

RÉSUMÉ

Contexte

Afin d'atteindre les objectifs climatiques et d'assurer la sécurité énergétique, l'énergie géothermique peut jouer un rôle important dans le portefeuille de production d'énergie de la Belgique. La chaleur représente une part importante de la demande d'énergie finale, et les systèmes géothermiques profonds fournissent une énergie thermique qui peut être utilisée directement comme source de chaleur pour les réseaux de chauffage urbain et les applications industrielles.

Travailler avec des données sur le sous-sol profond introduit de grandes incertitudes, ce qui entraîne des risques financiers élevés. La prise en compte de ces risques dans la prise de décision au niveau du projet ou de la politique est essentielle, mais n'est pas simple. En particulier, il est difficile de relier les simulations numériques de réservoirs géothermiques aux évaluations économiques et environnementales, tout en tenant compte des incertitudes et des marges de manœuvre.

Objectifs

Le but du projet DESIGNATE est de créer des outils interdisciplinaires pour des prévisions intégrées en cas d'incertitude pour les systèmes géothermiques profonds en Belgique, y compris des applications dans les mines abandonnées. Plus précisément, les objectifs sont les suivants :

- Développer des outils d'évaluation technico-économique (TEA) qui intègrent l'incertitude géologique et qui sont basés sur l'analyse des options réelles (ROA) et le simulateur PSS.
- Développer un cadre pour les évaluations dynamiques du cycle de vie (LCA) en tenant compte du calendrier des émissions et de leurs effets dans le temps.
- Développer des simulations analytiques ou d'autres simulations rapides de réservoirs qui peuvent être directement connectées ou intégrées dans les TEA et les LCA.
- Créer une première base pour l'analyse des effets d'interférence sous la surface des projets de géothermie profonde.
- Démontrer l'application des outils et des flux de travail développés à plusieurs études de cas en Belgique.

Méthodes

Cinq études de cas sont sélectionnées : le projet de doublet Balmatt à Mol développé par Vito, le projet de doublet Turnhout-NW qui est en début de développement par le consortium GEO@Turnhout, le projet hypothétique de doublet Deep Mons, une application hypothétique de puits unique dans le Crétacé en Région flamande, et une application hypothétique de stockage chaleur-froid dans les anciennes mines de charbon de Péronnes-lez-Binche. Les incertitudes géologiques sont d'abord caractérisées et des arbres de décision sont construits pour cartographier les options de flexibilité.

Afin d'intégrer les simulations de réservoirs dans les analyses économiques et environnementales basées sur la méthode Monte Carlo, il est nécessaire de disposer d'un temps de simulation rapide.

Une solution analytique pour un doublet géothermique est développée et calibrée pour le projet Balmatt. Des tables de recherche avec et sans interpolation sont développées pour le puits unique et le projet Deep Mons, respectivement. Une solution opérationnelle pour le cas des mines n'est pas encore finalisée.

Après un examen des évaluations du cycle de vie disponibles pour les projets de géothermie profonde, une méthode d'LCA dynamique est développée, qui prend en compte les changements dans l'inventaire du cycle de vie et l'évolution temporelle des impacts. Parallèlement, la méthode des options réelles est appliquée dans une évaluation technico-économique de la géothermie profonde afin d'intégrer l'incertitude et la flexibilité dans les analyses économiques. Dans une dernière étape, l'impact environnemental est intégré comme critère de décision dans le TEA-ROA.

Le simulateur PSS, un simulateur de prévision du TEA basé sur le ROA pour les projets de stockage de CO₂, est adapté aux applications géothermiques. Il est rendu modulaire pour de multiples applications géothermiques, en se connectant aux divers outils de simulation de réservoir qui sont développés. En particulier, des décisions de projet réalistes et l'évolution de l'incertitude géologique sont intégrées. Les premiers développements sont également réalisés pour modéliser les interférences dans le sous-sol et le transport de chaleur.

Des simulations sont effectuées pour plusieurs scénarios. Ceux-ci incluent des variations dans l'évolution des prix de l'énergie, la flexibilité des décisions, les mesures de soutien et les variations d'exploitation.

Résultats et conclusions

Plusieurs outils interdisciplinaires et flux de travail ont été développés pour aider les décideurs à planifier des projets de géothermie profonde. Leur application est démontrée par les premières analyses de plusieurs études de cas et scénarios en Belgique.

La prise en compte de la flexibilité pour contrer le risque d'investissement avec l'analyse des options réelles (ROA) est essentielle lors de l'analyse de la performance économique des projets avec des investissements initiaux importants et des incertitudes, tels que les projets géothermiques profonds. De même, l'analyse dynamique du cycle de vie et son intégration dans le processus décisionnel de l'analyse des options réelles présentent des avantages majeurs par rapport à l'LCA statique standard de l'industrie pour évaluer avec précision l'impact sur l'environnement et fournir une aide à la décision. L'énergie géothermique profonde peut présenter un avantage environnemental important par rapport à d'autres sources de chauffage (gaz naturel ou pompes à chaleur), la construction des puits et l'exploitation des pompes étant les premières cibles pour une réduction supplémentaire de l'impact. La prise en compte du risque et de la flexibilité est également importante dans la conception des mesures de soutien, afin de cibler la bonne phase du projet à un niveau approprié.

Les conditions géologiques, en particulier les paramètres définissant l'écoulement, déterminent en grande partie la réussite du projet, ce qui souligne le caractère spécifique de l'emplacement de la technologie. Compte tenu de l'état actuel des connaissances sur le sous-sol profond en Belgique, une

exploration générale du sous-sol profond menée par le gouvernement pourrait réduire les risques de l'investissement. Les mesures de soutien doivent être conçues pour atteindre certains objectifs politiques et commerciaux. Parmi les mesures de soutien analysées, les subventions à l'investissement sont considérées comme un bon équilibre entre l'augmentation de la valeur du projet, la réduction des risques et l'amélioration de l'efficacité.

Une conception et une planification optimales de l'ensemble de la géothermie, y compris l'approvisionnement, le transport et l'utilisation de la chaleur, ont une influence majeure sur l'analyse de rentabilité. Il est essentiel d'adapter la production à la demande et d'augmenter la durée d'exploitation en surmontant les variations saisonnières de la demande.

Une analyse intégrée et interdisciplinaire est essentielle pour prendre en compte tous les impacts de nature différente qui définissent les décisions, le développement, l'exploitation et la réussite du projet. Les méthodes développées peuvent être encore élargies pour obtenir une vue d'ensemble complète en introduisant, par exemple, le contexte social.

Mots-clés

Géothermie profonde, géothermie minière, analyse technico-économique, analyse du cycle de vie, simulation analytique de réservoir, incertitude, analyse des options réelles