institut Paul-Scherrer (PSI), s'appuyant sur les estimations d'Elektrowatt (1987), avait calculé que les petits aménagements hydrauliques offraient un potentiel de développement réaliste (dans une optique économique) de 2,2 TWh/a.¹⁶ Les restrictions imposées en faveur de la protection de l'environnement n'avaient pas été prises en compte.

En 2010, le bureau d'ingénieurs Ernst Basler + Partner, mandaté par le WWF Suisse, a analysé une série de projets de petits aménagements hydrauliques dans la perspective écologique.¹⁷ Pour ce faire, une liste de projets en possession du WWF a été soumise à des critères écologiques sommaires, puis on a extrapolé les résultats obtenus à l'ensemble des projets annoncés pour la RPC. Évaluée dans cet éclairage spécifique, la production totale à attendre de ces projets (2,4 TWh/a) a été jugée ainsi: 1,0 TWh/a seront «probablement appropriés», 0,5 TWh/a «plutôt inappropriés» et 0,9 TWh/a «très vraisemblablement inappropriés».

Aujourd'hui, une étude est en cours sur mandat de l'OFEN pour déterminer, à l'aide d'analyses assistées par SIG¹⁸, le potentiel latent des petits aménagements hydrauliques.¹⁹ La première partie de cette enquête, contenant des résultats portant sur le potentiel hydroélectrique théorique, devrait être publiée au cours de l'année 2012. Par la suite, il conviendra d'en compléter les résultats en les évaluant selon des critères écologiques, sociales et économiques.

3 Saisie des données

A partir de l'évaluation du potentiel de la force hydraulique (4 TWh/a) mentionnée dans la fiche technique publiée le 10 juin 2011, l'OFEN a mené une analyse approfondie de la situation en y associant tous les milieux intéressés. Pour actualiser la liste des centrales, un sondage écrit auprès des services cantonaux de l'énergie a été réalisé entre septembre et octobre 2011. Sur la base de la liste actualisée des centrales, on a ensuite interrogé les services cantonaux de l'environnement (y c. les collaborateurs chargés de la protection de la nature et du paysage, de la construction hydraulique et de la prévention des dangers naturels). Parallèlement une séance de travail réunissant des représentants de la science, des cantons, de l'administration, des associations écologistes et de la branche de l'électricité a eu lieu le 15 novembre 2011. Étant donné l'importance du sujet, un questionnaire écrit détaillé a également été lancé. Ce dernier a été distribué de décembre 2011 à janvier 2012 aux exploitants de centrales (par l'intermédiaire de l'Association suisse de l'aménagement des eaux ASAE, commission Hydrosuisse), aux cantons (enquête conjointe pour les

¹⁴ Ordonnance sur la compensation des pertes subies dans l'utilisation de la force hydraulique (OCFH). Cette ordonnance précise exactement les conditions donnant droit à des indemnités en cas de non-exploitation de la force hydraulique au profit de la conservation d'un paysage d'importance nationale. Ces indemnités annuelles sont liées à des objectifs de protection contractuels.

¹⁵ Rétribution à prix coûtant (RPC): instrument d'incitation à la production d'électricité à partir d'énergie renouvelable (en vigueur depuis le 1er janvier 2009).

¹⁶ Hirschberg et al. (2005).

¹⁷ Ernst Basler + Partner (2010).

¹⁸ Système d'information géographique

¹⁹ Hemund (2009).



services de l'énergie et de la protection de l'environnement) ainsi qu'aux participants à la séance de travail. Pour les cantons, ce questionnaire détaillé se limitait au thème de la petite hydraulique, dont le potentiel a été évalué à partir, notamment, d'une liste des projets RPC annoncés dans le canton. Les participants à la séance de travail et les exploitants de centrales ont, quant à eux, été interrogés sur les grandes centrales, les petits aménagements hydrauliques ainsi que les projets de transformation et d'agrandissement. De plus, l'OFEN a mené des entretiens personnels avec des représentants des services spécialisés de certains cantons (St-Gall, Grisons, Valais, Berne) au sujet des grandes centrales hydrauliques. Sur ce même sujet, l'office a contacté par téléphone ses interlocuteurs des cantons d'Uri, de Vaud, du Tessin et de Genève.

Ces différents sondages ont permis d'interpeller 42 intervenants, dont 34 ont fourni au moins une réponse. Le tableau 1 en donne une vue d'ensemble.

	Questionnaires	Réactions
Cantons	26	25
Conférences des cantons	3	0
Associations écologistes et de protection du paysage	4	4
Associations faitières	2	1
Instituts de recherche	4	2
Bureaux d'ingénieurs et de conseil	2	1
Autres	1	1
Total	42	34

Tableau 1 – Participation aux enquêtes écrites

Les résultats de ces diverses enquêtes et des interviews ainsi que les conclusions de la séance de travail du 15 novembre 2011 ont nourri le présent rapport. On trouvera ci-après un résumé des réactions qualitatives (chap. 4) et une vision quantitative des résultats (chap. 5).

4 Réactions

4.1 Remarques générales

Les réactions recueillies montrent que le développement de la force hydraulique en Suisse polarise fortement les opinions. Le conflit naît bien souvent de préoccupations écologiques. Cependant, les contraintes environnementales ne sont pas le seul facteur limitant le développement de la force hydraulique. La forte densité de population engendre les revendications les plus diverses touchant les cours d'eau; et nombre de projets se heurtent au fait qu'ils ne sont pas rentables dans les conditions actuelles.

Dans l'optique des exploitants de centrales et au vu des autres solutions envisageables, il faut approuver le principe du développement de la force hydraulique lorsqu'il répond aux impératifs écologiques et économiques. Ces milieux font valoir qu'il s'agit d'une technologie très efficace la plus respectueuse possible de l'environnement et qu'elle est un pilier de la sécurité d'approvisionnement électrique du pays. Ils constatent que l'abandon, à moyen terme, du recours à l'énergie nucléaire et la promotion forcée des installations solaires et éoliennes justifient à plus forte raison le développement de la force hydraulique. Celle-ci permet également le transfert saisonnier de l'énergie vers l'hiver



grâce aux lacs d'accumulation, et contribue substantiellement, par la souplesse de centrales pouvant être lancées et arrêtées à volonté, à couvrir les pointes de consommation et à stabiliser les réseaux.

De leur côté, les milieux de l'environnement observent que l'exploitation des cours d'eau n'a fait que se développer en Suisse depuis plus de cent ans, de sorte que ces derniers sont aujourd'hui déjà exploités à 90%. Ils font valoir qu'on ne saurait poursuivre dans cette voie sans porter gravement atteinte aux cours d'eau restés intacts et réduire encore la biodiversité. L'idée d'une « exploitation totale » de cette ressource au détriment de l'environnement est rejetée sans concession. Il faudrait aussi renoncer à croire que l'énergie nucléaire pourrait être remplacée par l'hydraulique. La nouvelle stratégie énergétique ne devrait pas viser un accroissement de la production, mais plutôt la réduction de la demande, dans l'esprit de la société à 2000 watts.

Les cantons, quant à eux, se montrent peu disposés à modifier, sur le plan législatif, le compromis actuel entre les intérêts de l'utilisation des eaux et ceux de leur protection. Sauf pour des améliorations de détail, les conditions légales actuelles sont considérées comme équilibrées. Cela d'autant plus que l'assouplissement des contraintes actuelles de protection des cours d'eau ne paraît pas de nature à libérer des potentiels significatifs.

4.2 Entraves au développement de la force hydraulique, solutions proposées

Le développement de la force hydraulique en Suisse se heurte à des contraintes non seulement écologiques, mais aussi économiques, d'aménagement du territoire et d'acceptation sociale. Il existe des intérêts autres que la production d'électricité, à savoir ceux de la protection (paysage, nature, monuments), voire de la pêche, du tourisme, de l'agriculture, de la protection contre les crues, de l'approvisionnement en eau potable: tous veulent être pris en considération. Le présent chapitre résume les objections les plus fréquemment formulées au développement de la force hydraulique et évoque des réponses possibles. On en trouvera une liste complète à l'annexe 1.

Les obstacles écologiques sont fortement liés à des jugements de valeurs. Nombre de personnes interrogées constatent par exemple que la pesée des intérêts, surtout quand il s'agit de grandes centrales, attribue un poids important aux questions de protection. On observe en outre que des projets se situant dans des régions protégées (p. ex. inscrites à l'inventaire IFP²⁰ ou au patrimoine de l'UNESCO²¹) sont rejetés a priori sans aucune pesée d'intérêts, et que les projets de petits aménagements se voient généralement refuser d'emblée la qualification « d'intérêt national » du fait de leur modeste apport à la production totale. Pour donner plus de considération à l'approvisionnement en électricité, il est proposé d'attribuer un intérêt national à la production électrique tirée d'énergies renouvelables. Il faudrait qu'outre la sécurité d'approvisionnement et la rentabilité, on en reconnaisse aussi la valeur écologique (protection du climat). La résistance aux projets de petits aménagements hydrauliques pourrait être réduite si l'on en analysait la faisabilité et si les milieux intéressés y étaient associés à un stade précoce. Dans l'idéal, une telle coordination passerait par une planification intégrale, s'étendant à l'aire du canton ou au bassin versant, et incluant de manière explicite (voire avec inscription au plan directeur) la désignation des cours d'eau dévolus à l'exploitation et de ceux qui seraient épargnés durablement.

Nombre de personnes interrogées déplorent de façon générale l'impopularité de la force hydraulique et l'absence de volonté politique de la développer. Il apparaît que l'on n'a jamais mené un large débat sur le rôle de cette ressource pour l'approvisionnement énergétique. La raison invoquée est la rigidité

²⁰ L'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP, 162 objets) couvre 19% de la surface de la Suisse. Il vise la protection et la gestion de la diversité paysagère du pays.

²¹ La Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO est un instrument de la Convention pour la protection du patrimoine mondial culturel et naturel. La Suisse possède actuellement trois régions inscrites: Alpes suisses Jungfrau-Aletsch, Monte San Giorgio, Haut lieu tectonique suisse Sardona.



des positions de part et d'autre. Différents intervenants réclament une discussion transparente et factuelle en lieu et place du lobbying et des débats émotionnels. On souhaite par ailleurs que la Confédération intervienne pour remédier aux blocages en lien avec des problèmes de coordination ou de droits de propriété et de concession.

Dans les conditions cadres actuelles, bien des projets n'atteignent pas le seuil de rentabilité, essentiellement en raison de trois facteurs: les coûts de production, les prix de l'électricité et les aides publiques obtenues. Les réactions recueillies se rapportent surtout à ce dernier élément. Le soutien apporté aujourd'hui au moyen de la RPC est fréquemment controversé dans l'optique de l'efficacité, car les projets bénéficient d'une aide indépendamment de leurs prix de revient. Dans le cas des petits aménagements hydrauliques, on relève que les coûts sont élevés du fait des exigences écologiques, de la longueur des procédures liées à la RPC et des prétentions élevées des propriétaires fonciers. Concernant les projets de transformation et d'extension, les principaux freins à l'investissement semblent être les prescriptions régissant le droit de retour, les concessions relativement proches de l'échéance et la valeur résiduelle des installations. Ces projets nécessitent des règles équitables dans tous ces domaines.

Diverses propositions ont été faites en vue d'améliorer le système de la RPC, par exemple l'exigence d'une puissance d'au moins 300 kW pour limiter la charge environnementale et celle des autorités, l'introduction d'un rendement global comme critère de qualité ou la professionnalisation des procédures d'inscription afin d'améliorer la qualité des dossiers présentés. Un relèvement des taux de la RPC pourrait libérer des potentiels supplémentaires ou bien – s'il était investi pour financer des mesures écologiques – accroître la probabilité de réalisation des projets annoncés. Autre proposition, élargir le droit à une aide financière à la rénovation d'installations de plus de 10 MW de puissance. Le système d'aide en serait plus efficace et de plus, ce type de travaux ne pose guère de problèmes environnementaux.

4.3 Procédures, compétences d'autorisation

De nombreux représentants des cantons, des milieux scientifiques et des associations faïtières réclament l'accélération et la simplification des procédures d'autorisation et d'octroi de concessions. Les cantons les premiers soulignent que des tâches identiques sont fréquemment imparties à leurs propres services, à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et à la Commission fédérale pour la protection de la nature et du paysage (CFNP). On relève en outre d'importantes différences et des incertitudes dans les réglementations cantonales régissant les taxes, l'octroi de concessions et les dédommagements au retour. On ne peut pas convertir directement en potentiels supplémentaires l'élimination de ces difficultés. C'est pourquoi on n'y reviendra pas dans le présent rapport. Une liste complète des entraves et des solutions envisagées se trouve à l'annexe 1.

5 Evaluation du potentiel

5.1 Introduction

Le potentiel de développement de la force hydraulique est évalué dans deux scénarios. D'une part, on montrera dans quelle mesure il est possible d'accroître jusqu'en 2050 la production hydroélectrique annuelle indigène dans les conditions légales, économiques et socioéconomiques actuelles. A ce potentiel aux «conditions actuelles» on opposera une perspective avec des «conditions optimisées». Dans ce second cas aussi, une exploitation totale de la force hydraulique n'est pas envisagée. Par «conditions optimisées», le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) entend des conditions générales modifiées de manière à autoriser un développement modéré de la force hydraulique sans atteinte aux exigences constitutionnelles



relatives à la durabilité et à la protection des eaux et de l'environnement. Cela ne passe pas par un assouplissement des normes légales y relatives. Les périmètres des zones protégées ainsi que leurs objectifs en la matière ne seront également pas touchés.²² Des potentiels supplémentaires devront plutôt être réalisés par l'adaptation des conditions cadres économiques et socioéconomiques.

Plus concrètement, cela veut dire que la société doit reconnaître largement la nécessité d'une production accrue d'hydroélectricité en Suisse. Cela implique en premier lieu un engagement sans équivoque de la Confédération. Il s'agit notamment de vérifier dans quels cas l'utilisation de la force hydraulique relève de l'intérêt national et si, et le cas échéant comment, cela doit être inscrit dans la législation. Il faudra en souligner les avantages par rapport aux autres formes de production d'électricité. Tant la Confédération que les cantons devront s'investir de façon plus déterminée en faveur de la force hydraulique et lui attribuer plus de poids dans la pesée des intérêts. Il n'en résulte nullement qu'elle sera toujours considérée comme prioritaire. Par ailleurs, la conception des projets et leur réalisation doivent réunir tous les intéressés à un stade précoce et dans la transparence. On évitera ainsi bien des oppositions et des recours au tribunal. Pour la petite hydraulique surtout, il faut surmonter les blocages et rechercher le compromis entre protection et exploitation. La meilleure façon d'y parvenir consiste en une planification cantonale globale qui s'assure d'emblée la collaboration des représentants des groupes d'intérêts en présence. De nouveaux potentiels pourront aussi être réalisés au moyen d'une aide financière supplémentaire, que ce soit au profit des petits aménagements ou de l'extension de grandes centrales (p.ex. l'agrandissement de galeries). On peut imaginer de lier l'aide financière à certaines exigences écologiques afin de désamorcer des conflits. A titre de mesure connexe, il importe de simplifier les procédures d'autorisation et d'octroi des concessions et de résoudre la problématique des droits de retour. Des potentiels supplémentaires seront réalisables sans intervention spécifique, étant donné que le courant renchérit, ce que prévoient les perspectives énergétiques 2050 de l'OFEN.

5.2 Grandes centrales hydrauliques

Le potentiel en nouvelles grandes centrales est controversé. L'ASAE l'évalue à quelque 2'000 GWh/a, mais seulement à condition que la volonté politique de l'exploiter existe. Les associations écologistes et de protection du paysage, considèrent comme réaliste la prévision d'un accroissement de 700 GWh/a au maximum. Quant à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)²³, elle croit que 1'400 GWh/a sont possibles.

La présente étude a été l'occasion d'une analyse détaillée de ce potentiel à partir des projets existants. On s'est basé sur une liste de 21 projets possibles d'installations de plus de 10 MW de puissance (voir annexe 2). Plusieurs entretiens avec les cantons ont eu lieu pour en apprécier la probabilité de réalisation. Cet indice, multiplié par la production annuelle, fournit une valeur estimative pour chacun des projets. La somme de toutes ces valeurs représente le potentiel global attendu. Celui-ci s'élève à 770 GWh/a l'horizon 2050, dans les conditions d'utilisation actuelles.

Pour déterminer ce que donneraient des conditions optimisées, après avoir examiné toutes les réactions recueillies, on a crédité certains projets d'une probabilité de réalisation accrue de 25 points, à savoir a) les projets bloqués pour des motifs économiques ou qui se situent en zone protégée avec possibilité de pondérer les intérêts en présence, b) les projets dont la réalisation est qualifiée d'«improbable» (0%) mais qui ne sont pas bloqués par d'insolubles conflits d'intérêts, et c) les projets dont la probabilité de réalisation est de 75%. L'hypothèse des conditions optimisées englobe par ailleurs la possibilité que des projets non encore envisagés aujourd'hui deviennent réalité. L'ASAE

²² Cela inclut les régions protégées en vertu de l'ordonnance sur la compensation des pertes subies dans l'utilisation de la force hydraulique (OCFH). Seule fait exception la région OCFH Oberaletsch, dont le statut fait d'ores et déjà l'objet de discussions.

²³ Information reçue du Prof. Anton Schleiss (EPFL).



estime que le potentiel de ces projets non encore sortis des limbes se situe entre 1'000 et 1'500 GWh/a. Comme il faut s'attendre à ce qu'ils soient fortement controversés, on suppose qu'un quart d'entre eux à peine (250 GWh/a) deviendra réalité, même dans des conditions optimisées. Au total, on peut donc s'attendre, d'ici en 2050, à un accroissement d'environ 1'430 GWh/a dans ces conditions.

Le tableau 2 présente le potentiel en nouvelles grandes centrales d'ici 2050 (GWh/a).

	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
Nouvelles grandes centrales	770	1'180
Projets non spécifiés	0	250
Total grandes centrales	770	1'430

Tableau 2 – Potentiel en nouvelles grandes centrales hydrauliques (GWh/a)

5.3 Petits aménagements hydrauliques

Les potentiels de la petite hydraulique résident dans des nouvelles constructions ainsi que dans la rénovation et l'extension d'installations de moins de 10 MW sur des cours d'eau et dans d'autres infrastructures existantes. La controverse porte avant tout sur les nouveaux aménagements touchant des cours d'eau encore vierges. Dans l'optique des associations écologistes, le potentiel supplémentaire des petits aménagements hydrauliques jusqu'en 2050 ne dépasse pas 700 à 1'000 GWh/a. L'ASAE le crédite de 1'000 à 2'000 GWh/a. Quant à l'EPFL²⁴, elle le situe entre 1'000 et 1'400 GWh/a.

La présente étude a été l'occasion d'une enquête approfondie auprès des services spécialisés des cantons pour obtenir des indications détaillées sur le sujet. De nombreuses prises de position se basent sur la liste d'inscriptions actuelle pour la RPC, jointe au questionnaire pour chaque canton. Les cantons ont parfois utilisé ces données RPC pour plausibiliser leurs propres listes de projets ou évaluations de potentiel. Dans l'ensemble, les réactions reçues témoignent d'une appréciation scrupuleuse des possibilités dans les cantons.

Cette appréciation a été largement utilisée pour déterminer le potentiel de développement dans les conditions actuelles. Là où cela n'a pas suffi, on s'est basé sur des publications antérieures émanant des cantons ainsi que sur les données figurant dans la liste d'inscriptions RPC. Il résulte de ces investigations que la petite hydraulique recèle un potentiel de développement de 1'290 GWh/a jusqu'en 2050, dans les conditions d'utilisation actuelles.

Les données fournies par les cantons ont également servi à déterminer ce que donneraient des conditions d'utilisation optimisées. Là où des indications spécifiques faisaient défaut, on s'est basé sur des publications antérieures émanant des cantons ainsi que sur les données figurant dans la liste d'inscriptions RPC. Dans les cantons dont l'évaluation repose sur une planification intégrale, il a été admis que le potentiel ne pourrait guère s'accroître, même dans des conditions optimisées. Au total, le potentiel de développement de la petite hydraulique atteindrait 1'600 GWh/a jusqu'en 2050. Ces résultats sont présentés dans le tableau 3. On trouvera des indications plus détaillées par canton dans l'annexe 3.

²⁴ Information reçue de Nicolas Crettenand (EPFL) et du Prof. Anton Schleiss (EPFL).



	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
Total petite hydraulique	1'290	1'600

Tableau 3 – Potentiel en petite hydraulique (GWh/a)

5.4 Travaux de transformation et d'extension des grandes centrales

L'accroissement de la production hydraulique par le biais de la transformation et de l'extension des installations existantes est largement accepté dans tous les milieux consultés, car ces projets ne suscitent guère de réticences écologiques et ils s'accompagnent même parfois de travaux de renaturation. Font exception le relèvement de barrages et le captage de nouveaux affluents, qui impliquent généralement des atteintes supplémentaires à l'environnement. Si dans la fiche technique du 10 juin 2011, l'OFEN mentionne un potentiel de 2'400 GWh/a, ce chiffre est contesté par la plupart des personnes interrogées comme étant trop élevé. L'ASAE estime que l'on peut table sur 1'000 à 3'000 GWh/a selon les conditions d'utilisation, mais sa base d'évaluation inclut des projets d'extension connus tels que Zinal, Oberaletsch, Grimsel, etc. (relevant dans la présente étude de la rubrique Grandes centrales), qui suscitent la controverse du point de vue écologique. De son côté, l'EPFL²⁵ admet un potentiel de 1'800 GWh/a jusqu'en 2050.

La rénovation – pour raison d'âge, en général – et le remplacement de turbines et de génératrices anciennes par des nouvelles unités se traduisent par un rendement accru. Les coûts spécifiques de ce gain sont modestes, certaines machines devant de toute manière être remplacées. Il n'y a pas d'impact négatif sur l'environnement. L'ASAE évalue à quelque 500 GWh/a, à long terme, le potentiel à réaliser ainsi. Par ailleurs, l'accroissement possible de la production d'électricité dans les centrales au fil de l'eau (plus gros volume d'accumulation et dragage en profondeur) atteindrait selon Laufer et al. (2004) quelque 200 GWh/a.²⁶ Ces mêmes auteurs voient dans le relèvement de barrages et le captage de nouveaux affluents un possible accroissement de 940 GWh/a. Toutefois il s'agit là d'une valeur purement technique, qui fait l'impasse sur les effets écologiques négatifs des travaux envisagés. En outre les projets d'extension connus (Zinal, Oberaletsch et Lugnez) relèvent dans la présente étude de la rubrique Grandes centrales. On a donc commencé ici par déduire la production de ces projets des 940 GWh/a cités dans l'étude Laufer. Pour les autres projets (qui ne sont pas connus), avec une production de 670 GWh/a environ, on a ensuite admis une probabilité de réalisation de 25%. Il en résulte un potentiel de quelque 170 GWh/a au titre du relèvement de barrages et du captage de nouveaux affluents. Enfin l'agrandissement de galeries²⁷ n'est pas rentable dans les conditions économiques actuelles. Selon les exploitants, les coûts de production se situent nettement au-dessus des 10-12 ct/kWh acceptables. Ce potentiel reste donc encore inutilisé.

Le potentiel latent dans le renouvellement des équipements ainsi que dans la rehausse du niveau de retenue et dans le dragage des cours d'eau résulte d'une réflexion technique; il ne s'améliorera donc pas dans des conditions optimisées. Au chapitre des relèvements de barrage et du captage de nouveaux affluents, la probabilité de réalisation des projets inconnus a été relevée de 25 points,

²⁵ Information reçue du Prof. Anton Schleiss (EPFL).

²⁶ Cf. Boes (2011). Dans son article, R. Boes évalue le potentiel d'optimisation des centrales hydrauliques actuelles (avec accent sur les centrales à basse pression du Plateau suisse). Une analyse sommaire des récents travaux de transformation et d'extension, avec extrapolation des gains de production obtenus aux installations non rénovées, aboutissait à un potentiel d'environ 700 GWh/a, incluant quelques petits aménagements hydrauliques.

²⁷ L'agrandissement de galeries accroît le rendement en réduisant les pertes par frottement, Cf. Molinari et al. (2011)



comme on l'a fait pour les grandes centrales (cf. chap. 5.2). Si l'électricité renchérit ou si la Confédération accepte de soutenir financièrement l'agrandissement des galeries, l'ASAE estime que cela permettra de réaliser quelque 500 GWh/a de potentiel supplémentaire. Le tableau 4 présente les potentiels inhérents à la transformation et à l'extension des grandes centrales (GWh/a).

	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
Equipements neufs	500	500
Rehausse du niveau de retenue et dragage	200	200
Relèvement de barrages et nouveaux affluents	170	330
Agrandissement de galeries	0	500
Total transformation et extension	870	1'530

Tableau 4 – Potentiel transformation et extension (GWh/a)

5.5 Conséquences de la loi sur la protection des eaux

La constitution fédérale enjoint la Confédération de légiférer sur le maintien de débits résiduels appropriés.²⁸ Cela a été fait dans les art. 31 à 33 de la loi du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux). L'art. 31 fixe des débits minimaux, que les cantons peuvent réduire dans les cas énumérés à l'art. 32. L'art. 33 exige une pesée des intérêts pour examiner s'il y a lieu d'augmenter les minimaux fixés pour assurer des débits suffisants (p. ex. si des zones protégées sont touchées). Les débits minimaux selon les art. 31 à 33 doivent être respectés depuis le 1er novembre 1992, date de l'entrée en vigueur de la loi, lors de l'octroi de concessions et de leur renouvellement, d'où une tendance au recul de la production d'électricité des centrales concernées. La révision de cette loi, le 1er janvier 2011, a introduit de nouvelles exceptions possibles aux débits minimaux, ce qui devrait réduire quelque peu les pertes de production. Une grande partie des concessions en vigueur échoira entre 2030 et 2050.

Lors de la votation fédérale du 17 mai 1992 sur cette même loi, le Conseil fédéral avait déclaré que la production hydraulique, d'environ 33'000 GWh/a à l'époque, diminuerait de près de 6% (env. 2'000 GWh/a) du fait des prescriptions de l'art. 31. Un recul du même ordre d'importance était escompté du fait des mesures prises par les cantons après pesée des intérêts au sens de l'art. 33.²⁹ Au total, il serait donc résulté une perte de production de quelque 4'000 GWh/a à l'horizon 2070. De 1992 (entrée en vigueur de la LEaux) à 2002, il a été octroyé 56 concessions pour des centrales hydrauliques. Une analyse de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) à l'époque a montré que la perte de production de ces installations se situait en réalité aux alentours de 3,5%. Ce chiffre modeste en comparaison des valeurs admises en 1992 (12%) s'explique d'une part par le fait que jusqu'en 2002, les nouvelles concessions accordées à des centrales au fil de l'eau sur le Plateau suisse ont été relativement nombreuses, contrairement à ce qui s'est passé pour les grandes centrales de l'arc alpin.³⁰ D'autre part, les résultats de l'analyse laissent à penser que les débits résiduels minimaux ne sont que rarement augmentés dans le cadre de la pesée des intérêts visée à l'art. 33, car les cantons ont manifestement accordé plus d'importance aux intérêts

²⁸ Art. 76, al. 3 cst.

²⁹ Kummer (2002).

³⁰ L'obligation de conserver des débits minimaux ne restreint guère les possibilités d'une centrale au fil de l'eau sans déviation. Si l'échantillon se limite aux centrales à déviation, la perte de production est un peu plus élevée (7,3%).



économiques qu'aux préoccupations écologiques. Les clauses de dérogation visées à l'art. 32 ont par ailleurs souvent été prises en compte, la baisse de production imputable à la pesée des intérêts visée à l'art. 33 étant là encore globalement compensée. En 2003, le Conseil fédéral en concluait que le manque à produire imputable aux dispositions sur les débits résiduels ne dépasserait vraisemblablement guère 2'000 GWh/a en 2070.³¹ Les demandes de concession introduites dans l'intervalle³², aussi bien qu'une étude plus récente par Uhlmann et Wehrli (2006), confirment cette estimation.

Dans la fiche technique de l'OFEN du 10 juin 2011, il était admis que les dispositions relatives aux débits résiduels seraient appliquées avec retenue et que les cantons useraient davantage l'art. 32 (dérogations). Dès lors, la perte de production était évaluée à 700 GWh/a³³ jusqu'en 2050. Les investigations postérieures n'ont pas confirmé entièrement ces hypothèses. Il apparaît aujourd'hui que même après la révision de la LEaux, les cantons ne disposent guère de marge pour accorder des dérogations aux dispositions initiales et que l'instrument des plans de protection et d'utilisation ne peut fournir qu'un modeste potentiel supplémentaire. Il faut donc admettre que les pertes de production atteindront, comme estimé par le Conseil fédéral en 2003, environ 2'000 GWh/a à l'horizon 2070, ou 1'800 GWh/a en 2050. Les dérogations supplémentaires après la révision de la loi pourront réduire ces chiffres de 200 GWh/a.³⁴ En outre, les pertes subies depuis la fin de 1992 au titre des débits minimaux peuvent être ajoutées au potentiel, car elles figurent déjà dans la statistique. Au total, on obtient une perte de production de 1'400 GWh/a en 2050.³⁵

Le tableau 5 résume les effets de la LEaux sur le développement de la production hydroélectrique.

	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
Prévisions jusqu'en 2050	- 1'800	- 1'800
Révision LEaux 2011	+ 200	+ 200
Déjà appliqué	+ 200	+ 200
	- 1'400	- 1'400

Tableau 5 – Effet de la LEaux (GWh/a)

5.6 Changement climatique et force hydraulique

Le changement climatique et ses conséquences sur le cycle des eaux peuvent influencer fortement sur l'exploitation de la force hydraulique. Dans les Perspectives énergétiques 2035, on a prévu à ce titre une perte de production au niveau suisse de 7% (env. 2'000 GWh/a) pour 2035.³⁶ La fiche technique de l'OFEN du 10 juin 2011 reprend ce chiffre.

En automne 2011, un projet de recherche dirigé par l'Institut de géographie de l'Université de Berne (GIUB) et par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a fourni de nouveaux enseignements.³⁷ Résumées dans douze rapports techniques, les conclusions indiquent

³¹ Réponse du Conseil fédéral à la motion Speck du 20 mars 2003.

³² L'Office fédéral de l'environnement (OFEV), division Eaux, tient à jour la statistique des pertes de production.

³³ OFEN (2011).

³⁴ CEATE-E (2008), p. 21.

³⁵ Différentes études ont été consacrées aux effets de la loi sur la protection des eaux au stade de la production. En particulier Elektrowatt (1987) et Schleiss (2007) notent des pertes nettement plus importantes. Cette divergence de vues reflète l'appréciation inégale des pertes pouvant résulter de la pesée des intérêts par les cantons au sens de l'art. 33 LEaux. SGS (1996), KOWA (1993) ainsi que les études plus récentes d'Econcept et al. (2004) et de Uhlmann und Wehrli (2006) confirment les valeurs admises ici.

³⁶ OFEN (2007c).

³⁷ Pour une vue d'ensemble des résultats, cf. la revue: Eau, énergie, air, 103^e année, 2011, cahier 4.



que l'évolution climatique devrait se traduire par un réchauffement jusqu'en 2100, en particulier dans l'arc alpin, et que les précipitations annuelles croîtront sur le versant nord et diminueront au versant sud des Alpes. Le recul touche surtout les mois d'été. Les précipitations violentes croîtront en fréquence et en intensité et d'ici la fin du siècle, les glaciers suisses auront en grande partie disparu. Les lacs glaciaires ainsi formés pourraient offrir à long terme de nouvelles possibilités de production hydraulique. De nombreuses études de cas ont montré que la production d'électricité dans les centrales à accumulation situées en altitude diminuera à la longue, tandis qu'elle augmentera sur les sites peu élevés. Les raisons en sont les débits accrus des cours d'eau alpins ainsi qu'un déplacement de la production dans le temps, au profit des mois d'hiver. Les projections détaillées pour l'ensemble de la Suisse donnent une hausse de production de 700 GWh/a en 2050 (+1,9 %), ou dans un scénario pessimiste, de 300 GWh/a (+0,9 %).³⁸ Il n'a pas été intégré de cataclysmes, et il n'est rien dit de la période après 2050. Etant donné l'incertitude notable des modèles, les auteurs parviennent à la conclusion que la production hydroélectrique moyenne ne changera pas fondamentalement par rapport à aujourd'hui.

Au vu des conclusions citées, on admet dans le présent rapport que le changement climatique n'influencera pas, jusqu'en 2050, la production annuelle moyenne d'électricité hydraulique.

5.7 Vue d'ensemble des potentiels

Il ressort des chapitres précédents que la Suisse pourra accroître sa production d'électricité hydraulique, d'ici 2050, d'un volume se situant entre 1'530 et 3'160 GWh/a. Etant donné la production annuelle escomptée aujourd'hui (35'820 GWh/a), on peut donc prévoir un volume de 37'350 à 38'980 GWh/a. Le tableau 6 donne une vue d'ensemble des potentiels.

	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
Nouvelles grandes centrales	770	1'430
Petite hydraulique	1'290	1'600
Transformation, extension agrandissement de grandes centrales	870	1'530
Effet LEaux	- 1'400	- 1'400
Potentiel total	1'530	3'160

Tableau 6 – Potentiel total force hydraulique (GWh/a)

6 Conclusion

Le Conseil fédéral voit dans le développement de la force hydraulique une contribution importante à l'approvisionnement futur du pays en électricité. La présente étude avait pour but de vérifier l'exactitude de la prévision de 4 TWh/a de production supplémentaire, à réaliser d'ici en 2050. Dans la mesure du possible, les potentiels ont été évalués sur la base des projets concrets. Les chiffres mentionnés ne doivent cependant pas faire oublier les grandes incertitudes de la mise en œuvre. Les conditions économiques, par exemple, dépendent très largement de l'évolution des prix du courant. La stratégie énergétique 2050 admet l'hypothèse d'un renchérissement de l'électricité.

³⁸ Hänggi et al. (2011). Une nouvelle étude, sans relation avec la précédente, émanant d'Autriche, confirme ces résultats. Cf. ZAMG, TU Wien (2010).



Il apparaît que le potentiel de développement de la force hydraulique est limité. Dans une Suisse densément peuplée, les entraves à sa réalisation ne relèvent pas seulement de l'écologie, mais aussi de l'économie, de la société et de l'aménagement du territoire. Ayant consulté tous les intervenants et groupes d'intérêts impliqués, l'OFEN conclut que le potentiel hydroélectrique de la Suisse est d'environ 1,5 TWh/a dans les conditions d'utilisation actuelles. Dans des conditions optimisées – sans assouplissement des dispositions actuelles concernant la protection de l'environnement et des eaux mais avec de meilleures conditions économiques et socioéconomiques – le potentiel de développement atteint 3,2 TWh/a d'ici 2050.

Le DETEC part du principe qu'il est possible d'augmenter l'exploitation de la force hydraulique de 3,2 TWh/a d'ici 2050 tout en tenant compte des critères de développement durable et de protection de l'environnement. Dans le cadre de la stratégie énergétique 2050, cette valeur est donc considérée comme une référence en matière d'accroissement de l'exploitation de la force hydraulique. Les perspectives énergétiques seront actualisées sur ce point.



7 Bibliographie

Association suisse pour l'aménagement des eaux, ASAE (1987). Der mögliche Beitrag der Wasserkraft an die Elektrizitätsversorgung der Schweiz. In: Wasser, Energie, Luft, 79. Jahrgang, 9/1987.

Boes, Robert M. (2011). Potenziale und Grenzen der Wasserkraft – Was bringen Anlagenoptimierungen? In: Natur und Mensch, 4/2011, p. 24-28.

Broggi, Mario F.; Reith, Wolf (1984). Beurteilung von Wasserkraftprojekten aus der Sicht des Natur- und Heimatschutzes.

CEATE-E (2008). Initiative parlementaire. Protection et utilisation des eaux. Avant-projet et rapport explicatif du 18 avril 2008 de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil des Etats (07.492).

Desserich + Funk, Dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurbüro (1987). Energiepotential aus Kleinwasserkraftwerken.

Econcept, Consentec et Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft RWTH (2004), sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie. Windenergie und schweizerischer Wasserkraftpark. (En allemand avec résumé en français)

Econcept (2006), sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie. Strategie Wasserkraftnutzung Schweiz: Grundlagen und strategische Ansatzpunkte.

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (1987), sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie. Studie über den Ausbau der Wasserkraft in der Schweiz.

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (1987), sur mandat de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux. Einfluss der Reduktion der Mindestmenge für kleine Gewässer auf die Energieeinbussen bei den Wasserkraftanlagen aufgrund Kapitel 2 «Sicherung angemessener Restwassermengen» des Revisionsentwurfes des Gewässerschutzgesetzes (Botschaft vom 29. April 1987).

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (1991), sur mandat de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux. Studie über die Energieeinbussen bei den Wasserkraftanlagen aufgrund der Restwasserempfehlungen von Bundi/Eichenberger und Hainard et. al. im Zusammenhang mit der Volksinitiative «zur Rettung unserer Gewässer».

Ernst Basler + Partner (2010), sur mandat du WWF Suisse. Petites centrales hydrauliques – potentiel complémentaire provenant de localisations RPC écologiquement appropriées, rapport final.

Fondation suisse de la Greina, FSG (1996). Neue SGS-Energiestudie 1996-2070: Marktwirtschaft im Schweizer Landschafts- und Gewässerschutz, 10 Schwerpunkte.



- Hänggi, Pascal; Weingartner, Rolf; Balmer, Markus (2011). Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz 2021-2050 – Hochrechnung. In: Wasser Energie Luft, 103. Jahrgang, 4/2011, p. 300-307.
- Hemund, Carol (2009), im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Erhebung des Kleinwasserkraftpotenzials der Schweiz: Methodik zur ganzheitlichen Bestimmung unter Berücksichtigung relevanter Einflussfaktoren, Jahresbericht.
- Hirschberg, Stefan et al. (2005). Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten, PSI Bericht N° 05-04.
- Konfliktlösungsgruppe Wasserkraft, KOWA (1993). Produktionspotenziale aus Umbauten von Wasserkraftanlagen. Arbeitsgruppenbericht im Rahmen von Energie 2000.
- Kummer, Manfred (2002). Energieminderproduktion bei Wasserkraftwerken aufgrund der Restwasserbestimmungen im Gewässerschutzgesetz/GSchG.
- Lauer, Fred; Grötzing, Stephan; Peter, Marco; Schmutz Alain (2004), sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie et de l'Office fédéral des eaux et de la géologie. Ausbaupotenzial der Wasserkraft. (En allemand avec résumé en français)
- Molinari, Peter; Bernegger, Walter (2011). Alternative Wege zur Erhöhung der Produktion aus Wasserkraft: Überlegungen zu Potenzial und Kosten einer Vergrößerung von Druckstollen am Beispiel von Ova Spin – Pradella. In: Bulletin SEV/VSE, 12/2011, p. 8-11. (En allemand avec résumé en français)
- OFEG (1997). Erneuerungs- und Erweiterungspotential der Wasserkraftwerke in Graubünden. Rapport d'étude N° 7.
- OFEG (2000). Erneuerungs- und Erweiterungspotential der Wasserkraftwerke im Kanton Wallis. Rapport d'étude N° 11.
- OFEN (2007a). Perspectives énergétiques pour 2035 (tome 1). Synthèse.
- OFEN (2007b). Elektrizität aus Wasserkraft. In: Die Energieperspektiven 2035 – Band 4, Exkurse, p. 101-115.
- OFEN (2007c). Einfluss der Klimaerwärmung. In: Die Energieperspektiven 2035 – Band 4, Exkurse, p. 31-46.
- OFEN (2008). Stratégie de l'utilisation de l'énergie hydraulique en Suisse.
- OFEN (2011). Energieperspektiven 2050: Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen. Faktenblatt vom 10.06.2011.
- OFEV, OFEN, ARE (2011). Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques.



Prognos (2011), sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie. Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates, Aktualisierung der Energieperspektiven 2035 (energiewirtschaftliche Modelle), Bericht. (En allemand avec résumé en français)

Schleiss, Anton (2007). L'hydraulique suisse: Un grand potentiel de croissance par l'augmentation de la puissance. In: Bulletin SEV/AES, 2/2007, p. 24-29.

Uhlmann, Viviane; Wehrli, Bernhard (2006). Wasserkraftnutzung und Restwasser: Standortbestimmung zum Vollzug der Restwasservorschriften.

ZAMG, TU Wien (2010), im Auftrag von Bund und Ländern. Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft.



Annexe 1:

Détail des réactions recueillies: entraves et solutions proposées

a. Entraves écologiques

- La pesée des intérêts, en particulier concernant les grandes centrales hydrauliques, attribue un poids très élevé aux besoins de protection.
- Les projets se situant dans des zones protégées, en particulier dans des zones IFP, OCFH, et de l'UNESCO, se voient catégoriquement rejetés.
- Les petits aménagements hydrauliques ne sont a priori pas reconnus d'intérêt national du fait du modeste apport de chaque installation à la production totale.
- La «Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques»,³⁹ émanant de l'OFEV, de l'OFEN et de l'ARE, est considérée comme trop restrictive par plusieurs services cantonaux.
- La mise en œuvre des mesures de compensation et de remplacement au sens de la loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN) doit être améliorée. La référence à l'état naturel initial d'un tronçon de cours d'eau est imprécise et entraîne des discussions et des enquêtes laborieuses. De plus, l'application des mesures de compensation et de remplacement est soumise à des contraintes temporelles et spatiales trop rigides. Les surfaces de terrain qu'elles exigent donnent souvent lieu à des conflits avec les voisins.

Mesures proposées pour remédier à ces entraves :

- Pour la pesée des intérêts de protection et d'utilisation des différents projets, la Confédération doit fixer le volume de production permettant de faire valoir un intérêt national. On fera intervenir non seulement l'intérêt énergétique, mais aussi celui de la protection du climat.
- Il faut réduire l'opposition aux petits aménagements hydrauliques dès l'avant-projet en opérant une sélection selon des critères de faisabilité et en associant les milieux intéressés aux travaux à un stade précoce déjà. Cela peut se faire de différentes manières : évaluation du projet au moyen d'un outil informatique, examen par des experts suivi d'une évaluation de faisabilité du projet par une commission réunissant des représentants des milieux intéressés, recensement des cours d'eau selon des critères techniques, écologiques, sociaux et économiques dans l'optique de l'exploitation de la force hydraulique, etc.
- La façon la plus complète de planifier intégralement le développement de la petite hydraulique passerait par une planification portant sur le territoire de tout le canton ou du bassin versant, avec désignation explicite, peut-être dans le plan directeur, des tronçons de cours d'eau à exploiter ou à protéger.
- Après une pesée des intérêts, un statut spécial devrait être attribué aux surfaces des zones protégées pouvant être exploitées sur le plan énergétique.
- Dans le cadre de la mise en œuvre des mesures de compensation et de remplacement, un dédommagement financier pourrait contribuer à éviter les conflits.

³⁹ Cf. OFEV, OFEN, ARE (2011)



b. Entraves économiques

- L'aide accordée par le biais de la RPC est souvent controversée, parce que des projets sont soutenus sans égard aux prix de revient.
- La politique de subventionnement actuelle, qui soutient financièrement certains modes de production indépendamment de leur rapport coûts/utilité ou de l'effet obtenu, oriente les incitations à l'investissement. Ce n'est pas sans influencer la rentabilité et partant, les décisions d'investissement dans d'autres types de production, y-compris l'hydraulique.
- Les exigences écologiques imposées aux projets d'utilisation de la force hydraulique et les mesures de compensation requises en gonflent les coûts, notamment pour les petits aménagements.
- Egalement à l'origine des coûts, la longueur des procédures liées à la RPC et les prétentions élevées des propriétaires fonciers.
- Tant les dispositions régissant les droits de retour que la durée résiduelle limitée des concessions et la valeur résiduelle reconnue aux installations bloquent l'assainissement et l'extension des centrales actuelles.
- Les structures de propriété dans le secteur de l'électricité peuvent être une entrave à l'efficacité maximale. Cela peut par exemple être le cas lorsqu'un canton ne recrute pas l'exploitant le plus performant lors du renouvellement d'une concession, préférant étoffer l'entreprise cantonale d'électricité.
- Les taxes élevées frappant le renouvellement d'une concession et le dédommagement au retour qui en résulte freinent des mesures de développement de modeste envergure.

Mesures proposées

- Diverses propositions ont été faites pour améliorer l'efficacité du système RPC: introduire une limite inférieure de puissance de 300 kW, gage d'une moindre pression sur l'environnement et sur les autorités (en exonérant éventuellement les aménagements de dotation et d'eau potable ainsi que d'autres installations dans des systèmes artificiels), exiger un coefficient global de rendement comme critère de qualité, accorder un bonus étage de pression différencié pour les chutes de moins de 5m, afin de libérer encore des potentiels, revoir les courbes de dédommagement, supprimer le handicap aux installations à bonne hauteur de chute, etc.
- Il faut améliorer la qualité, souvent insuffisante aujourd'hui, des demandes de RPC, en professionnaliser la mise au point.
- L'extension de l'aide financière aux installations de plus de 10 MW de puissance permettra de rendre le système plus efficace. L'aide aux travaux de transformation et d'extension ne suscite guère de réticences au plan écologique.
- L'extension des aides aux plus petites installations permettra de réaliser des potentiels supplémentaires dans la petite hydraulique.
- En revoyant à la hausse l'aide globale et les taux de RPC, on autorisera des installations supplémentaires dans la petite hydraulique. La rallonge financière pourrait servir à financer des mesures d'écologie.
- Une nouvelle réduction des redevances hydrauliques soulagerait les petits aménagements.
- Une condition indispensable de la transformation et de l'extension d'installations existantes est l'adoption de dispositions claires et dénuées d'ambiguïté concernant le renouvellement des concessions et le calcul de la valeur résiduelle.
- Il faut concevoir des instruments spécifiques en matière d'aide financière pour supprimer le frein à l'investissement précédant l'échéance de la concession.



- Suggestions de modes de financement futurs autres que l'aide publique pour les petits aménagements hydrauliques: des crédits CO₂ reposant sur leur production, au profit de la compensation des émissions de CO₂ imputables à la production d'électricité fossile, un modèle à quotas avec certificats commercialisables pour la période post-RPC, ou un «programmatic labelling» (certificat basé sur des installations de référence) pour les petits aménagements hydrauliques.

c. Entraves liées aux exigences de l'aménagement du territoire

- Aussi bien la protection contre l'inondation des zones à haute densité d'affectation que la sécurité d'approvisionnement en eau potable rendent impossibles certains projets d'hydroélectricité.
- Lorsqu'un projet exige des mesures de remplacement et de compensation sur les terrains limitrophes, les conflits de voisinage ne sont pas rares.
- En combinant la production d'énergie avec la protection contre le débordement, on produit des synergies, mais l'aménagement du territoire fait problème, d'autant qu'il faut beaucoup de place et que les espaces de retenue doivent souvent être créés dans des vallées étroites.
- Certains intervenants déplorent que le plan d'affectation ignore souvent les petits aménagements hydrauliques. De plus, l'échéance de ce plan est plus brève que celle des concessions.
- A l'échelon cantonal, on manque d'instruments permettant de transférer des versements compensatoires d'un cours d'eau exploité à un cours d'eau épargné.

Mesures proposées

- La planification intégrale, associant tous les milieux intéressés, permet des compromis.
- L'inscription au plan directeur des zones protégées et des zones exploitables libère des potentiels supplémentaires.
- Un instrument qui permettrait de fixer de manière contraignante et durable les tronçons de cours d'eau à protéger ou pouvant être exploités pourrait mener à des compromis nouveaux.

d. Entraves socioéconomiques

- L'absence de consensus et de volonté politique freinent le développement de la force hydraulique. Un large débat sur le rôle essentiel de cette ressource n'a pas eu lieu à ce jour.
- Le conflit entre les intérêts de la protection et de l'exploitation des cours d'eau empêche une discussion objective et une planification transparente. En effet, les exploitants des centrales et les auteurs de projets ne voient pas la possibilité de jouer cartes sur table. Ils justifient leurs réticences en invoquant des problèmes de concurrence, mais aussi par le fait qu'ils doivent veiller à ne pas provoquer la mise sous protection des zones visées, avec montée aux barricades immédiate des organisations écologistes contre leurs projets. D'où la critique de ces dernières quant au manque de transparence des promoteurs.
- Lorsqu'un projet se traduit par des bénéfices et des dégâts touchant plusieurs communes ou cantons, l'accord peut être difficile à obtenir, notamment lorsque les effets varient selon les communes et les cantons.
- Lorsque différentes sociétés d'électricité sont impliquées, les divergences de vue sur la répartition des bénéfices peuvent bloquer même des réalisations prometteuses de gain et peu contestables au plan écologique.



Mesures proposées

- Dans la pesée des intérêts, il faut accorder plus de poids à la production d'électricité hydraulique.
- Il faut comprendre l'intérêt national à soutenir la production hydraulique pour des raisons non seulement économiques, mais aussi pour la sécurité d'approvisionnement et pour la protection du climat.
- Il manque d'un débat plus transparent et factuel en lieu et place du lobbying actuel, assorti de discussions émotionnelles. La comparaison entre le développement de l'hydraulique et les autres formes de production de courant devrait s'imposer.
- La Confédération devrait intervenir pour débloquer la situation en cas de problèmes de coordination ou de droits de propriété et de concession.
- Une planification intégrale associant tous les milieux intéressés pourra libérer des potentiels supplémentaires.

e. Entraves liées aux procédures et aux compétences d'octroi

- Il n'est pas rare que les autorités cantonales, l'Office fédéral de la protection de l'environnement (OFEV) et la Commission fédérale de la protection de la nature et du paysage (CFPN) assument les mêmes tâches (activités qui se recoupent).
- Les réglementations relatives aux taxes imposées, à l'octroi des concessions et au dédommagement lors du retour sont souvent peu claires et diffèrent largement d'un canton à l'autre.
- En cas d'agrandissement d'une centrale, on ne sait pas toujours s'il faut une nouvelle concession ou s'il suffit d'une extension de l'acte existant.

Mesures proposées

- Il faut pouvoir intégrer à la procédure régulière de concession et d'autorisation l'acceptation d'un plan de protection et d'utilisation des eaux. Le délai d'acceptation devra être ramené à un mois, car toutes les tâches y relatives sont accomplies au DETEC. La même raison fait que la décision devrait relever de ce seul département, et non du Conseil fédéral.
- On renoncera à un examen spécifique par la CFPN. Une proposition allant moins loin est qu'avec l'accord de cette commission, la prise d'eau dans une zone IFP soit possible sans autre.
- Afin de décharger les services administratifs, il est proposé de porter la limite inférieure de puissance exigeant consultation de l'OFEV de 300 kW à 1000 kW.
- Dans le domaine de la petite hydraulique en particulier, il faut réduire les possibilités de participation des associations d'intérêts après accord des services administratifs et octroi d'une concession.
- En vue d'une harmonisation nationale des procédures, il est proposé d'installer des centres One-stop dans les cantons, d'introduire davantage de e-governance et de renforcer le service conseil du Small Hydro Programm de l'OFEN.
- Il conviendrait d'adopter des délais clairs, si possible harmonisés dans tout le pays, s'appliquant aux décisions des autorités et des instances de recours. Il faut renforcer les effectifs des services concernés pour accélérer l'examen des requêtes.
- Il devrait être possible de mener des procédures coordonnées pour des groupes de petits aménagements hydrauliques situés sur le même cours d'eau, au lieu de procéder pour chacun d'eux séparément.



- Les autorités devraient pouvoir réclamer, en octroyant une nouvelle concession, de plus importants débits turbinables. En cas d'assainissement lié aux débits résiduels, il devrait être possible d'exiger l'inclusion de turbines d'eau de dotation ainsi que (quand il n'en résulte aucun effet nouveau pour l'environnement) d'accroître les débits turbinables sans corriger la concession existante.
- Il conviendrait que l'OFEN examine quand des travaux de rénovation ou de transformation exigent une nouvelle concession.



Annexe 2:

Liste des projets de grandes centrales

(GWh/a)

	Désignation du projet	Canton	GWh/a	Conditions d'utilisation actuelles		Conditions d'utilisation optimisées	
				Prob.	Production estimée	Prob.	Production estimée
1	KW Koblenz-Kadelburg*	AG/D	155	0	0	0	0
2	Eschi-Erlenbach	BE	80	0	0	0	0
3	Jaberg-Kiesen	BE	58	0	0	0	0
4	Barrage de Conflan*	GE/F	60	0.5	30	0.75	45
5	(Sils)-Rothenbrunnen-Reichenau	GR	150	0.5	75	0.75	112.5
6	Ems-Mastrils	GR/SG	150	0.25	37.5	0.5	75
7	Ilanz-Reichenau	GR	150	0.5	75	0.75	112.5
8	Küblis-Landquart	GR	220	0.75	165	1	220
9	Litzirüti-Pradapunt	GR	81	0.75	60.8	1	81
10	Martina-Prutz	GR	56	0.75	42	1	56
11	Naz-Bergün	GR	64	0.25	16	0.5	32
12	Roveredo	GR	101	0	0	0.25	25.3
13	Überleitung Lugnez	GR	85	0.75	63.8	1	85
14	KW am Alpenrhein*	SG/FL	81	0.25	20.3	0.5	40.5
15	Rhein-KW Oberriet-Widnau*	SG/A	115	0	0	0	0
16	Adduction de Zinal	VS	90	0	0	0.25	22.5
17	Gletsch-Oberwald	VS	38	0.75	28.5	1	38
18	Massongex-Bex-Rhône	VS/VD	90	0.75	67.5	1	90
19	Palier d'Illarsaz	VS/VD	90	0	0	0.25	22.5
20	Oberaletsch / Gebidem	VS	100	0.5	50	0.75	75
21	Randa Mattsand	VS	48	0.75	36	1	48
	Autres projets, non spécifiés		1'000	0	0	0.25	250
	Total (GWh/a)		3'062		767		1'431

Prob. = Probabilité de réalisation

* Centrales frontalières: seule figure ici la part de production revenant à la Suisse.



Annexe 3:

Potentiels des petits aménagements hydrauliques, par canton

(GWh/a)

Canton	Conditions d'utilisation actuelles	Conditions d'utilisation optimisées
Argovie	25	25
Appenzell Rhodes ext.	3	3
Appenzell Rhodes int.	7	7
Bâle-Campagne	6	15
Bâle-Ville	1	1
Berne	220	220
Fribourg	37	48
Genève	1	1
Glaris	60	100
Grisons	141	141
Jura	4	6
Lucerne	20	30
Neuchâtel	15	30
Nidwald	50	50
Obwald	53	70
Schaffhouse	7	8
Schwyz	8	13
Soleure	6	6
St-Gall	30	50
Tessin	70	70
Thurgovie	37	42
Uri	190	190
Vaud	112	137
Valais	150	300
Zoug	5	5
Zurich	29	34
Total (GWh/a)	1'287	1'602