



Berne, le 3 mars 2017

Conception et mise en œuvre de mesures d'encouragement pour l'utilisation de la géothermie profonde en Suisse

Rapport du Conseil fédéral en exécution de la motion (11.3562) du conseiller aux Etats Felix Gutzwiller du 15 juin 2011, de la motion (11.3563) du conseiller aux Etats Felix Gutzwiller du 15 juin 2011 et de la motion (11.4027) de la conseillère nationale Kathy Riklin du 30 septembre 2011.



Table des matières

Résumé.....	6
1. Introduction.....	8
1.1. Vue d'ensemble du rapport.....	8
1.2. Contexte.....	8
1.3. Obstacles	9
1.3.1. Mise en valeur d'un réservoir	9
1.3.2. Exploration / Exploitabilité	10
1.3.3. Compétences	10
1.3.4. Protection juridique et sécurité des investissements	10
1.4. Etat de développement et potentiel	10
1.5. Mesures d'encouragement actuelles	13
1.5.1. Encouragement de la géothermie.....	13
1.6. La motion 11.3562	15
1.7. La motion 11.3563	16
1.8. La motion 11.4027	17
2. Partie principale.....	18
2.1. Contexte.....	18
2.1.1. Facteurs généraux de risques techniques, économiques, commerciaux, organisationnels et socio-politiques	18
2.1.2. Le rôle de l'Etat	18
2.2. Bases légales.....	20
2.3. Catégorisation des motions	20
2.4. Champs d'action des motions 11.3562, 11.3563 et 11.4027	22
2.4.1. Champs d'action technique.....	22
2.4.2. Champs d'action économique.....	29
2.4.3. Champs d'action socio-politiques et réglementaires	32
3. Résumé.....	34
Sources	36



Glossaire et abréviations

ARE	Office fédéral du développement territorial
CHe	SuisseEnergie
CTI	Commission pour la technologie et l'innovation
Exploitableté	La probabilité de trouver une structure géologique comprenant une source de chaleur et un chemin de migration de la chaleur, présentant des conditions de stockage de la chaleur ou du fluide et offrant des possibilités techniques d'utilisation à des conditions raisonnables du point de vue économique.
Exploration	L'exploration concernant un réservoir géothermique se fait par le biais d'un forage et sert à confirmer un réservoir géothermique supposé et à déterminer le potentiel de rendement.
Géothermie hydrothermale	L'eau chaude disponible naturellement est utilisée directement pour la production de chaleur (typiquement pour des températures supérieures à 60°C) sans qu'une pompe à chaleur soit nécessaire. En cas d'eau chaude, typiquement à partir de 100°C, il est aussi possible de produire de l'électricité.
Géothermie pétrothermale	Malgré le manque de gisement naturel d'eau chaude, il est néanmoins possible d'utiliser la chaleur de la roche disponible naturellement pour la production de chaleur et d'électricité. La chaleur de la roche est utilisée après qu'un réservoir de chaleur a été rendu perméable au fluide par une stimulation et une fracturation réalisées typiquement avec des méthodes d'ingénierie hydraulique. On fait circuler un fluide qui prélève la chaleur de la roche à travers le réservoir de chaleur devenu perméable. L'eau chaude disponible naturellement peut faire partie de ce circuit.
Géothermie profonde	Contrairement à la géothermie proche de la surface ou peu profonde, qui est surtout utilisée indirectement via des sondes géothermiques et des pompes à chaleur, la géothermie profonde se réfère à l'utilisation directe de la géothermie pour la production de chaleur et d'électricité. Selon l'état actuel de la technique, elle nécessite des températures d'eau chaude supérieures à 60°C que l'on trouve dans les grandes profondeurs. Le gradient géothermal en Suisse se situe en moyenne entre 25°C et 35°C par kilomètre, mais il peut aussi être



	beaucoup plus élevé (p. ex. supérieur à 60°C dans la vallée du Rhône en Valais) ou plus bas (dans l'arc alpin). Par conséquent, il n'existe pas de délimitation unique en ce qui concerne la profondeur entre les différents concepts d'utilisation. Les lois cantonales traitent diversement la différence entre géothermie peu profonde et géothermie profonde et suivent les concepts d'utilisation, la pratique en matière d'autorisation et de surveillance.
Mise en valeur / Réalisation	La mise en valeur / réalisation comprend les travaux et les constructions dans le sous-sol profond afin de rendre possible la production sûre, fiable et propre d'eau chaude à la tête du puits de forage pour la production d'électricité ou l'utilisation directe de la chaleur et pour la réinjection de l'eau refroidie dans la couche géologique prévue à cette fin. Au lieu de l'eau chaude, il est aussi possible d'utiliser d'autres fluides caloporteurs comme de l'eau thermale salée contenant des gaz dissous disponible naturellement.
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFT	Office fédéral des transports
Prospection	La prospection comprend les analyses servant, d'une part, à caractériser indirectement le sous-sol d'un réservoir géothermique supposé et, d'autre part, à déterminer l'emplacement en surface et la cible d'un puits d'exploration.
R&D	Recherche & développement
Reconnaissance (géologique ou du sous-sol)	La reconnaissance comprend la prospection (cf. plus haut) et l'exploration (cf. plus haut) du sous-sol profond dans le but de détecter un réservoir géothermique.
SCCER	Pôles de compétence en recherche énergétique (Swiss Competence Centers for Energy Research); pour la géothermie profonde, le SCCER-Supply of Electricity SoE est notamment important.
Stimulation hydraulique / Fracturation hydraulique	Une technique de routine qui est utilisée pour améliorer la perméabilité au fluide ou au gaz dans la roche proche du puits de forage (ordre de grandeur de 0,1 à 10 m) et de plus en plus aussi dans la roche plus éloignée du puits de fo-



	rage (ordre de grandeur de 10 à 100 m) afin d'augmenter l'efficacité de l'extraction de la chaleur stockée dans la roche. Pour l'essentiel, un fluide de stimulation (typiquement de l'eau) est injecté sous haute pression dans la formation géologique afin de fracturer la roche, les pores et les fissures qui en résultent augmentent la perméabilité.
Swisstopo	Office fédéral de topographie; le Service géologique national de swisstopo qui est le centre de compétences de la Confédération spécialisé dans le relevé, l'analyse, le stockage de données géologiques de base et leur mise à disposition revêt une grande importance.
Utilisation directe	Un concept d'utilisation de la géothermie dans lequel la chaleur géothermique de l'eau thermale chaude est prélevée par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur et transférée à un autre fluide. Ce fluide chaud (souvent de l'eau) est directement injecté dans un réseau de chaleur.



Résumé

L'utilisation de la géothermie profonde en Suisse repose sur deux concepts: la géothermie hydrothermale, d'une part, et la géothermie pétrothermale, d'autre part. La géothermie hydrothermale signifie l'utilisation de l'eau chaude disponible naturellement en quantité exploitable pour la production directe de chaleur ou d'électricité. La géothermie pétrothermale signifie la mise en valeur¹ d'un réservoir de chaleur disponible naturellement par la création d'un échangeur de chaleur souterrain de grande surface avec des mesures d'ingénierie. Un système de pompage y fait circuler de l'eau qui prélève la chaleur de la roche chaude, chaleur qui est ensuite utilisée à la surface pour la production directe de chaleur et d'électricité.

Alors que la géothermie hydrothermale est expérimentée dans le monde entier, mais qu'elle en est encore à ses balbutiements en Suisse à cause du manque de connaissances sur le sous-sol profond et du manque d'expérience, la géothermie pétrothermale a certes fait l'objet d'installations pilotes et de démonstration dans certaines régions du monde, mais elle n'est pas encore largement diffusée, car cette technologie n'est pas encore arrivée à maturité.

La Stratégie énergétique 2050 de la Suisse vise notamment une hausse significative de la production d'électricité et de chaleur à partir des nouvelles énergies renouvelables. La politique climatique de la Suisse, quant à elle, vise une large décarbonisation du secteur de l'énergie. Par conséquent, la géothermie fait partie des technologies pouvant bénéficier d'un soutien dans la Stratégie énergétique 2050.

Les trois motions transmises par le Parlement 11.3562 («Géothermie profonde. Offensive»), 11.3563 («Géothermie profonde. Reconnaissance géologique dans toute la Suisse») et 11.4027 («Plan d'action en faveur de la géothermie»), qui chargent le Conseil fédéral d'encourager l'utilisation de la géothermie profonde par des mesures particulières, poursuivent aussi ces objectifs. Elles portent sur des risques liés à la technique, à l'économie et au contexte socio-politique) qui doivent être réduits par une série de mesures.

Il est prévu de mettre en œuvre des éléments essentiels des mandats parlementaires dans le cadre de la refonte totale de la loi sur l'énergie (LEne) décidée par le Parlement le 30 septembre 2016 et de la révision partielle de la loi sur le CO₂ ainsi que des révisions concomitantes de l'ordonnance sur l'énergie (OEne) et de l'ordonnance sur la réduction des émissions de CO₂ (ordonnance sur le CO₂). La loi sur l'énergie entièrement révisée prévoit trois instruments d'encouragement (contributions à la prospection, garanties pour la géothermie, rétribution du courant injecté) pour les projets de géothermie destinés à la production d'électricité. La loi sur le CO₂ de nouveau partiellement révisée prévoit un instrument d'encouragement (contribution à l'investissement) visant à soutenir des projets d'utilisation directe de la géothermie pour la production de chaleur. Les instruments d'encouragement pourraient entrer en vigueur le 1^{er} janvier 2018. Le référendum contre la loi sur l'énergie ayant abouti, le peuple sera appelé à se prononcer à ce sujet le 21 mai 2017. En cas de rejet du premier paquet, les mesures prévues pour la géothermie seront elles aussi abandonnées.

Les conditions-cadres seront nettement améliorées avec ces instruments destinés à la prospection et à l'exploration de ressources géothermiques présentes dans le sous-sol suisse et à une utilisation par des projets de production d'électricité et de chaleur. Les barrières économiques vont par conséquent aussi diminuer, puisque les contributions et les garanties auront un impact positif sur les flux de trésorerie des projets. Par ailleurs, il est envisagé de tenir compte des coûts plus élevés pour la mise en

¹ Cf. glossaire.



valeur² de ressources pétrothermales en ce sens que les projets de géothermie pétrothermale destinés à produire de l'électricité pourraient recevoir 7,5 ct./kWh d'électricité en plus des rétributions du courant injecté par des installations hydrothermales. Même si la compétence en matière de réglementation de l'utilisation du sous-sol relève principalement des cantons, la Confédération soutient la diminution du risque socio-politique en apportant son soutien aux cantons au sens d'une «réglementation souple» avec l'établissement de lignes directrices et de guides.

² Cf. glossaire.



1. Introduction

1.1. Vue d'ensemble du rapport

Le **premier chapitre** pose le contexte dans lequel s'inscrit l'utilisation de la géothermie profonde, montre les obstacles auxquels elle est confrontée et donne un bref éclairage sur l'état actuel de développement. Il présente ensuite l'encouragement actuel de la géothermie profonde. Dans ce contexte, il reproduit les contenus et les motifs des motions 11.3562, 11.3563 et 11.4027, explique l'avancement du processus politique et mentionne des objets apparentés.

Le **deuxième chapitre**, la partie principale du rapport, décrit cinq catégories systématiques de risques encourus lors de l'utilisation de la géothermie profonde en exposant brièvement le rôle de l'Etat. Les mandats confiés au Conseil fédéral sont classés en trois des cinq catégories (techniques, économiques et socio-politiques). En se fondant sur les bases légales possibles, il décrit ensuite les mesures que le Conseil fédéral entreprendrait en exécution des motions.

Le **troisième chapitre** résume brièvement la situation.

1.2. Contexte

L'électricité issue de la géothermie indigène est traditionnellement envisagée comme fournisseur d'électricité décentralisé assurant la charge de base et la chaleur géothermique peut directement être utilisée avec les réseaux de chaleur à distance. Des progrès dans la technique des centrales et de réglage des installations de géothermie destinées à la production d'électricité ont rendu possibles des modes de fonctionnement flexibles afin de fournir des services-systèmes tels que soutien du réseau, régulation du réseau, réserves tournantes ou non pour la production d'électricité ainsi que centrales de remplacement ou centrales supplémentaires.

La Suisse ne produit aujourd'hui pas d'électricité et que très rarement de la chaleur pour les consommateurs à partir de la géothermie profonde malgré le grand potentiel des ressources indigènes³.

Les principaux obstacles qui conduisent au manque actuel de projets réalisés sont principalement les coûts d'investissement élevés en amont et le risque élevé d'exploitabilité. Ce risque est étroitement lié au faible degré de connaissance du sous-sol indigène.

Les ressources géothermiques conventionnelles ou hydrothermales nécessitent l'interaction de trois facteurs: 1. des températures élevées dans le sous-sol; 2. la présence de couches ou de formations géologiques aquifères qui 3. présentent une perméabilité suffisante pour obtenir un débit d'eau chaude durable et économiquement exploitable en surface.

Outre la géothermie hydrothermale, la géothermie pétrothermale, aussi appelée système géothermique stimulé ou SGS (en anglais Enhanced Geothermal Stimulation, EGS), constitue un autre procédé qui nécessite pour son utilisation uniquement une température suffisamment élevée dans le sous-sol profond. Le SGS est très attrayant, car il ne requiert pas de couche ni de formation géologique aquifère

³ «Energy from the Earth. Deep Geothermal as a Resource for the Future?» TA-SWISS Study TA/CD 62/2015, Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (éd.), vdf Hochschulverlag AG, 524 pages, ISBN 978-3-7281-3654-1 (livre) / téléchargement en accès libre (TA 62/2015 e), Le courant électrique venu du sous-sol. Résumé de l'étude de TA-SWISS. Centre d'évaluation des choix technologies (éd.), TA-61A/2014, Berne, 2014 (TA 62A/2014 f)



présentant une perméabilité suffisamment élevée. De l'eau froide est injectée sous pression dans le sous-sol en circuit presque fermé pour exploiter par des techniques d'ingénierie une surface d'échange de chaleur de plusieurs kilomètres carrés dans la roche chaude au moyen d'un procédé de fracturation et de stimulation hydrauliques (des procédés thermiques ou chimiques sont aussi envisagés). Durant la phase de production, on utilise au moins deux puits de forage, l'un servant à alimenter le réservoir en eau et l'autre à ramener à la surface l'eau qui a prélevé la chaleur de la roche en se frayant un chemin à travers le réservoir.

Dans les deux concepts d'utilisation et vu la qualité des ressources indigènes, la chaleur de l'eau chaude est prélevée en surface pour les projets destinés à produire de l'électricité à l'aide de centrales binaires (p. ex. cycle organique de Rankine ou cycle de Kalina). Il est ensuite encore possible de prélever de la chaleur résiduelle de l'eau chaude pour vendre de la chaleur utile via les réseaux de chaleur existants. L'eau ainsi refroidie est réinjectée dans le réservoir souterrain et la circulation et le réchauffement de l'eau refroidie recommence.

L'utilisation de la technologie SGS élargit le potentiel de la géothermie, puisque les ressources sont quasiment illimitées. Mais, en raison des risques opérationnels et techniques, cette technologie n'est actuellement pas mûre pour le marché. Depuis une dizaine d'années, des avancées techniques ont été réalisées dans d'autres pays tels que les Etats-Unis, l'Islande, l'Allemagne, la France et l'Australie.

Le but du présent rapport est d'expliquer les mesures que le Conseil fédéral a prises pour améliorer les conditions-cadres de l'utilisation de la géothermie profonde. Les trois motions transmises par le Parlement portent sur ce sujet et doivent ainsi être traitées ensemble de manière coordonnée. Les demandes des auteurs des motions concernent les risques techniques, économiques, commerciaux, organisationnels et socio-politiques et les obstacles compliquant l'utilisation de la géothermie pour la production directe de chaleur et d'électricité. Le Conseil fédéral réagit en conséquence et analyse comment il est possible d'encourager le plus efficacement possible l'utilisation la géothermie. Pour lui, il est très important de limiter des distorsions provoquées par ces interventions dans le marché de l'énergie.

1.3. Obstacles

1.3.1. Mise en valeur d'un réservoir⁴

Les coûts de forage représentent la majeure partie des investissements en capitaux et sont ainsi la clé pour réduire et rendre concurrentiels les coûts de revient de l'électricité et de la chaleur. La Suisse manque d'expériences locales qui permettent de réduire les coûts opérationnels par des gains d'efficacité, d'une part, et le nombre de forages réalisés est très faible à cause des coûts, du niveau des risques et de la propension à prendre des risques, d'autre part. En ce qui concerne les SGS ou systèmes pétrothermaux, non seulement les coûts de forage, mais aussi la stimulation et la fracturation hydrauliques du réservoir représentent des coûts considérables. L'utilisation de cette technologie n'est en outre techniquement pas encore si aboutie que les réservoirs peuvent être mis en valeur de manière fiable et sûre. La mise en valeur du réservoir dans le projet SGS de Bâle en 2006 a certes été un succès technique, mais s'est accompagnée de secousses perceptibles, inacceptables socialement et politiquement. Ces cinq dernières années, des projets et des essais pilotes de SGS qui laissent entrevoir une méthode de mise en valeur sûre et acceptable ont été réalisés principalement en Australie et aux Etats-Unis.

⁴ Cf. glossaire.



1.3.2. Exploration⁵ / Exploitableté⁶

L'exploitableté d'un réservoir géothermique dépend essentiellement de trois facteurs géologiques, que l'on multiplie entre eux pour trouver la probabilité $P_{\text{Exploitableté}}$: $P_{\text{Température}} * P_{\text{Couche/Formation appropriée}} * P_{\text{Débit}} = P_{\text{Exploitableté}}$. Alors que la probabilité de trouver une température souhaitée à une certaine profondeur est élevée, la probabilité de trouver une couche ou une formation géologique aquifère et la probabilité de trouver un débit suffisant sont plus faibles. Un projet peut par exemple avoir une probabilité globale d'exploitableté d'environ 23% ($90\% * 50\% * 50\%$). Par conséquent, la probabilité globale d'une exploitableté insuffisante est de 77%. Il est ainsi crucial d'augmenter les probabilités d'exploitableté pour la phase de prospection et d'exploration d'un projet.

1.3.3. Compétences

L'intégration de l'électricité géothermique dans la stratégie des fournisseurs d'énergie indigène en est à ses balbutiements. Les compétences et les concepts de gestion de portefeuille sont en cours d'élaboration. Le décryptage du potentiel de la géothermie requiert aussi le développement d'une technologie pétrothermale sûre et durable.

1.3.4. Protection juridique et sécurité des investissements

En raison d'une histoire minière suisse peu importante, les lois et les réglementations relatifs au développement du sous-sol en tant qu'espace fonctionnel et de source de ressources sont rares et leur degré d'élaboration varie fortement entre les cantons. Ce manque de législation en la matière fait que l'industrie de la géothermie et les concepteurs de projets doivent élaborer avec les cantons et les communes un processus «ad hoc», inefficace et de longue haleine afin de prospecter des ressources géothermiques, d'exercer des activités d'exploration, de développer des réservoirs géothermiques découverts et de procéder au démantèlement au terme de la durée de vie. Même si la géothermie profonde est écologique et renouvelable, sa mise en valeur n'est pas exempte de dangers et de risques. Des standards élevés en matière de protection de la santé, de sécurité et de protection de l'environnement doivent impérativement être respectés, et ce systématiquement, lors des travaux de mise en valeur de ressources géothermiques. Il manque en Suisse des standards spécifiques à la géothermie et des exigences minimales que l'industrie doit respecter pour obtenir des licences. En leur absence, l'industrie suit plus ou moins des standards industriels qui varient toutefois beaucoup d'un pays à l'autre.

1.4. Etat de développement et potentiel⁷

Divers essais de réaliser de nouveaux projets de géothermie ont été menés en Suisse entre 2006 et 2016. Les nouveaux projets comportent un risque d'échec très élevé.

Ainsi le projet pétrothermal ou SGS de Bâle en 2006 a certes été un succès technique - la stimulation et la fracturation hydrauliques ont augmenté la perméabilité à l'eau du réservoir souterrain à développer

⁵ Cf. glossaire.

⁶ Cf. glossaire.

⁷ Ce chapitre se fonde sur l'étude réalisée par TA-SWISS sur les potentiels et les risques de la géothermie profonde. L'Office fédéral de l'énergie a pris la direction du groupe d'accompagnement et cofinancé cette étude: «Energy from the Earth. Deep Geothermal as a Resource for the Future?» TA-SWISS Study TA/CD 62/2015, Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (éd.), vdf Hochschulverlag AG, 524 pages, ISBN 978-3-7281-3654-1 (livre) / téléchargement en accès libre (TA 62/2015 e), Le courant électrique venu du sous-sol. Résumé de l'étude de TA-SWISS. Centre d'évaluation des choix technologies (éd.), TA-61A/2014, Berne, 2014 (TA 62A/2014 f)



à 4'500 mètres de profondeur de plus de trois ordres de grandeur - cependant la stimulation s'est accompagnée d'une activité sismique perceptible dépassant le niveau acceptable dans la région. Les tensions dans la roche et la solidité de la roche étaient largement inconnues.

Le forage en profondeur (2009/2010) effectué par l'entreprise Elektrizitätswerke Zürich ewz dans le lotissement zurichois de Sonnengarten était motivé par une structure favorable en surface d'acheteurs et de clients existants de la chaleur, mais n'a donné qu'un forage «sec» au lieu du débit d'eau chaude espéré en raison de la connaissance lacunaire du sous-sol profond. Une prospection systématique du sous-sol profond de la ville de Zurich n'avait pas été réalisée avant le creusement du forage.

Le forage en profondeur réalisé par les services industriels de Saint-Gall en 2013 se fondait sur un programme systématique de prospection. Une campagne sismologique 3D menée avec succès en surface dans tout le canton avait donné des éclaircissements sur la structure et sur la composition géologique du sous-sol saint-gallois à l'aide d'ondes sonores enregistrées et analysées. Les ondes sonores enregistrées sont réfléchies par les couches de roche et servent ainsi de base à un modèle géologique. A Saint-Gall, on a cependant trouvé un gisement de gaz naturel, occupant vraisemblablement un espace limité, au lieu de l'eau chaude attendue. Des séismes perceptibles à la surface se sont produits suite aux mesures de sécurité requises dans le puits de forage afin de repousser le gaz naturel trouvé dans la formation rocheuse.

Ces trois projets interrompus illustrent la nécessité de travaux de prospection et d'exploration en amont, d'une part, et les aléas du sous-sol profond où l'on trouve une ressource «par chance», d'autre part. Si la présence d'une ressource souhaitée est confirmée dans un nouveau projet, il peut devenir un projet mature dans lequel le risque d'exploitabilité peut être considérablement réduit, comme dans le bassin de molasse bavarois de la région de Munich, où un grand nombre d'autres projets ont été réalisés dans les presque 15 ans qui ont suivi un premier projet réussi à Unterhaching.

D'un point de vue économique, les valeurs en capital attendues aujourd'hui en Suisse (valeurs actuelles nettes avec un certain coût du capital) des projets de géothermie n'attirent pas les investisseurs en raison des faibles chances de trouver une ressource. Pour des projets de ce genre, la valeur actuelle nette attendue est présentée comme suit: $VMA = POS \cdot VAN_{\text{exploitable}} + (1 - POS) \cdot VAN_{\text{non exploitable}}$, où POS est la probabilité de succès (Probability of Success) ou les chances de trouver et de développer un réservoir géothermique souterrain. Même en cas de découverte, les coûts de revient de la chaleur et de l'électricité d'un projet qui est une réussite technique ne sont pas encore concurrentiels, ce qui se traduit par une $VAN_{\text{exploitable}}$ négative.

Pour un projet de géothermie hypothétique aujourd'hui en Suisse, les coûts de revient de l'électricité sont évalués à près de 40 ct./kWh. Avec les prix actuels de l'électricité et de la chaleur sur le marché, ce projet ne serait pas concurrentiel sans encouragement⁸. La composante souterraine représente quelque 31 ct./kWh et la composante «conversion de l'énergie en surface» près de 9 ct./kWh des coûts de revient de l'électricité. Les coûts de capacités spécifiques se montent à environ CHF 25'000/kW_{élec-trique}, dont 75% pour le sous-sol et 25% pour les installations de surface. On prend en compte: une centrale géothermique moderne a un taux d'utilisation annuel compris entre 90% et 95% (d'où souvent charge de base) contrairement aux installations intermittentes (éolien, solaire) qui ont un taux d'utilisation annuel normalisé d'environ 10 à 30%.

⁸ Les indications reposent sur des bases élaborées, analysées et mises à jour en permanence dans le programme de recherche de l'OFEN et dans le domaine du marché de la géothermie de l'OFEN. L'étude de TA-SWISS est arrivée à des résultats similaires.



Afin de devenir compétitif et de réduire les aides des pouvoirs publics, on se concentre ainsi *primo* sur la réduction des coûts de la composante souterraine, puisque c'est là qu'il y a le plus grand potentiel, et *secundo* sur la composante en surface.⁹ On s'attend à ce que la baisse des coûts de forage et une optimisation des centrales contribuent à la compétitivité. Outre les tâches de recherche et de développement, l'acquisition d'expérience, la standardisation et la simplification représentent en premier lieu de puissants réducteurs de coûts.

En raison de la qualité des ressources en Suisse, la géothermie pétrothermale profonde ou SGS visant à mettre en valeur la chaleur du sous-sol est particulièrement importante, car l'exploitabilité de gisements de géothermie hydrothermale peut être faible, non seulement à cause du hasard, mais aussi en raison des données géologiques. L'ingénierie de l'échangeur de chaleur artificiel d'un volume exprimé en kilomètres cubes et d'une surface d'échange de chaleur exprimée en kilomètres carrés est réalisée au moyen de stimulations et de fracturations hydrauliques. Le SGS s'accompagne de particularités dans l'achèvement des puits de forage qui doivent rendre imperméables certains de leurs tronçons. Cette terre vierge doit être défrichée par la recherche et le développement, mais aussi par des projets pilotes et de démonstration menés par l'industrie. Les coûts supplémentaires des SGS augmentent les coûts de revient de l'électricité par rapport aux projets hydrothermaux. Et il n'est aujourd'hui pas encore possible de bien planifier l'ingénierie dans la mesure où la conception et l'exécution des travaux de stimulation ne mènent pas forcément au succès. Les processus de sécurité doivent aussi être améliorés afin de ramener sûrement les risques en matière de santé, de sécurité et de protection de l'environnement à un niveau ALARP («as low as reasonably practicable», soit un niveau aussi faible que raisonnablement praticable). Parallèlement, les enseignements tirés depuis 2006 notamment du projet SGS de Bâle et les stimulations effectuées entretemps en Australie, aux Etats-Unis et en Indonésie montrent que de nouveaux concepts de stimulation présentent un grand potentiel de réduction des coûts afin de devenir compétitif.

Si les développements technologiques et les potentiels d'efficacité sont pris en considération, la géothermie profonde pourra exploiter son potentiel et contribuer à l'avenir à la production d'électricité. La vente de chaleur peut augmenter nettement l'attrait économique lorsque des réseaux de distribution de chaleur existent déjà. L'utilisation combinée de la chaleur et de la force est un modèle d'affaires particulier, puisque la construction et l'exploitation d'un réseau de chaleur requiert une forte synergie avec des entreprises qui ont en principe des compétences-clés dans des domaines différents. Les zones d'agglomération présentent un très grand potentiel en la matière.

Des gaz équivalents au CO₂ sont émis en raison du creusement énergivore des puits de forage, de l'utilisation de fer et d'acier dans la construction, de l'achèvement des puits de forage et de la construction de centrales. Avec 30 à 85 kg/équivalent CO₂ par MWh d'électricité produite sur l'ensemble du cycle de vie, les émissions sont environ 10 fois supérieures aux émissions de l'électricité nucléaire, mais sont cinq à dix fois inférieures à celles de l'électricité produite à partir de charbon et de gaz (sans captage ni stockage du carbone). Elles sont ainsi comparables aux émissions de la petite hydraulique, de l'éolien ou du photovoltaïque.

⁹ Bergur Sigfusson, Andreas Uihlein; 2015 JRC Geothermal Energy Status Report; EUR 27623 EN; doi: 10.2790/757652.



1.5. Mesures d'encouragement actuelles

L'encouragement direct de la géothermie se concentre actuellement sur la production d'électricité. Il comprend une série de mesures économiques pour soutenir les projets, mais aussi des mesures indirectes dans le cadre de l'encouragement de la recherche et de l'innovation. Celles-ci n'ont pas d'effet immédiat, mais servent entre autres à développer des technologies et des processus qui augmentent la probabilité d'exploitabilité, qui réduisent les coûts de revient et qui sont utiles à la sécurité.

1.5.1. Encouragement de la géothermie

Outre la recherche sur la sécurité, le concept des mesures peut être représenté sur la base des valeurs actuelles pertinentes pour l'industrie.

$$VMA = POS \cdot VAN_{\text{exploitable}} + (1-POS) \cdot VAN_{\text{non exploitable}}$$

où la valeur monétaire attendue VMA ou la valeur actuelle attendue d'un projet («estimated monetary value EMV») est la somme du produit de la valeur actuelle ($VAN_{\text{exploitable}}$) d'un projet exploitable multiplié par une certaine probabilité d'exploitabilité («probability of success POS») et le produit de la valeur actuelle d'un projet ($VAN_{\text{non exploitable}}$) non exploitable multiplié par la probabilité de non-exploitabilité.

Afin d'améliorer les conditions-cadres, les pouvoirs publics mettent en œuvre trois leviers qui encouragent directement et indirectement l'attrait économique des projets de géothermie profonde destinés à la production d'électricité.

Exploitabilité: calcul de la valeur actuelle attendue -
pas d'encouragement

Etude de cas: les chances d'exploitabilité POS sont estimées à quelque 35% (après réalisation d'une campagne sismologique 3D). Le projet a une durée de vie de 25 ans. La production débutera la 4^e année après une phase de construction de 3 ans. Les coûts d'exploitation se montent à 3% des investissements.

La $VAN_{\text{exploitable}}$ se monte à près de -66 millions de CHF en cas de vente d'électricité (7 ct./kWh) et de chaleur (25 CHF/GJ) et avec un coût moyen pondéré du capital (CMPC) de 3,83%. Pour simplifier, on suppose un CMPC identique à celui des investissements dans le réseau électrique. En cas de probabilité de non-exploitabilité de 65% après le creusement du premier puits de forage, la $VAN_{\text{non exploitable}}$ s'élève à -38 millions de CHF. La VMA du projet atteint ainsi:

$$VMA \text{ (CHF)} = 0,35 \cdot (-66 \text{ millions}) + 0,65 \cdot (-38 \text{ millions}) = -48 \text{ millions}$$

Aucune décision positive ne sera prise.



1.5.1.1. Garantie pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité

L'instrument d'encouragement existant «Garanties pour la géothermie»¹⁰ n'augmente pas les chances de succès, mais augmente la valeur en capital en cas d'échec pour diminuer de près de la moitié la valeur négative. La garantie contre les risques de la Confédération que le responsable du projet peut demander entre cependant en jeu *ex post* (une fois que les investissements ont été consentis), ce qui suppose par conséquent une grande disponibilité de fonds propres et privilégie les investisseurs disposant de capitaux importants.

Exploitableté: calcul de la valeur actuelle attendue –
avec encouragement (garantie pour la géothermie et RPC)

Etude de cas: les chances d'exploitableté POS sont estimées à quelque 45% après utilisation d'une nouvelle technologie de prospection. Le projet a une durée de vie de 25 ans. La production débutera la 4^e année après une phase de construction de 3 ans. Les coûts d'exploitation se montent à 3 % des investissements. La VAN_{exploitable} se monte à près de -1,4 million de CHF en cas de vente d'électricité (40 ct./kWh pendant 15 ans, puis 7 ct./kWh) et de chaleur (25 CHF/GJ) et avec un CMPC de 3,83%. En cas de probabilité de non-exploitableté de 55% après le creusement du premier puits de forage, le responsable de projet récupère 50% des coûts d'investissements consentis dans le cadre de la garantie pour la géothermie. La VAN_{non exploitable} se monte à environ -10,3 millions de CHF. La VMA du projet atteint ainsi:

$$VMA \text{ (CHF)} = 0,45 * (-1,4 \text{ million}) + 0,55 * (-10,3 \text{ millions}) = -6,3 \text{ millions}$$

En principe, ce projet ne produit pas non plus de valeur ajoutée, même s'il a une probabilité d'exploitableté de 100%. Il est très vraisemblable qu'aucune décision d'investissement ne sera prise. L'acquisition d'expériences (apprentissage par la pratique) et le développement technologique peuvent néanmoins réduire les coûts.

1.5.1.2. Rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC) pour l'électricité géothermique¹¹

La RPC existe aujourd'hui pour les projets de géothermie destinés à la production d'électricité et garantit pendant 20 ans un prix d'achat compris entre 22,7 et 40 ct./kWh selon la puissance installée de la centrale électrique. Le législateur augmente la valeur actuelle en cas de succès en prévoyant une rétribution du courant injecté par le supplément perçu sur les coûts de transport et en augmentant ainsi les recettes engrangées par la vente d'électricité.

1.5.1.3. Encouragement de la recherche et de l'innovation (y c. encouragement des projets pilotes et de démonstration par l'OFEN et encouragement de l'innovation par la CTI)

La recherche et l'innovation développent des technologies qui augmentent la probabilité d'exploitableté, il s'agit ici en principe d'instruments, de processus et de méthodes géologiques. Ces technologies augmentent en outre la valeur actuelle d'un projet en permettant par exemple la mise en valeur plus

¹⁰ Cf. art. 17a OEne (RS 730.01)

¹¹ Cf. annexe 1.4 OEne (RS 730.01)



efficiente et efficace d'un réservoir géothermique. Le législateur peut par ailleurs promouvoir partiellement et ponctuellement certains projets via l'encouragement de projets pilotes et de démonstration qui est géré par l'OFEN.

1.5.1.4. Aucun programme d'encouragement pour l'utilisation directe de la chaleur de la géothermie

Les projets de géothermie destinés à produire de la chaleur ont pour objectif d'utiliser directement l'eau naturellement chaude et, le cas échéant en vue d'une optimisation de l'utilisation énergétique, une cascade de niveaux de température de plus en plus bas à l'aide de pompes à chaleur. Aucune mesure d'encouragement, excepté l'encouragement de la recherche et de l'innovation, n'existe pour des projets de ce genre jusqu'à, le cas échéant, l'entrée en vigueur du premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050.

Cet état de fait illustre les défis auxquels est confrontée l'économie énergétique locale pour se lancer dans la géothermie. Seules une approche stratégique et la capacité de réduire de manière générale les risques techniques, économiques, commerciaux, organisationnels et socio-politiques incitent des acteurs à s'engager à long terme pour faire des affaires dans la géothermie.

1.6. La motion 11.3562

La motion 11.3562 intitulée «Géothermie profonde. Offensive» a été déposée par Felix Gutzwiller (PLR, ZH) le 15 juin 2011 au Conseil des Etats.

Texte déposé

Le Conseil fédéral est chargé de créer les conditions permettant d'investir dans la géothermie profonde pour produire de l'électricité. Les mesures suivantes doivent être prises en considération:

- création d'un groupe de travail sur la géothermie et lancement d'une offensive de communication destinée à faire augmenter le degré d'acceptation de la géothermie profonde par la population et les milieux politiques;
- création de financements de départ remboursables en faveur des projets pilotes (par ex. incitations fiscales, cautionnements, prêts sans intérêts);
- extension de la garantie contre les risques d'exploitabilité;
- fixation de règles juridiques claires pour l'exploration et pour la sécurisation des sites;
- établissement de procédures d'autorisation à la fois uniformisées et accélérées;
- soutien politique de la part de la Confédération, des cantons et des communes lors de la recherche et du choix des sites;
- participation active de la Suisse aux projets de recherche et aux projets pilotes à l'échelle internationale.

Le Conseil fédéral a proposé de rejeter la motion le 7 septembre 2011, au motif qu'il examinera les mesures préconisées par l'auteur de la motion dans le cadre du développement de la Stratégie énergétique 2050.



Le Conseil national a adopté la motion le 7 mars 2012 avec la modification suivante (soulignée ici):

Le Conseil fédéral est chargé de créer les conditions permettant d'investir dans la géothermie profonde pour produire de l'électricité et de la chaleur. Les mesures suivantes doivent être prises en considération (...):

Le Conseil des Etats a approuvé cette modification le 30 mai 2012 et transmis cette motion au Conseil fédéral.

1.7. La motion 11.3563

La motion 11.3563 intitulée «Géothermie profonde. Reconnaissance géologique dans toute la Suisse¹²» a été déposée par Felix Gutzwiller (PLR, ZH) le 15 juin 2011 au Conseil des Etats.

Texte déposé

Le Conseil fédéral est chargé de mettre sur pied et de financer un programme de reconnaissance du sous-sol suisse, l'objectif étant de déterminer si ce dernier se prête au recours à la géothermie profonde pour produire de l'électricité et, dans l'affirmative, comment procéder.

Le Conseil fédéral a proposé de rejeter la motion le 7 septembre 2011, au motif qu'aujourd'hui déjà, dans le cadre des outils existants, il peut soutenir des initiatives et des projets adéquats pour une prospection du sous-sol à l'échelon national.

Le Conseil des Etats a adopté la motion le 29 septembre 2011.

Le Conseil national a adopté la motion le 7 mars 2012 avec la modification suivante (soulignée ici): Le Conseil fédéral est chargé de mettre sur pied et de financer un programme de reconnaissance du sous-sol suisse, l'objectif étant de déterminer si ce dernier se prête au recours à la géothermie profonde pour produire de l'électricité et de la chaleur et, dans l'affirmative, comment procéder.

Le Conseil des Etats a approuvé cette modification le 30 mai 2012.

¹² Cf. glossaire.



1.8. La motion 11.4027

La motion 11.4027 intitulée «Plan d'action en faveur de la géothermie» a été déposée par Kathy Riklin (PDC, ZH) le 30 septembre 2011 au Conseil national.

Texte déposé

Le Conseil fédéral est chargé de soumettre un plan d'action indiquant des mesures concrètes susceptibles de promouvoir la géothermie en Suisse, en collaboration avec les producteurs d'électricité et d'autres acteurs.

Ce plan d'action portera sur les domaines suivants:

- exploration et recherche de sites à l'aide de forages et de mesures sismiques;
- élaboration d'un plan directeur national en vue de recenser les sites appropriés pour la géothermie profonde;
- création d'un système de couverture des risques efficace pour les forages profonds onéreux;
- mise au point de lignes directrices générales au plan fédéral pour les projets énergétiques relevant de la géothermie profonde, y compris la surveillance du risque de sismicité induite;
- planification et construction de centrales pilotes et de centrales de démonstration avec le soutien financier de la Confédération et des cantons;
- création d'un programme national de recherche et mise en place d'une coopération internationale en matière de recherche.

Le Conseil fédéral a proposé de rejeter la motion le 23 novembre 2011, au motif que les mesures déjà introduites ou encore à l'étude préparent déjà les fondements d'un programme ciblé d'encouragement au développement de la géothermie profonde.

Le Conseil des Etats a adopté la motion le 20 mars 2014 avec la modification suivante en prenant en considération la proposition de modification du Conseil fédéral:

Le Conseil fédéral est chargé de démontrer comment la promotion de la géothermie en Suisse peut être améliorée par des démarches concrètes, en collaboration avec les producteurs d'électricité et d'autres acteurs. Les domaines suivants doivent être pris en compte:

- exploration¹³ et recherche de sites à l'aide de forages et de mesures sismiques;
- mise au point de lignes directrices générales au plan fédéral pour les projets énergétiques relevant de la géothermie profonde, y compris la surveillance du risque de sismicité induite.

Le Conseil national a approuvé cette modification le 17 juin 2014.

¹³ Cf. glossaire.



2. Partie principale

2.1. Contexte

2.1.1. Facteurs généraux de risques techniques, économiques, commerciaux, organisationnels et socio-politiques

La mise en valeur¹⁴ de ressources souterraines comprend une interaction complexe de planification, de construction, d'exploitation et de démantèlement des installations qui sont en grande partie souterraines et qui sont exposées à une multitude de risques. Les risques sont de nature technique, économique, commerciale, organisationnelle et socio-politique.

(i) Les facteurs techniques, d'une part, influencent la mise en valeur de réservoirs géothermiques profonds. Ce sont les risques géologiques et notamment l'exploitabilité qui présentent le plus d'incertitude. Les risques techniques, qui sont déterminés par une planification et une gestion de projet adéquates et par un concept durable de gestion du réservoir, influencent la mise en valeur et l'utilisation du réservoir. L'exploitation, l'entretien et la maintenance des installations sont bien entendu essentiels pour une réduction des risques techniques. La sécurité générale en matière de protection du travail, de la santé et de l'environnement est également cruciale pour la réduction d'éventuels risques techniques.

(ii) Les facteurs économiques qui influencent les projets de géothermie englobent les estimations des coûts, le financement du projet, les risques de change, le marché et le cadre réglementaire qui déterminent la formation des prix et les prix, ainsi que les impôts et les redevances.

(iii) Les facteurs commerciaux qui comprennent les contrats, les réglementations, les prix de vente, la concurrence, les exigences légales et les assurances.

(iv) Les risques organisationnels résident principalement dans le projet et comprennent par exemple les chaînes de livraison, la formation et les compétences techniques ainsi que les droits des biens immatériels.

(v) Les projets s'inscrivent enfin toujours dans un contexte social et politique et un cadre réglementaire qui doivent être pris en considération.

Pendant la planification, la construction, l'exploitation et le démantèlement, les entrepreneurs essaient de réduire, d'éviter ou de transférer à un tiers la multitude de risques différents. Lors du transfert de risque, il s'agit de transférer le risque à l'organisation qui est la plus apte à le supporter, par exemple les assurances.

2.1.2. Le rôle de l'Etat

L'utilisation de la géothermie profonde pour produire de l'électricité et de la chaleur est une entreprise entrepreneuriale risquée. Les coûts d'investissement élevés, le long horizon temporel et les incertitudes, notamment concernant l'exploitabilité et les prix de vente, sont des facteurs qui influencent la décision d'investissement. Tant que les gains escomptés seront inférieurs, ajustés au risque, par rapport à d'autres possibilités d'investissement, on n'investira pas ou guère dans les projets de géothermie. Ce

¹⁴ Cf. glossaire.



manque d'investissement ne représente toutefois pas à lui seul une défaillance du marché susceptible de justifier une intervention de l'Etat.

La prospection et l'exploration concernant des réservoirs géothermiques comportent des externalités locales ou régionales positives. Quand un réservoir est trouvé, plusieurs projets peuvent être réalisés. Une procédure cantonale de concession insatisfaisante peut ainsi attirer des attentistes (qui attendent pendant que d'autres prennent en charge les coûts de prospection et d'exploration), ce qui fait qu'il est moins investi dans la reconnaissance du sous-sol que ce qui serait optimal du point de vue économique.

L'électricité tout comme la chaleur sont en outre des produits finaux homogènes. Il est toutefois possible de différencier les produits par des certificats. Certaines externalités (p. ex. risques pour la sécurité, gaz à effets de serre) ne sont aujourd'hui pas encore intégralement internalisées par le marché de l'électricité et de la chaleur, ce qui fausse les signaux de prix émis sur le marché de l'énergie en défaveur des énergies renouvelables.

Dans la perspective du développement et de l'utilisation de la géothermie profonde, et notamment des obstacles (chapitre 1.3) et des risques, il y a un conflit naturel dans la répartition des risques. L'industrie souhaite un transfert le plus grand possible des risques à la collectivité alors que l'Etat ne doit réduire, idéalement en se fondant sur des bases légales, que les distorsions de marché et ne peut reprendre les risques que dans de rares cas.

Le rôle de l'Etat est la création de conditions-cadres optimales afin que l'économie privée puisse utiliser la géothermie profonde en respectant les conditions du développement durable. De plus, la Confédération s'est fixé des valeurs indicatives ambitieuses pour le développement de l'électricité issue d'énergies renouvelables et des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et a par conséquent un grand intérêt à renforcer l'utilisation des énergies renouvelables, notamment de la géothermie.

Dans ce contexte, le Conseil fédéral a examiné avec la Stratégie énergétique 2050 une série de mesures qui doivent contribuer à augmenter l'utilisation de la géothermie. Il en a intégré certaines, l'élargissement du périmètre des coûts imputables et une hausse du montant maximum de la garantie à 60% des coûts imputables dans le cadre de la garantie pour la géothermie dans son message du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Révision du droit de l'énergie) et à l'initiative populaire fédérale «Pour la sortie programmée de l'énergie nucléaire (Initiative «Sortir du nucléaire»)».¹⁵

De plus, le Parlement a adopté dans les délibérations sur le même objet des mesures supplémentaires pour la prospection et l'exploration concernant des réservoirs géothermiques pour la production d'électricité et pour l'utilisation directe de la chaleur de la géothermie.

Le référendum contre la loi sur l'énergie ayant abouti, le peuple sera appelé à se prononcer à ce sujet le 21 mai 2017. En cas de rejet du premier paquet, les mesures prévues pour la géothermie seront elles aussi abandonnées.¹⁶

Le Conseil fédéral a enfin proposé une série de mesures destinées à renforcer la recherche énergétique, qui ont été adoptées par le Parlement le 13 mars 2013, dans son message du 17 octobre 2012 relatif au plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée» – Mesures pour les années 2013

¹⁵ 13.074 FF 2013 6771

¹⁶ Cette remarque vaut pour toutes les mesures prévues en lien avec le premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 et qui sont mentionnées dans le présent rapport.



à 2016¹⁷. Le pôle de compétence en recherche énergétique - Supply of Electricity, qui est consacré non seulement à la recherche et au développement dans le domaine de la force hydraulique, mais aussi à la géothermie profonde, a par exemple été créé.

2.2. Bases légales

Dans le cadre du premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050, la loi sur l'énergie a fait l'objet d'une refonte intégrale le 30 septembre 2016. L'ordonnance sur l'énergie (OEne) entièrement révisée correspondante et l'ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEneR) contiendront des dispositions d'exécution qui permettent la mise en œuvre des mandats parlementaires. Il a également été décidé de modifier la loi sur le CO₂. L'ordonnance sur la réduction des émissions de CO₂, avec la modification du 1^{er} janvier 2018, contient des dispositions d'exécution qui permettent également la mise en œuvre des mandats parlementaires.

Par ailleurs, le rapport part de l'hypothèse que les dispositions d'exécution seront mises en œuvre telles qu'elles ont été mises en consultation à partir du 1^{er} février 2017. La loi et les ordonnances correspondantes n'entreront en vigueur que si le peuple accepte le premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 lors de la votation du 21 mai 2017.

2.3. Catégorisation des motions

Etant donné le contexte et le rôle de l'Etat (chapitre 2.1.2), les mandats, mesures et actions figurant dans les motions peuvent être répartis en cinq champs d'action conformément aux facteurs de risques décrits au chapitre 2.1.1:

¹⁷ 12.079 FF 2012 8331



Motion 11.4027 (CN Riklin)	Motion 11.3562 (CE Gutzwiller)	Motion 11.3563 (CE Gutzwiller)
I. Réduction des risques techniques		
1. Exploration et recherche de sites à l'aide de forages et de mesures sismiques	2. Extension de la garantie contre les risques d'exploitabilité	3. Le Conseil fédéral doit mettre sur pied et financer un programme de reconnaissance du sous-sol suisse, l'objectif étant de déterminer si ce dernier se prête au recours à la géothermie profonde pour produire de l'électricité et de la chaleur.
	4. Participation active aux projets de recherche et aux projets pilotes à l'échelle internationale	
II. Réduction des risques économiques		
	5. Création de financements de départ remboursables en faveur des projets pilotes (par ex. incitations fiscales, cautionnements, prêts sans intérêts)	
III. Réduction des risques commerciaux		
Aucun mandat		
IV. Réduction des risques opérationnels		
Aucun mandat		
Réduction des risques politiques / réglementaires / socio-politiques		
6. Mise au point de lignes directrices générales au plan fédéral pour les projets énergétiques relevant de la géothermie profonde, y compris la surveillance du risque de sismicité induite	7. Etablissement de procédures d'autorisation à la fois uniformisées et accélérées	
	8. Fixation de règles juridiques claires pour l'exploration et pour la sécurisation des sites	
	9. Soutien politique de la part de la Confédération, des cantons et des communes lors de la recherche et du choix des sites	
	10. Création d'un groupe de travail sur la géothermie et lancement d'une offensive de communication destinée à faire augmenter le degré d'acceptation de la géothermie profonde par la population et les milieux politiques	

Tableau 1: Attribution des 10 mandats confiés par les trois motions aux grandes catégories de risques encourus lors de la mise en valeur de ressources géothermiques.



2.4. Champs d'action des motions 11.3562, 11.3563 et 11.4027

Les motions 11.3562, 11.3563 et 11.4027 comprennent trois champs d'action (technique, économique et socio-politique) que l'on trouve communément dans la mise en valeur de ressources géothermiques. Ce sous-chapitre décrit la mise en œuvre des mandats, mesures et actions ordonnés par le Parlement. L'ordre a été modifié par rapport aux textes des motions afin de permettre une coordination optimale du contenu avec les champs d'action auxquels les différents mandats ont été attribués (**Tableau 1**).

2.4.1. Champs d'action technique

Le principal obstacle qui est la très faible probabilité de trouver un réservoir géothermique dans le sous-sol suisse réside dans les connaissances très lacunaires du sous-sol. swisstopo ne recense par exemple que 16 forages d'une profondeur supérieure à 3000 mètres qui ne révèlent que ponctuellement la nature du sous-sol suisse. Des informations précieuses sur la structure du sous-sol peuvent être collectées à l'aide de méthodes géologiques indirectes (p. ex. de méthodes sismiques). Même celles-ci sont très rares en Suisse.

Les motions chargent par conséquent le Conseil fédéral de mettre sur pied et de financer un programme de reconnaissance du sous-sol suisse, l'objectif étant de déterminer si ce dernier se prête au recours à la géothermie profonde pour produire de l'électricité et de la chaleur (motion 11.3563). Un objectif étroitement lié au recours à un instrument spécifique de prospection et d'exploration (la sismique par réflexion et par réfraction suivie de forages profonds) est le mandat donné au Conseil fédéral de procéder à la reconnaissance (exploration et recherche) de sites destinés à l'utilisation de la géothermie profonde pour la production d'électricité et d'eau chaude (motion 11.4027). A cette fin, la motion 11.3562 prévoit l'extension de la «garantie contre les risques d'exploitabilité» ainsi que la participation active aux projets de recherche et aux projets pilotes à l'échelle internationale.

Le Conseil fédéral voit la prospection, l'exploration et la recherche de sites possibles pour l'utilisation de ressources géothermiques profondes comme une tâche de l'industrie avec le soutien subsidiaire des hautes écoles et des instituts de recherche, d'une part, et les unités administratives de la Confédération (notamment le centre de compétences de la Confédération pour la géoinformation swisstopo) et les services cantonaux homologues de la géologie et de l'énergie, d'autre part.

Le Conseil fédéral reconnaît cependant (chap. 2.1.2) que les coûts de prospection, d'exploration et de mise en valeur ainsi que les risques sont pris en charge par le responsable du projet alors que l'utilisation potentielle de ces travaux peut aussi profiter à d'autres acteurs, ce qui permet de justifier le transfert du risque d'exploitabilité aux pouvoirs publics. Dans le cadre du premier paquet de mesures, le Conseil fédéral et le Parlement ont prévu les mesures suivantes afin de mettre sur pied et de financer la reconnaissance du sous-sol suisse.



2.4.1.1. Mesure 1: contributions à la prospection et garanties pour la géothermie – extension d'un instrument d'encouragement existant et introduction d'un nouvel instrument d'encouragement (mandats 1, 2, 3 et 5)

Le Parlement a adopté le 30 septembre 2016 l'article de loi suivant qui doit s'appliquer aux projets de géothermie destinés à la production d'électricité dans le cadre de la refonte totale de la loi sur l'énergie:

Art. 33 Contributions à la prospection et garanties pour la géothermie

¹ Des contributions peuvent être fournies pour couvrir les coûts relatifs à la prospection de ressources géothermiques destinées à la production électrique. Le montant de ces garanties ne peut excéder 60 % des coûts d'investissement imputables.

² Des garanties peuvent être fournies pour couvrir les investissements consentis dans le cadre de la prospection de ressources géothermiques et de la réalisation d'installations géothermiques destinées à la production électrique. Le montant de ces garanties ne peut excéder 60 % des coûts d'investissement imputables.

³ Un projet de prospection de ressources géothermiques ne peut pas donner lieu à la fois à une contribution et à une garantie.

⁴ Le Conseil fédéral règle les modalités, en particulier les coûts d'investissement imputables, ainsi que la procédure.

L'art. 33 LEn introduira l'instrument d'encouragement de la contribution à la prospection et à l'exploration («chercher et trouver» des réservoirs géothermiques) qui complète l'instrument d'encouragement déjà existant de la garantie pour la géothermie. La contribution à la prospection et à l'exploration réduit nettement en amont le risque d'exploitabilité, ce qui doit permettre d'obtenir une plus grande propension à investir. Il est possible de demander soit une contribution à la prospection et à l'exploration pour «chercher et trouver» soit la garantie pour la géothermie. En cas de demande de contribution à la prospection et à l'exploration, la garantie est encore seulement accordée pour la réalisation¹⁸ lorsque le sinistre a une plus faible probabilité de survenir (la réalisation n'a lieu qu'après une prospection et une exploration couronnées de succès). Ces instruments d'encouragement sont financés via le supplément perçu sur les coûts de transport (au maximum 0,1 ct./kWh par an). Ils sont prévus jusqu'au 1^{er} janvier 2031, aucune nouvelle obligation ne doit plus être contractée par la suite.

En ce qui concerne les contributions à la prospection ou à l'exploration¹⁹, on distingue, comme cela est usuel dans l'industrie des ressources, entre la prospection, d'une part, et l'exploration, d'autre part. Dans le cadre de la prospection, une ressource géothermique supposée est caractérisée indirectement sur une grande surface par des méthodes géologiques afin d'augmenter les chances d'une exploitabilité ultérieure. L'exploration est effectuée dans un deuxième temps avec l'objectif de fournir la preuve d'une ressource géothermique et de déterminer son potentiel de rendement par un forage d'exploration.

Suite à la refonte totale de la loi sur l'énergie, le Parlement a en outre décidé le 30 septembre 2016 d'augmenter la garantie pour la géothermie (aussi appelée «garantie contre les risques» en langage courant) de 50 à 60%²⁰. Le Conseil fédéral prévoit par ailleurs que les travaux de prospection puissent aussi être couverts dans un cadre approprié par la garantie pour la géothermie. La garantie pour la géothermie permet une protection qui dépasse la phase de prospection et d'exploration: elle s'applique

¹⁸ Cf. glossaire.

¹⁹ Les dispositions d'exécution doivent être intégrées dans l'ordonnance sur l'énergie (OEn) entièrement révisée prévue (cf. art. 25 à 28 de la section 2: Contributions à la prospection ou à l'exploration géothermique et garanties pour la géothermie ainsi qu'annexe 2 selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017).

²⁰ Les dispositions d'exécution doivent être intégrées dans l'ordonnance sur l'énergie (OEn) entièrement révisée prévue (cf. art. 25 à 28 de la section 2: Contributions à la prospection ou à l'exploration géothermique et garanties pour la géothermie ainsi qu'annexe 1 selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017).



aussi à la phase de réalisation de l'ensemble des installations souterraines qui sont requises pour utiliser la chaleur du sous-sol profond.

2.4.1.2. Mesure 2: encouragement de projets d'utilisation directe de la géothermie pour la production de chaleur visant la réduction à long terme des émissions de CO₂ des bâtiments (mandats 1, 3 et 5)

Les projets de géothermie destinés à produire de la chaleur ont pour objectif d'utiliser directement l'eau naturellement chaude. Il est en outre possible d'utiliser des niveaux de températures plus bas à l'aide de pompes à chaleur en vue d'une optimisation et d'une utilisation de l'énergie résiduelle. Une étude²¹ de l'Office fédéral de l'énergie sur l'analyse économique du projet de géothermie destiné à produire de la chaleur de Riehen/BS a montré que le risque d'exploitabilité - comme pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité - est le principal obstacle technique aux projets de ce genre. Comme on suppose ici aussi que le potentiel est élevé, comme l'ont par exemple montré des études des cantons GR, SG, TG, ZH, SO, AG, NE, LU, FR et GE, le Parlement a introduit l'art. 34 dans la loi sur le CO₂ (RS 640.71), sous réserve qu'il soit accepté en votation populaire:

Art. 34 Réduction des émissions de CO₂ des bâtiments

¹ Un tiers du produit de la taxe sur le CO₂, mais au plus 450 millions de francs par an, est affecté au financement des mesures de réduction à long terme des émissions de CO₂ des bâtiments, y compris les mesures de diminution de la consommation d'électricité durant les mois d'hiver. A cet effet, la Confédération accorde aux cantons des contributions globales destinées aux mesures d'encouragement visées aux art. 47, 48 et 50, de la loi du 30 septembre 2016 sur l'énergie (LEne).

² Afin de réduire à long terme les émissions de CO₂ des bâtiments, la Confédération soutient les projets d'utilisation directe de la géothermie pour la production de chaleur. Elle y consacre une petite partie des moyens prévus à l'al. 1, mais au maximum 30 millions de francs. Le Conseil fédéral fixe les critères et les modalités du soutien ainsi qu'un plafond annuel aux contributions financières.

Le Parlement a ainsi créé, le cas échéant, un instrument supplémentaire d'encouragement pour la géothermie, qui promeut l'utilisation directe²². Dans la plupart des cas, il s'agit ici de projets qui envisagent d'utiliser les ressources géothermiques situées vers 2000 mètres de profondeur. Dans le droit fil des résultats de l'étude du projet de géothermie destiné à produire de la chaleur de Riehen, les projets sont aussi encouragés²³ en deux temps, à l'instar des contributions à la prospection et à l'exploration pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité: les travaux de prospection sont encouragés dans un premier temps puis, si la probabilité d'exploitabilité est élevée, les travaux de mise en valeur du sous-sol sont encouragés dans un second temps. Les travaux de mise en valeur comprennent principalement un forage en profondeur, qui apporte la preuve de l'existence du réservoir et, selon les prescriptions cantonales et la nature du réservoir trouvé, un deuxième forage pour fermer le cycle hydrologique.

²¹ conim AG, 2015, Wärmeverbund Riehen AG «Ökonomische Analyse einer direkten Nutzung der Geothermie für die Wärmebereitstellung» (cf. http://conim.ch/cms/wp-content/uploads/Bericht_Riehen_final_15042015.pdf)

²² Cf. glossaire.

²³ Les dispositions d'exécution doivent être intégrées dans la modification prévue de l'ordonnance sur la réduction des émissions de CO₂ (ordonnance sur le CO₂) pour autant que le premier paquet de mesures soit accepté en votation populaire (cf. art. 113a à d du chapitre 9: Utilisation du produit de la taxe sur le CO₂, section 1a: Soutien de projets d'utilisation directe de la géothermie pour la production de chaleur, ainsi qu'annexe 14 selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017).



2.4.1.3. Mesure 3: coordination des travaux de prospection et d'exploration (mandats 3 et 9)

Les travaux de prospection et d'exploration, de mise en valeur et de réalisation de projets de géothermie destinés à la production de chaleur et d'électricité génèrent de très grandes quantités de données sur le sous-sol suisse. Ces données augmenteront considérablement l'état des connaissances sur le sous-sol suisse grâce aux projets réalisés durant la période de validité de ces mesures d'encouragement.

Il est prévu que le centre de compétences de la Confédération pour la géoinformation swisstopo, et notamment la géologie nationale, soient au cœur du dispositif de mise en œuvre et d'exécution de ces mesures d'encouragement et les cantons où sont réalisées des prospections et des explorations pour des projets de géothermie soient également représentés dans le groupe d'experts²⁴. Une approche

Résumé partiel 1

Avec l'introduction et le développement des instruments (i) contributions à la prospection et à l'exploration et (ii) garantie pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité et (iii) contributions à l'utilisation directe de la géothermie par une partie de la taxe sur le CO₂, le Parlement et le Conseil fédéral ont tenu compte des demandes des auteurs des motions 11.3563 et 11.4027 par un encouragement pragmatique, subsidiaire, axé sur les projets qui est en outre limité dans le temps. La coordination pour une mise en œuvre ordonnée incombe à l'OFEN, à swisstopo et aux cantons.

coordonnée de la prospection et de l'exploration concernant des sites pour l'utilisation de la géothermie profonde est ainsi assurée.

Afin de permettre une coordination efficace, le Conseil fédéral a réglé explicitement le traitement des géodonnées (toutes les données primaires, analyses et interprétations acquises durant le projet)²⁵. Il l'a fait pour satisfaire à la fois aux droits des responsables de projets à la confidentialité dans le cadre d'une utilisation commerciale et aux intérêts publics (externalité locale positive de la découverte d'un réservoir utilisable) à la mise en exploitation de la géothermie.

Les personnes recevant des contributions à la prospection et à l'exploration du sous-sol profond suisse et à la mise en valeur du sous-sol pour des projets de géothermie destinés à la production de chaleur et d'électricité doivent remettre l'intégralité des données à swisstopo, qui a le droit de les utiliser et de les adapter dans le cadre de ses bases légales. Les données collectées (données brutes ou primaires ainsi que les données brutes traitées par ordinateur) sont rendues publiques et mises à la disposition du public après un court délai de protection. swisstopo rend publiques et met à la disposition du public les données primaires même en cas de versement intégral ou partiel de la garantie pour la géothermie. La collecte des données primaires a certes un coût, mais les données n'ont toutefois aucune valeur intrinsèque pour la réalisation d'un projet. Une valeur ajoutée n'est obtenue que lorsque les données

²⁴ La composition du groupe d'experts pour l'évaluation des demandes est redéfinie au cas par cas afin d'éviter les conflits d'intérêts, il est cependant prévu que swisstopo y siège pour les questions géologiques et le canton concerné y soit représenté pour les questions d'autorisations, de concessions, de surveillance et d'exécution (cf. art. 25, annexes 1.2 et 3.2 de l'OEne. Egalement art. 113b et annexe 14.3 de l'ordonnance sur le CO₂ selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017).

²⁵ La mise à disposition durable, l'utilisation et le traitement des géodonnées par swisstopo ainsi que la publication de données primaires doivent être intégrés dans l'ordonnance sur l'énergie totalement révisée prévue (Oene) (cf. annexes 1.4 et 2.5 selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017). Egalement dans la modification prévue de l'ordonnance sur le CO₂ (cf. annexe 14.5 selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017).



primaires sont analysées et interprétées et qu'elles sont ainsi utilisées pour prendre des décisions entrepreneuriales.

Les données de ce genre interprétées par le requérant restent confidentielles et ne peuvent servir qu'à swisstopo et à l'administration fédérale (afin notamment de valoriser les progrès réalisés avec ce programme d'encouragement), mais ne doivent pas être rendues publiques. Une approche coordonnée de la prospection et de l'exploration concernant des sites pour l'utilisation de la géothermie profonde est ainsi assurée. La sécurité des droits de prospection, d'exploration et d'utilisation de ressources et de réserves géothermiques relève de la souveraineté cantonale.

2.4.1.4. Mesure 4: conditions-cadres améliorées pour la participation active aux projets de recherche et aux projets pilotes à l'échelle internationale (mandat 4)

Depuis l'adoption des motions et le positionnement de la géothermie au sein de la Stratégie énergétique 2050, les conditions-cadres pour la participation active aux projets de recherche et aux projets pilotes à l'échelle nationale et internationale se sont améliorées de manière décisive. La Suisse a fortement investi dans le développement des capacités institutionnelles et humaines. Dans le même temps, de nouvelles infrastructures de recherche ont vu le jour; elles constituent une base importante pour une participation réussie aux projets de recherche et aux projets pilotes à l'échelle internationale. Parallèlement, le programme de recherche Géothermie de la recherche sectorielle ainsi que le programme pilote et de démonstration de l'Office fédéral de l'énergie ont intensifié la coopération internationale. La Suisse vise une coopération plus étroite et plus directe avec les partenaires européens, d'une part, et la collaboration avec les partenaires non européens dans le cadre des programmes de coopération technique de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et du partenariat international pour la technologie géothermique (International Partnership for Geothermal Technology, IPGT), d'autre part.

- **Développement des capacités au moyen des pôles de compétence en recherche énergétique SCCER**

Comme décrit dans le chapitre sur le rôle de l'Etat (chapitre 2.1.2), le Parlement a adopté le 13 mars 2013 le message du Conseil fédéral du 17 octobre 2012 relatif au plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée» – Mesures pour les années 2013 à 2016 (12.079 FF 2012 8331) avec une série de mesures destinées à renforcer la recherche énergétique. Un élément-clé du plan d'action était la création de huit pôles de compétence en recherche énergétique (Swiss Competence Centers for Energy Research, SCCER) dans huit domaines. Un SCCER est consacré à la mise à disposition de courant (Supply of Electricity, SoE) issu de la géothermie et de la force hydraulique. Suite à ce développement, près de 55 postes équivalents plein temps ont été créés pour la recherche et l'innovation dans la géothermie. L'EPF Zurich joue le rôle de *leading house*, en étroite collaboration avec l'EPF Lausanne, les universités de Genève, de Berne et de Lausanne ainsi que le Paul Scherrer Institut et la haute école technique de Rapperswil (HSR). 12 millions de CHF ont été alloués au développement des capacités durant la période 2013 à 2016. Après une évaluation positive, la demande de suivi pour la période 2017 à 2020 a été acceptée: ce sont ainsi 18,2 millions de CHF qui sont attribués au SCCER-SoE.

- **Participation aux programmes-cadres de recherche de la Commission européenne et financement (7^e programme-cadre PC et Horizon 2020)**

Avec la motion Riklin (10.3142 n), le Parlement a chargé le Conseil fédéral de prendre les mesures qui s'imposent pour permettre aux instituts de recherche et à l'industrie suisses de participer de plein droit au plan stratégique pour les technologies énergétiques (plan SET) lancé par la Commission européenne. Un élément est la participation aux appels à propositions transnationales dans le cadre du 7^e programme-cadre de recherche (7^e PC 2007-2013) et d'Horizon 2020 (2014-2020). En raison du statut



d'«Etat tiers», la Suisse n'a pas reçu de fonds de la Commission européenne entre 2014 et 2016 suite à l'acceptation de l'initiative populaire «Contre l'immigration de masse» et l'association partielle qui en est résulté à Horizon 2020; ces fonds ont été fournis par le Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) dans le cadre des mesures de transition. Ce statut a en outre compliqué l'exécution de tâches de coordination et les rôles de conduite pour les participants aux projets. Les acteurs suisses y ont participé quand même avec une réussite remarquable. La Suisse a ainsi pu participer à des projets dans le cadre d'Horizon 2020 (p. ex. DESTRESS et ThermoDrill) et du 7^e PC (p. ex. IMAGE et GEISER).

Depuis le 1^{er} janvier 2017, la Suisse est pleinement associée à Horizon 2020, ce qui signifie que les partenaires suisses du projet reçoivent à nouveau directement des fonds de la Commission européenne et qu'ils sont habilités à lancer et à coordonner des projets avec leurs partenaires européens. Cette pleine association est aussi garantie par la participation de l'OFEN au réseau européen de recherche Geothermal ERA-NET (2012-2016) et au projet de suivi GEOTHERMICA ERA-NET (2017-2021).

- **Participation du programme de recherche Géothermie de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) aux réseaux européens Geothermal ERA-NET (2012-2016) et GEOTHERMICA ERA-NET (2017-2021)**

Un instrument central du plan SET sont les «European Research Area Networks ERA-NET», une plateforme de réseaux de coopération, de coordination et d'échanges d'informations des programmes de recherche nationaux thématiques qui reçoit un soutien financier de la Commission européenne.

Le seul programme durable d'encouragement de la recherche de la Confédération consacré à la géothermie profonde est mené dans la recherche sectorielle de l'OFEN. Par conséquent, l'OFEN représente la Suisse dans les réseaux ERA-NET mentionnés plus haut consacrés à la géothermie.

Bénéficiant d'un soutien de 2 millions d'euros de la Commission européenne, un réseau Geothermal ERA-NET composé de l'Islande, de la France, des Pays-Bas, de l'Allemagne, de la Suisse, de l'Italie, du Portugal, de la Slovaquie, de la Slovénie, de la Hongrie et de la Turquie a été mis en place de 2012 à 2016. Ce réseautage a conduit à une augmentation du nombre d'adhésions au nouveau réseau GEOTHERMICA - ERA NET (2017–2021) (le Danemark, la Roumanie et la Belgique en sont devenus membres). Outre d'autres travaux de coordination, 32 millions d'euros sont mis à disposition, dont 9 millions par la Commission européenne, afin que les pays participant puissent lancer à la mi-2017 un appel conjoint à des projets pilotes et de démonstration. La Suisse ne bénéficie pas des fonds de la Commission européenne.

- **Mise en place d'infrastructures nationales et internationales de recherche et participations**

En sus du développement des capacités et de l'accès à des fonds alloués à des projets de recherche et à des projets pilotes internationaux adjugés de façon compétitive, la recherche et les projets pilotes dans la géothermie jouent un rôle important dans l'accès aux infrastructures de recherche. Le SCCER-SoE a ainsi créé une infrastructure de recherche temporaire au laboratoire souterrain du Grimsel. De la recherche en géothermie est aussi de plus en plus souvent menée dans le cadre d'une coopération internationale au laboratoire souterrain du Mont Terri exploité par swisstopo dans le canton du Jura. Ce sont avant tout des expériences à grande échelle qui sont entreprises dans des laboratoires souterrains de ce genre qui ne peuvent pas être menées dans des installations industrielles. Sous la direction de l'EPF Zurich, le laboratoire souterrain du Grimsel a été mis en réseau au niveau européen par le système européen d'observation sismologique (European Plate Observatory System, EPOS), une infrastructure de recherche du Forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche (European



Strategy Forum on Research Infrastructures, ESFRI). Par ailleurs, les infrastructures de recherche servent de plateformes importantes pour l'échange de connaissances entre les chercheurs et l'industrie, d'une part, et entre les chercheurs suisses et étrangers, d'autre part.

- **Participations de la Suisse au «Geothermal Technology Collaboration Program» (TCP) de l'AIE**

La Suisse participe depuis les années 1990 au «Geothermal TCP» de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), une plateforme de recherche et de coopération à laquelle participent les Etats-Unis, le Mexique, l'Islande, la Norvège, le Royaume-Uni, la Commission européenne, la France, l'Espagne, l'Italie, la Suisse, l'Allemagne, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Corée du Sud, l'Australie et le Japon. La Suisse dirige ou codirige les groupes de travail «Direct Use²⁶ of Geothermal Energy» et «Emerging Geothermal Technologies» et met ainsi en réseau des instituts de recherche et l'industrie suisse avec des pays non membres de l'Union européenne (UE). Des chercheurs de l'industrie suisse et des groupes de recherche du domaine de la formation tertiaire siègent dans les groupes de travail en collaboration avec l'OFEN.

- **Participations de la Suisse au partenariat international pour la technologie géothermique (International Partnership for Geothermal Technology, IPGT)**

Cette Charte conclue avec les Etats-Unis, l'Islande, l'Australie et la Nouvelle-Zélande sert de base à la coopération dans le domaine de la géothermie pétrothermale. La Suisse siège avec l'OFEN et un représentant de l'industrie suisse de la géothermie au «Steering Committee» dont elle a remis la présidence à la Nouvelle-Zélande en 2016. Des représentants de l'industrie et de groupes de recherche siègent dans divers groupes de travail sur «les technologies de prospection et d'exploration», «la modélisation de réservoirs», «les technologies de stimulation et l'isolation zonale» et «la sismicité induite». Les deux derniers groupes de travail sont dirigés par des représentants de la Suisse.

Ce cadre institutionnel, rendu possible par le Conseil fédéral et coordonné conjointement par l'OFEN, a contribué à ce que le paysage suisse de la recherche et de l'industrie participe avec succès aux projets d'Horizon 2020, à ce qu'il puisse saisir de nouvelles opportunités de participer à des appels à des projets internationaux de recherche et d'innovation (GEOTHERMICA - ERA NET) et qu'il puisse s'associer dans le cadre des moyens financiers disponibles aussi à des projets IPGT comme l'ont fait l'Islande et la Nouvelle-Zélande. Les statuts du Fonds national suisse (FNS) autorisent en outre que des projets internationaux de recherche soient menés dans le cadre par exemple du programme d'encouragement Sinergia du FNS.

²⁶ Cf. glossaire.



Résumé partiel 2

Depuis l'adoption des motions, le Conseil fédéral a renforcé durablement le paysage suisse de la recherche énergétique dans le domaine de la géothermie profonde et ainsi créé de nouvelles perspectives pour la coopération internationale en matière de recherche. La mise en place du SCCER-SoE a nettement renforcé les capacités humaines et institutionnelles. Dans le domaine des infrastructures de recherche, des infrastructures nationales de recherche ont été développées, et leur positionnement international a été renforcé par la participation au système européen d'observation sismologique (EPOS), une infrastructure de recherche du Forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche. Ces équipements ouvrent de nouvelles possibilités pour la réalisation de projets de recherche, de projets pilotes et de démonstration à l'échelle internationale. La participation aux programmes-cadres européens de recherche sera renforcée autant que possible compte tenu du contexte politique. La participation au «Geothermal Technology Collaboration Program» de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ainsi qu'au partenariat international pour la technologie géothermique (IPGT) donne accès à une participation active à des projets hors de l'Europe dans la mesure où les moyens financiers disponibles de la Suisse le permettent.

2.4.2. Champs d'action économique

Il résulte des obstacles que posent les défis pas encore maîtrisés de la mise en valeur de réservoirs géothermiques (chapitre 1.3.1), d'une part, et les connaissances lacunaires du sous-sol profond de la Suisse (chapitre 1.3.2), d'autre part, des conséquences économiques extraordinaires pour les responsables de projets.

Pour cette raison, le Parlement a chargé le Conseil fédéral de créer des financements de départ remboursables en faveur de projets pilotes (p. ex. incitations fiscales, prêts sans intérêts) visant à amortir les conséquences économiques de ces obstacles.

2.4.2.1. Incitations par l'exonération de taxes d'utilisation et de redevances ainsi que par des incitations fiscales (mandat 5)

Les cantons donnent des incitations par l'intermédiaire de redevances liées à une concession et de redevances similaires; ces incitations sont introduites depuis quelques années au niveau cantonal dans le cadre de lois visant l'utilisation du sous-sol cantonal afin de faciliter l'utilisation de la géothermie profonde. Elles prévoient par exemple l'exonération ou la réduction de taxes d'utilisation et de redevances (p. ex. le canton d'Argovie exonère de toute taxe de concession).

Comme présenté dans les rapports «Finanzielle Belastung der Schweizer Elektrizität durch Abgaben an die Gemeinwesen im Jahr 2009 mit Vergleich zur Belastung im Jahr 2007» (rapport seulement en allemand, traduction littérale: charges financières de l'électricité en Suisse par les contributions aux collectivités publiques en 2009, avec comparaison avec les charges en 2007) et «Evolution des prix de l'électricité en Suisse – Rapport du Conseil fédéral donnant suite au postulat 08.3280 Stähelin du 4 juin 2008», les redevances et les prestations aux communes, aux cantons et à la Confédération se situent dans une fourchette comprise entre 0,56 et 2,43 ct./kWh selon la catégorie de consommateurs. Le faible produit des impôts rend difficile l'octroi de rabais fiscaux. Pour cette raison, le Conseil fédéral ne se prononce pas non plus en faveur d'une variante suisse du «[1603 Program](#)» (lancé avec un immense



succès) du Trésor américain. Avec le «1603 Program», les concepteurs de projets ont le choix entre des crédits d'impôt pour les investissements consentis sur les revenus de la vente d'électricité ou un équivalent-subvention à hauteur de 10 à 30% des investissements en capitaux consentis. Vu l'étroitesse du secteur de la géothermie, le Conseil fédéral estime que d'autres incitations fiscales concernant les impôts directs telles qu'amortissements accélérés, crédits d'impôts séparés pour les investissements et la production d'énergie, mais aussi structuration optimisée des redevances de concession ne sont pas encore mûres pour la discussion et requièrent en outre un examen de fond du point de vue du droit constitutionnel.

2.4.2.2. Conséquences des nouveaux instruments d'encouragement sur la rentabilité des projets de géothermie (mandat 5)

Tant les contributions à la prospection et à l'exploration pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité que l'encouragement de l'utilisation directe de la géothermie via la taxe sur le CO₂ devraient avoir un impact positif sur la rentabilité des projets. La mise en œuvre de l'art. 33 de la LEné (contributions à la prospection et garanties pour la géothermie) et de l'art. 34, al. 2 de la loi sur le CO₂ (encouragement de l'utilisation directe de la géothermie), ainsi que la mise en œuvre de l'art. 19 de la LEné (participation au système de rétribution du courant injecté), sous réserve de la votation populaire, auraient un impact positif sur la rentabilité attendue des projets, en amortissant l'impact financier négatif d'une non-exploitable et en découplant les recettes de la valeur du marché de l'électricité et de la chaleur.

Il est renvoyé à l'exemple au chapitre 1.5.1.2 pour illustrer l'impact sur la rentabilité des projets d'une contribution maximale à la prospection et à

l'exploration et de la garantie étendue pour la géothermie. Dans le nouveau mode de calcul, on arriverait à une contribution à la prospection et à l'exploration de 60% pour le premier forage qui apporte la preuve d'un réservoir géothermique. Le concepteur du projet fait réaliser un deuxième forage qui est nécessaire pour ramener dans le sous-sol l'eau thermique qui en a été extraite (après prélèvement de la chaleur à la surface). Le succès probable à 45% après une prospection fructueuse a une valeur actuelle nette (dans les mêmes conditions-cadres et avec les mêmes hypothèses que dans l'exemple cité plus haut) de 15,6 millions de francs, c'est donc un projet qui dégage un profit marginal en cas de succès.

Projets de géothermie destinés à la production d'électricité:

Calcul de la valeur actuelle attendue –

avec le nouvel instrument d'encouragement et l'extension d'un instrument d'encouragement existant (garantie pour la géothermie et RPC)

Etude de cas: les chances d'exploitabilité POS sont estimées à quelque 45% après utilisation d'une nouvelle technologie de prospection. D'une durée de vie de 25 ans, le projet **bénéficie de la contribution à la prospection et à l'exploration pour la géothermie de 60%**. La production débutera la 4^e année après une phase de construction de 3 ans. Les coûts d'exploitation se montent à 3% des investissements. La VAN_{exploitable} se monte à près de 15,6 millions de CHF en cas de vente d'électricité (à 40 ct./kWh pendant 15 ans, puis à 7 ct./kWh) et de chaleur (25 CHF/GJ) avec CMPC de 3,83%; le taux de rentabilité interne ou le taux d'intérêt interne s'élève à 6,7% et produit ainsi, en cas de succès, une petite valeur ajoutée économique. En cas de probabilité de non-exploitable de 55% après le creusement du premier puits de forage, le responsable de projet récupère **60%** des coûts d'investissements consentis dans le cadre de la garantie pour la géothermie. La VAN_{non exploitable} se montre à près de -26,6 millions de CHF. La valeur monétaire attendue du projet atteint ainsi:

$VMA \text{ (CHF)} = 0,45 \times (15,6 \text{ millions}) + 0,55 \times (-26,6 \text{ millions}) = -7,6 \text{ millions}$

Même si aucune valeur ajoutée n'est produite avec la valeur actuelle du projet pondérée par le risque d'exploitabilité, l'obstacle de l'«exploitabilité» est largement levé.



Il faut s'attendre à ce que les responsables de projets couvrent la phase de réalisation du réservoir géothermique souterrain avec la garantie pour la géothermie. La phase de réalisation comprend le second forage et la preuve de l'achèvement du réservoir par un test de circulation entre les forages. Comme même dans ce cas, la valeur actuelle pondérée par le risque escompté «d'exploitabilité» est négative, on évite ici les incitations inopportunes. On s'attend à ce qu'un second forage ne soit en outre réalisé que si le premier forage a été un succès. Outre l'examen par un groupe d'experts, une restitution²⁷ serait prévue en fin de compte dans les dispositions d'exécution de ces deux instruments d'encouragement dans la mesure où un gain excessif est obtenu. Des arguments similaires peuvent être avancés pour les contributions à l'utilisation directe de la géothermie.

Par conséquent, le Conseil fédéral est d'avis que les nouveaux instruments d'encouragement ne couvrent pas seulement les champs d'action techniques (chapitre 2.4.1), mais qu'ils ont aussi nettement amélioré les conditions-cadres économiques par l'apport de moyens financiers.

Résumé partiel 3

De plus en plus de cantons suisses introduisent des mesures incitatives efficaces via la fiscalité et les redevances dans les lois cantonales visant l'utilisation du sous-sol. La plupart renoncent à des taxes de concession ou les maintiennent à un niveau très bas pour la géothermie. D'autres incitations fiscales ne sont pas recommandées en raison de la faible substance fiscale. L'introduction des nouveaux instruments d'encouragement pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité et de la chaleur auraient un impact positif sur des aspects économiques du développement des projets et reflètent les externalités locales positives qui pourraient être transférées à la collectivité. Le Conseil fédéral prévoit d'introduire les «installations géothermiques pétrothermales» en tant que nouvelle catégorie dans le système de rétribution du courant injecté. Il envisage d'augmenter les taux de rétribution de 7,5 ct./kWh d'électricité produite par rapport à la catégorie déjà existante des installations géothermiques hydrothermales afin de tenir compte des coûts supplémentaires pour la stimulation du réservoir.

Même si ce sont en premier lieu des instruments visant le transfert du risque technique d'exploitabilité, les contributions à la prospection et à l'exploration et la garantie pour la géothermie auraient un fort impact sur la rentabilité des projets de géothermie, puisqu'elles en augmenteraient la valeur actuelle attendue. Le risque de mesures incitatives inopportunes serait réduit, une restitution étant le dernier moyen d'empêcher les gains excessifs.

2.4.2.3. Mesure 5: catégorie propre pour la rétribution du courant injecté de la géothermie pétrothermale, aussi appelée SGS (mandat 5)

Le Conseil fédéral a en outre reconnu que la géothermie pétrothermale, aussi appelée SGS, est techniquement réalisable pour l'utilisation de ressources géothermiques indigènes et qu'elle doit être rendue rentable par l'industrie.

Ce perfectionnement technologique par l'industrie repose sur un potentiel peut-être limité de la géothermie hydrothermale profonde en Suisse puisque, pour celle-ci, l'eau doit, premièrement, être disponible en quantité et à la température souhaitées dans le sous-sol et, deuxièmement, aussi être trouvée. La

²⁷ Cf. art. 28 Restitution de l'ordonnance sur l'énergie totalement révisée prévue selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017 et art. 113d Restitution de l'ordonnance sur la réduction des émissions de CO₂ selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017.



découverte est aussi compliquée par le fait que plus la profondeur augmente, moins on dispose de connaissances sur d'éventuels gisements d'eau. 16 forages fournissent en Suisse des informations ponctuelles sur le sous-sol à une profondeur supérieure à 3'000 mètres.

Le potentiel de la géothermie pétrothermale est beaucoup plus élevé; la perméabilité à l'eau du sous-sol étant augmentée par la stimulation et la fracturation hydrauliques, il est ainsi possible d'exploiter la chaleur du sous-sol même lorsque la quantité d'eau disponible naturellement est faible. L'obtention technique de cette perméabilité du sous-sol est onéreuse, comme elle requiert, en sus de la stimulation et de la fracturation hydraulique, aussi des tracés de forage et l'achèvement complexe des puits (complétion). L'OFEN a calculé que les coûts de revient de l'électricité produite dans des installations géothermiques pétrothermales sont, selon le procédé de stimulation utilisé, entre 5 et 17 ct./kWh supérieurs à ceux de l'électricité produite dans des installations géothermiques hydrothermales. La différence est moins grande pour les projets de production combinée de chaleur et d'électricité et dépend fortement de la répartition relative des quantités valorisées d'électricité et de chaleur. C'est la raison pour laquelle le Conseil fédéral prévoit d'introduire dans les annexes de l'ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEneR) la catégorie «Installations géothermiques pétrothermales» et d'augmenter les taux de rétribution par rapport aux installations géothermiques hydrothermales de 7,5 ct./kWh d'électricité produite pour tenir compte des coûts supplémentaires.

Résumé partiel 4

La compétence de la réglementation relative à l'utilisation du sous-sol revient dans une large mesure aux cantons, qui peuvent à leur tour déléguer l'utilisation du sous-sol aux communes. La Constitution fédérale ne contient aucune règle explicite relative à l'utilisation du sous-sol. Comme détaillé dans le rapport faisant suite au postulat Riklin 11.3229, la Confédération soutient néanmoins les efforts déployés par les cantons. Concrètement, elle élabore des lignes directrices pour la surveillance du risque de sismicité induite avec le Service Sismologique Suisse.

2.4.3. Champs d'action socio-politiques et réglementaires

Le Conseil fédéral a clairement exprimé l'importance de la géothermie dans la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 dans son [message](#) du 4 septembre 2013 relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Révision du droit de l'énergie) et à l'initiative populaire fédérale «Pour la sortie programmée de l'énergie nucléaire (Initiative «Sortir du nucléaire»)».

Afin de parvenir à augmenter, sur la base de faits, le degré d'acceptation de la géothermie profonde par la population et par les milieux politiques, le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS, un centre de compétence des Académies suisses des sciences, a réalisé entre 2012 et 2014 une étude sur la géothermie profonde avec le concours de tous les groupes d'intérêts de la Suisse²⁸. Selon l'étude, la géothermie profonde est pour l'instant en général bien accueillie par la population en Suisse; elle offre des opportunités mais renferme aussi des risques (**mandats 9 et 10** déjà remplis).

²⁸ «Energy from the Earth. Deep Geothermal as a Resource for the Future?» TA-SWISS Study TA/CD 62/2015, Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (éd.), vdf Hochschulverlag AG, 524 pages, ISBN 978-3-7281-3654-1 (livre) / téléchargement en accès libre (TA 62/2015 e), Le courant électrique venu du sous-sol. Résumé de l'étude de TA-SWISS. Centre d'évaluation des choix technologiques (éd.), TA-61A/2014, Berne, 2014 (TA 62A/2014 f)



Avec les mesures déjà mentionnées plus haut, il est indiqué que la Confédération donne un soutien politique aux cantons et aux communes lors de la recherche et du choix des sites des points de vue technique et économique. Il est expliqué ci-après comment la Confédération apporte, si nécessaire, son soutien aux cantons dans des questions réglementaires.

La compétence de la réglementation relative à l'utilisation du sous-sol revient dans une large mesure aux cantons, qui peuvent à leur tour déléguer l'utilisation du sous-sol aux communes. La Constitution fédérale ne contient aucune règle explicite relative à l'utilisation du sous-sol.²⁹ Par conséquent, les concessions et les autorisations pour les projets de géothermie sont réglées dans les lois cantonales. Les législations cantonales en la matière sont très dynamiques, avec des révisions et des nouveaux projets de lois³⁰. L'administration fédérale aide sur demande les cantons en fournissant des bases à ces travaux. Selon l'approche législative, l'octroi de concessions pour la prospection, l'exploration et l'utilisation des réservoirs qui ont été trouvés ainsi que les autorisations requises à cette fin sont traités différemment.

Les cantons assument et règlent aussi différemment les obligations de surveillance. La Confédération n'a jusqu'à présent également aucune compétence juridique en la matière. L'exécution diffère selon le canton. L'utilité d'une institution supracantonale de surveillance dépendra fortement des besoins cantonaux et du taux d'activité. On en voit à ce jour certes le besoin à moyen et à long terme, mais la demande concrète est seulement en train de prendre forme.

Le Conseil fédéral a déjà précisé dans son rapport du 5 décembre 2014 faisant suite au postulat 11.3229 de la Conseillère nationale Kathy Riklin («Utilisation du sous-sol») comment la Confédération envisage d'établir des lignes directrices générales pour les projets de géothermie profonde au moyen d'une «réglementation souple» au niveau cantonal. La Confédération suit l'approche de créer une législation «souple» - toutefois sans compétence juridique - par le conseil et par l'utilisation de soutien de plateformes ad hoc et de réseaux virtuels afin de seconder les cantons qui le demandent lors de la mise en œuvre et de l'exécution de leurs mesures, ordonnances et directives.

En approuvant la loi sur l'énergie entièrement révisée, en particulier les art. 10, 11, 12 et 14, le Parlement a en outre créé le 30 septembre 2016 la base légale selon laquelle le développement des énergies renouvelables et ainsi aussi les projets de géothermie pourraient être encouragés par l'aménagement systématique et ciblé du territoire. Sous réserve de la votation populaire, la loi révisée entrera en vigueur le 1^{er} janvier 2018.

Mesure 6 (mandats 7, 8 et 9): concernant la mise au point de lignes directrices générales pour la surveillance du risque de sismicité induite (motion 11.4027), l'Office fédéral de l'énergie a chargé depuis 2011 le Service Sismologique Suisse d'apporter son soutien aux autorités cantonales pour établir des standards uniques de qualité supracantonaux relatifs au traitement des questions sismologiques, aux procédures d'autorisation et à la réalisation de projets. Le SED leur propose par conséquent un conseil sismologique compétent et une surveillance sismologique pour le suivi des projets.

²⁹ Pour un examen détaillé de ce sujet, cf. [rapport](#) du Conseil fédéral sur l'utilisation du sous-sol faisant suite au postulat 11.3229 de la Conseillère nationale Kathy Riklin datant du 17 mars 2011

³⁰ Cf. chapitre 7 «Legal Opinion» de l'étude de TA-SWISS «Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?» traduit en allemand [«Tiefen Geothermie – Rechtslage und Empfehlungen»](#) par René Wiederkehr et par Andreas Abegg



3. Résumé

La géothermie profonde est écologique, elle n'est cependant pas exempte de dangers et de risques, qui doivent être ramenés à un niveau aussi faible et raisonnablement praticable que possible. Comparée à d'autres formes d'énergie renouvelable, elle nécessite moins de matériaux dont l'extraction pollue la nature, et les émissions de CO₂ sont aussi minimales, même lorsque l'on prend en considération non seulement l'exploitation, mais aussi la construction des installations concernées dans le bilan des impacts sur l'environnement. La géothermie est l'une des rares «nouvelles» sources d'énergies renouvelables qui ne dépend pas des conditions météorologiques, mais qui peut fournir aussi bien de l'énergie de ruban que de l'énergie à la demande. Cette flexibilité est d'autant plus importante qu'il faudra à l'avenir lisser les pointes d'électricité provenant de la production irrégulière des autres sources d'énergies renouvelables.

L'énergie de l'intérieur de la terre pourrait apporter une contribution importante à la sécurité d'approvisionnement de la Suisse et réduire sa dépendance aux fournisseurs étrangers d'énergie. Si l'on parvient à injecter et à vendre dans des réseaux de chauffage à distance la chaleur qui n'est pas utilisée pour produire de l'électricité, les coûts de l'électricité géothermique deviendront tout à fait concurrentiels sur le marché en raison de l'acquisition de connaissances et d'expériences et du développement technologique et seront même inférieurs aux coûts de la plupart des autres formes d'énergie renouvelable³¹.

Le Conseil fédéral voit avec la Stratégie énergétique 2050 un certain potentiel pour l'utilisation à long terme de la géothermie. Théoriquement, le potentiel est très grand: entre quatre et cinq kilomètres sous la surface terrestre, il y a tellement de chaleur de la terre qu'elle suffirait à couvrir plusieurs fois les besoins en électricité et en chaleur de la Suisse. En réalité, on peut supposer qu'il ne sera possible d'en utiliser qu'une petite partie du point de vue économique.

Avec un paquet de mesures qui englobe les mandats parlementaires donnés dans les motions 11.3562, 11.3563 et 11.4027, le Conseil fédéral a créé des conditions-cadres qui rendent ce potentiel exploitable grâce au développement technologique, à la recherche et à l'innovation. Il fait ainsi aussi un geste envers les concepteurs de projets en transférant certains risques et coûts à la collectivité.

Résumé 1: avec l'introduction prévue et le développement des instruments (i) contributions à la prospection et à l'exploration et (ii) garantie pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité et (iii) contributions à l'utilisation directe de la géothermie par une partie de la taxe sur le CO₂, sous réserve du référendum, le Parlement et le Conseil fédéral ont tenu compte des demandes des auteurs des motions 11.3563 et 11.4027 par un encouragement pragmatique, subsidiaire, axé sur les projets qui est en outre limité dans le temps. La coordination pour une mise en œuvre ordonnée incombe à l'OFEN, à swisstopo et aux cantons.

Résumé 2: depuis l'adoption des motions, le Conseil fédéral a renforcé durablement le paysage suisse de la recherche énergétique dans le domaine de la géothermie profonde et ainsi créé de nouvelles perspectives pour la coopération internationale en matière de recherche. La mise en place du SCCER-SoE a nettement renforcé les capacités humaines et institutionnelles. Dans le domaine des infrastructures de recherche, des infrastructures nationales de recherche ont été développées, et leur positionnement international a été renforcé par la participation au système européen d'observation sismologique (EPOS), une infrastructure de recherche du Forum stratégique européen pour les infrastructures

³¹ ³¹ «Energy from the Earth. Deep Geothermal as a Resource for the Future?» TA-SWISS Study TA/CD 62/2015, Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (éd.), vdf Hochschulverlag AG, 524 pages, ISBN 978-3-7281-3654-1 (livre) / téléchargement en accès libre (TA 62/2015 e), Le courant électrique venu du sous-sol. Résumé de l'étude de TA-SWISS. Centre d'évaluation des choix technologiques (éd.), TA-61A/2014, Berne, 2014 (TA 62A/2014 f)



de recherche. Ces équipements ouvrent de nouvelles possibilités pour la réalisation de projets de recherche, de projets pilotes et de démonstration à l'échelle internationale. La participation aux programmes-cadres européens de recherche sera renforcée autant que possible compte tenu du contexte politique. La participation au Geothermal Technology Collaboration Program (Geothermal TCP) de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ainsi qu'au partenariat international pour la technologie géothermique (IPGT) donne accès à une participation active à des projets hors de l'Europe dans la mesure où les moyens financiers disponibles de la Suisse le permettent.

Résumé 3: de plus en plus de cantons suisses introduisent des mesures incitatives efficaces via la fiscalité et les redevances dans les lois cantonales visant l'utilisation du sous-sol. La plupart renoncent à des taxes de concession ou les maintiennent à un niveau très bas pour la géothermie. D'autres incitations fiscales ne sont pas recommandées en raison de la faible substance fiscale. L'introduction des nouveaux instruments d'encouragement pour les projets de géothermie destinés à produire de l'électricité et de la chaleur auraient un impact positif sur des aspects économiques du développement des projets et reflètent les externalités locales positives qui pourraient être transférées à la collectivité. Le Conseil fédéral prévoit d'introduire les «installations géothermiques pétrothermales» en tant que nouvelle catégorie dans le système de rétribution du courant injecté. Il envisage d'augmenter les taux de rétribution de 7,5 ct./kWh par rapport à la catégorie déjà existante des installations géothermiques hydrothermales afin de tenir compte des coûts supplémentaires pour la stimulation du réservoir.

Même si ce sont en premier lieu des instruments visant le transfert du risque technique d'exploitabilité, les contributions à la prospection et à l'exploration et la garantie pour la géothermie auraient un fort impact sur la rentabilité des projets de géothermie, puisqu'elles en augmenteraient la valeur actuelle attendue. Le risque de mesures incitatives inopportunes a été réduit, une restitution étant le dernier moyen d'empêcher les gains excessifs.

Résumé 4: la compétence de la réglementation relative à l'utilisation du sous-sol revient dans une large mesure aux cantons, qui peuvent à leur tour déléguer l'utilisation du sous-sol aux communes. La Constitution fédérale ne contient aucune règle explicite relative à l'utilisation du sous-sol. Comme détaillé dans le rapport faisant suite au postulat Riklin 11.3229, la Confédération soutient néanmoins les efforts déployés par les cantons. Concrètement, elle élabore des lignes directrices pour les forages profonds et les travaux associés avec les autorités d'autorisation, d'exécution et de surveillance des cantons et des lignes directrices pour la surveillance du risque de sismicité induite avec le Service Sismologique Suisse.



Sources

OFEN 2012: Energiestrategie 2050 – Erstes Massnahmenpaket, [Zusammenstellung der Massnahmenbeschriebe \(Arbeitsdokumente\)](#) (disponible seulement en allemand, traduction littérale: Stratégie énergétique 2050 - Premier paquet de mesures, Récapitulation des descriptions des mesures [documents de travail]), pp. 115-140, décembre 2012

Ordonnance sur le CO₂: ordonnance sur la réduction des émissions de CO₂ (ordonnance sur le CO₂) selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017, téléchargeable sur : https://www.admin.ch/ch/f/gg/pc/documents/2833/Strategie-energetique-2050_Projet-O-CO2_fr.pdf.

Energy from the Earth. Deep Geothermal as a Resource for the Future?, A-SWISS Study TA/CD 62/2015, Stefan Hirschberg, Stefan Wiemer, Peter Burgherr (eds.), vdf Hochschulverlag AG, 524 pages, ISBN 978-3-7281-3654-1 (libre) / téléchargement en accès libre (TA 62/2015 e), Le courant électrique venu du sous-sol. Résumé de l'étude de TA-SWISS. Centre d'évaluation des choix technologies (éd.), TA-61A/2014, Berne, 2014 (TA 62A/2014 f)

LEne: loi du 30 septembre 2016 sur l'énergie (LEne. Projet de référendum: FF 2016 7479. La loi fédérale n'a pas encore été acceptée.)

OEné: ordonnance sur l'énergie (OEné) selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017, téléchargeable sur : https://www.admin.ch/ch/f/gg/pc/documents/2833/Strategie-energetique-2050_Projet-OEné_fr.pdf.

OEnéR: ordonnance sur l'encouragement de la production d'électricité issue d'énergies renouvelables (OEnéR) selon le projet mis en consultation le 1^{er} février 2017, téléchargeable sur : https://www.admin.ch/ch/f/gg/pc/documents/2833/Strategie-energetique-2050_Projet-OEnéR_fr.pdf.

Sigfusson, Bergur and Andreas Uihlein; 2015 JRC Geothermal Energy Status Report; EUR 27623 EN; doi: 10.2790/757652