

# Impacts des changements climatiques et de la libéralisation du marché de l'électricité sur l'hydroélectricité avec réservoir

Ludovic Gaudard

L'hydroélectricité est un pilier de l'énergie suisse, même si son avenir est instable. La production moyenne de 36 TWh an<sup>-1</sup> représente environ 56% de l'électricité suisse (années 2002–2012, (SFOE, 2012)). De plus, les revenus annuels reversés aux collectivités publiques sous forme de taxes et de redevance représentent plus de  $560 \times 10^6$  CHF an<sup>-1</sup> (années 2006–2012, (SFOE, 2012)). Dans la perspective d'une sortie programmée de l'énergie nucléaire, le rôle de l'hydroélectricité est accru. Cependant, l'ouverture des marchés à la concurrence, la nouvelle politique énergétique, le renouvellement des concessions, les nouvelles technologies ainsi que le réchauffement climatique sont des sources d'incertitude. Afin de mieux préparer la transition énergétique et les scénarios à long terme, une évaluation de ces impacts et risques est nécessaire. Cette thèse analyse cette problématique complexe tout en se concentrant sur les changements climatiques et la libéralisation des marchés de l'électricité.

Les changements climatiques vont affecter l'hydroélectricité de diverses manières. Le ruissellement va différer en terme de volume annuel et de saisonnalité (Beniston, 2012). Ceci influence la gestion des installations avec réservoir et leurs revenus (Gaudard et al., 2013b). La hausse des températures modifie également la consommation d'électricité qui est liée aux variables météorologiques (Pardo et al., 2002). Le profil annuel de la demande pourrait changer et les barrages devront s'y adapter. Pour finir, le réchauffement climatique peut apporter des opportunités. De nouveaux lacs vont se former dans des zones actuellement recouvertes de glaciers (Haeberli et al., 2012). Ainsi, une installation de pompage-turbinage est envisagée en amont du barrage actuel de Mauvoisin (Gaudard, 2014b; Terrier et al., 2011).

La libéralisation des marchés de l'électricité est un changement de paradigme. Par rapport au monopole public, les investissements dans les technologies intensives en capital sont défavorisés (Finon, 2009). La volatilité des prix et les incertitudes augmentent, ce qui influence aussi les investissements. Une analyse détaillée de ces changements et de leurs impacts sur l'hydroélectricité permet de planifier la sortie de l'énergie nucléaire.

Une première approche englobe tous les 'drivers' en se basant sur la littérature scientifique et des rapports officiels. La méthode systémique permet d'identifier les variables relevantes et leurs interactions. Cette approche est essentiellement qualitative (Gaudard and Romerio, 2013a)

L'impact des changements climatiques et de la libéralisation des marchés de l'électricité est analysé par des méthodes spécifiques et quantitatives. Les données de ruissellements ont été fournies suivant divers scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (Gabbi et al., 2012; Fatichi et al., 2013). Les conséquences du réchauffement sur la demande en électricité sont analysées par des méthodes économétriques combinées à la méthode des deltas de la distribution empirique (Gaudard et al., 2013b; Keller et al., 2005). La projection des prix de l'électricité considère divers modèles de séries temporelles, dont ARMA-GARCH (Bollerslev,

1986; Box and Pierce, 1970), mean-reversing (Uhlenbeck and Ornstein, 1930), mean-reversion jump diffusion (Kaminski, 1997), mouvements géométriques browniens (Black and Scholes, 1973). Sur la base de ces données, un modèle de gestion du réservoir est optimisé par un algorithme de seuil accepté (Dueck and Scheuer, 1990; Moscato and Fontanari, 1990). Des revenus annuels et des niveaux du réservoir sont obtenus. L'incertitude sur les premiers est discutée à l'aide de matrices d'incertitude (Walker et al., 2003). Les revenus annuels servent également à effectuer une analyse d'investissement, par le biais de la valeur actuelle nette et des options réelles (Quiry et al., 2011; Dixit and Pindyck, 1994).

Dans les cas étudiés en Suisse et Italie, les changements climatiques ont un impact limité. Les caractéristiques locales sont importantes. Par exemple, le volume annuel de ruissellement peut varier de  $-21\%$  à  $+15\%$  à moyen terme selon le bassin versant (Gaudard et al., 2013c). Cependant, une gestion appropriée des installations hydroélectriques permet de réduire les pertes en terme d'énergie produite et de revenus (Gaudard et al., 2013b). Les incertitudes sont également faibles, car les divers scénarios d'émission de gaz à effet de serre apportent peu de variation dans les prévisions à long terme (Gaudard et al., 2014a). L'impact de l'augmentation des températures sur la consommation d'électricité est également limité, sauf si l'on induit des changements de comportement (Gaudard et al., 2013b).

Les prix de l'électricité sont une source d'incertitude importante (Gaudard et al., 2014a). Les projections à long terme sont difficiles, car les séries temporelles historiques sont relativement courtes et le design du marché évolue encore. Les projets de pompage-turbinage sont également particuliers, car ils dépendent à la fois du prix moyen et de l'écart entre le prix de pointe et hors pointe (Gaudard, 2014b). Les méthodes ont été adaptées à cet effet. Les résultats d'un projet en amont du barrage actuel de Mauvoisin montrent que les conditions de marché actuelles compromettent les investissements dans le stockage de l'énergie. Cependant, la valeur d'option de la concession reste positive (Gaudard, 2014b).

Cette thèse cible trois publics différents, c'est-à-dire les scientifiques, les instances politiques et les opérateurs hydroélectriques. L'intégration d'un modèle économique avec des projections de ruissellement est nouvelle. Il apporte des résultats intéressants comparés aux modèles utilisés jusqu'ici dans le cadre des changements climatiques. La combinaison d'approches quantitative et qualitative est également un point fort de ce travail. Pour les autorités publiques, l'intérêt principal est de pouvoir comparer les effets des changements climatiques et de la libéralisation du marché de l'électricité sur une base commune, à savoir les revenus annuels. Ceci devrait les aider dans leurs décisions futures sur la politique climatique et énergétique. Finalement, les opérateurs peuvent obtenir des informations intéressantes à propos de la gestion de leurs installations et à la planification de leurs investissements. Les résultats de ce travail peuvent donc éclairer certains débats actuels sur le renouvellement des concessions et la sortie de l'énergie nucléaire.