

Une technologie sous la loupe: le fracking

Potentiels, opportunités et risques

Le fracking est déjà utilisé depuis des dizaines d'années en vue d'une meilleure exploitation du potentiel des gisements conventionnels de pétrole et gaz. Une meilleure technique d'extraction et des prix du gaz en hausse permettent depuis plusieurs années une exploitation rentable de ressources de gaz non conventionnelles, c.-à-d. difficilement exploitables. Le fracking est également utilisé en géothermie profonde. Les deux utilisations

conduisent à des débats polémiques. Le fracking pour le gaz et l'utilisation des ressources géothermiques ne se distinguent pas seulement quant à leur impact sur l'environnement. Lors de l'évaluation des deux ressources d'énergie d'autres aspects doivent être pris en considération, notamment la durabilité, le potentiel et la rentabilité. A côté des chances et risques généraux des questions spécifiques se posent à la Suisse.

La technologie du fracking

Le principe du fracking (aussi fracturation ou stimulation hydraulique) repose sur l'injection de fluides sous haute pression dans le sous-sol afin de fracturer un volume de roches déterminé. Ce procédé permet d'agrandir les pores préexistants, respectivement de former de nouveaux volumes de pores, et de relier ces pores entre eux afin d'augmenter la perméabilité des roches ciblées. Une fois que le processus de stimulation est achevé, la surpression générée en profondeur est réduite en ramenant à la surface le fluide de fracturation. Une partie résiduelle de ce liquide reste cependant en général captive des formations stimulées. Le fracking est aujourd'hui employé aussi bien dans l'exploitation de ressources non conventionnelles de gaz que dans celle des ressources géothermiques profondes. Selon le type d'exploitation le procédé se distingue en différents points. Ces différences ont une influence sur l'environnement, les besoins en eau et les risques de tremblements de terre.

Fracking pour l'exploitation de gaz

La technologie de la fracturation hydraulique est déjà utilisée depuis la fin de la 2^e guerre mondiale dans les gisements conven-

tionnels de pétrole et de gaz. Le procédé permet d'améliorer le potentiel d'exploitation de gisements déjà existants. Conjointement à l'application dans des gisements conventionnels, le procédé fut appliqué relativement tôt lors de l'extraction de tight gas (gaz de réservoirs compacts).

Avec l'amélioration des techniques d'extraction et les prix du gaz en hausse, l'intérêt pour l'extraction des grands gisements de gaz de schiste augmentait. Notamment la déviation horizontale précise des forages a rendu possible une exploitation rentable de ces gisements. L'extraction de gaz de schiste est toutefois plus coûteuse que l'extraction de tight gas, parce que le gaz de schiste est adsorbé dans des roches encore moins perméables.

Dans le fracking destiné à l'exploitation de gisements non conventionnels de gaz, le fluide de fracturation est formé principalement d'eau. Une part d'environ 5 pour cent de sable sert d'agent de soutènement afin que les fissures ouvertes ne se referment pas au moment de la baisse de pression. Les additifs chimiques, dont la proportion est inférieure à un pour cent, ont plusieurs fonc-



Site d'un forage «fracking pour exploitation de gaz» aux Etats-Unis.

tions: ils transportent et répartissent l'agent de soutènement, ils entravent la croissance de bactéries, empêchent la corrosion des installations d'extraction et ils régularisent le pH.

Le boom du gaz de schiste a saisi d'abord l'Amérique du Nord et y a révolutionné l'économie de l'énergie. Ils sont devenus dès 2009 le 1^{er} pays producteur de gaz naturel (devant la Russie et le Canada). Si l'évolution persiste, les Etats-Unis pourraient devenir en peu d'années exportateurs nets de gaz naturel. Toutefois il existe également des voix critiques notamment eu égard des impacts du fracking (pour le gaz) sur l'environnement. Le risque de contamination des eaux souterraines, le besoin en terrains pour les champs de forages, le besoin en eau pour la fracturation hydraulique en particulier dans les régions sèches, l'emploi d'additifs chimiques et le traitement des eaux usées font partie de ces impacts.

En Europe il existe également des gisements de gaz non conventionnels, toutefois nettement moins qu'aux Etats-Unis. En Pologne un pays avec une tradition de charbon et de gaz, la prospection de gisements de gaz de schiste est menée activement. En France, par contre, la mise en valeur de gisements de gaz non conventionnels est entretemps interdite. La fracturation hydraulique est également interdite en Bulgarie, alors qu'en Roumanie, en République Tchèque et aux Pays Bas des moratoires ont été décidés. En Allemagne un projet de loi est encore en discussion.

Fracking en géothermie

La fracturation hydraulique pour l'utilisation de ressources géothermiques est comparable au procédé pour l'exploitation du gaz non conventionnel. En géothermie hydrothermale, c.-à-d. en cas de présence d'une couche aquifère, la mise en valeur exige au moins un forage. Mais la plupart du temps un circuit de circulation est créé au moyen de deux forages. Une stimula-

tion, c.-à-d. l'injection d'eau sous pression facilite ou améliore la productivité d'un réservoir géothermique. Alors qu'une fracturation hydraulique n'est pas systématiquement nécessaire pour les systèmes hydrothermaux, les systèmes pétrothermaux peuvent seulement être exploités à l'aide d'une stimulation, qui augmente leur perméabilité. Lors de la stimulation de systèmes pétrothermaux on évite dans les projets actuels la proximité de zones de failles (connues), parce que la fracturation de telles structures augmente l'aléa sismique.

L'exploitation de ressources géothermiques pétrothermales par fracturation nécessite au minimum deux forages. Un premier forage permet d'injecter sous haute pression le fluide de fracturation dans les roches chaudes sèches et généralement cristallines, ceci afin de créer en profondeur un volume de roches fracturées de l'ordre de quelques kilomètres cubes. Contrairement à l'exploitation de gisements non conventionnels de gaz, la fracturation des roches pour l'utilisation des ressources géothermiques pétrothermales ne fait pas nécessairement recours à des agents chimiques ou de soutènement.

Une fois que le volume de roches fracturée à été créé, un deuxième forage vient s'ajouter au premier afin de créer idéalement un système fermé: L'eau injectée dans le premier forage circule dans le volume de roches fracturée et se réchauffe au contact de la roche, pour être ensuite pompée à la surface par le deuxième forage. Cette eau, ou vapeur d'eau, est alors utilisée pour la production d'électricité et/ou de chaleur.

Potentiel en Suisse

Les connaissances du sous-sol géologique de la Suisse sont limitées. Des efforts pour améliorer les connaissances des struc-

tures profondes sont en cours. La Suisse participe à des projets de recherche européens (GeoORG, GeoMol) et sur le plan politique une exploration du sous-sol d'envergure nationale est également exigée par le moyen d'une motion parlementaire.

Potentiel des gisements non conventionnels de gaz

En raison du manque de données mentionné ci-dessus, le potentiel des ressources non conventionnelles de gaz est difficile à évaluer. L'existence de gisements de gaz de schiste et de tight gas est probable en Suisse, alors que les couches de charbon se situent vraisemblablement à de trop grandes profondeurs pour une exploitation rentable.

Potentiel pour la géothermie profonde

La géothermie profonde présente le plus grand potentiel théorique de toutes les ressources renouvelables en Suisse, parmi lesquelles le potentiel de la géothermie pétrothermale est nettement supérieur à celui de la géothermie hydrothermale. L'évaluation de la quantité d'énergie techniquement et économiquement utilisable, dépend de l'état de la technique et des coûts associés.

Le potentiel thermique théorique est estimé pour la Romandie et le plateau suisse septentrional jusqu'à 5000 m de profondeur à environ 7200 TWh/an. Cela permettrait une production d'électricité de 240 TWh/an (besoin suisse actuel en électricité: ~64 TWh/an). Le potentiel économiquement réalisable jusqu'en 2035 est beaucoup moins élevé avec 1 TWh/an et de même jusqu'en 2050 on s'attend à seulement 4-5 TWh/an d'origine géothermique.

Bases légales

En Suisse l'utilisation du sous-sol est sous la responsabilité des cantons. Les dispositions légales correspondantes se trouvent souvent dans les droits régaliens sur les mines, qui datent souvent du 19^e siècle. Une nouvelle base légale existe dans le Canton d'Argovie. Elle tient compte des nouveaux développements dans le secteur de l'énergie, p.ex. de la régulation de l'octroi d'une autorisation pour un permis de recherche ou pour l'utilisation des richesses du sous-sol profond. Le Canton de Lucerne prévoit d'adopter le règlement du Canton d'Argovie sous une forme similaire. Neuf cantons de Suisse orientale (AI, AR, GL, SG, SH, SZ, TG, ZG, ZH) prévoient d'élaborer ensemble une base légale.

La position des cantons est très divergente en ce qui concerne une éventuelle exploitation de gaz: les Cantons de Fribourg et Vaud ont opté pour un moratoire en ce qui concerne la prospection et l'exploitation de gaz. Par contre le Canton de Berne a donné les autorisations pour la prospection de gaz entre Aarberg et Bienne.

Sur le plan national, des revendications se font entendre pour la création d'un plan d'aménagement du territoire prenant en compte l'utilisation du sous-sol. La Commission fédérale de géologie (CFG) a déjà identifié en 2009 une nécessité urgente d'action dans la coordination des droits d'utilisation du sous-sol. Elle proposait de fixer des objectifs, de prioriser des utilisations sur la base de certains critères, de définir des risques et de réaliser un aménagement du territoire en quatre dimensions pour l'ensemble du territoire, c.-à-d. d'élargir le plan d'aménagement du

territoire actuel aux deux dimensions « profondeur » et « temps ». L'Association suisse des géologues a recommandé en 2013 une harmonisation des différents règlements cantonaux. Il y a également des interventions politiques à ce sujet: Un postulat exigeant une clarification de la réglementation légale du sous-sol sur le plan national et cantonal fut accepté en 2010. En réponse au postulat accepté l'Office fédéral du développement territorial (ARE) élabore un rapport dans le cadre de la 2^e révision partielle de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT).

Conclusions

Bases légales

La Suisse doit créer en priorité – indépendamment d'une attitude favorable ou défavorable par rapport au fracking – des bases légales ou des directives dans le domaine des concessions, ainsi que des procédures d'autorisation et de contrôle. Les exigences de l'aménagement du territoire doivent être définies et fixées. En vue des exigences croissantes vis-à-vis du territoire et des ressources du sous-sol ceci est urgent. Les limites des formations géologiques ne s'arrêtent ni aux frontières des cantons ni du pays. Une démarche coordonnée des cantons ayant pour but de fixer les principes pour les modalités des règlements légaux paraît raisonnable.



Forage de prospection d'hydrocarbures à Noville (VD).

Niveau de connaissances insuffisant

Actuellement les connaissances sont insuffisantes sur la nature du sous-sol en Suisse notamment de la région du plateau suisse en-dessous de 1000 m. Pour cette raison les estimations du potentiel – tant pour l'exploitation de gaz que pour la géothermie sont difficiles. Il est vrai qu'une exploration généralisée du sous-sol a été décidée sur le plan politique, mais son financement n'est pas résolu.

Fracking pour le gaz

D'après les bases de données existantes il existe en Suisse des gisements de gaz, dont l'exploitation pourrait éventuellement être rentable. Ceux-ci pourraient contribuer à la sécurité d'approvisionnement et à la diversification des sources d'énergies autochtones. Cependant des questions sur l'impact environnemental se posent en relation avec l'extraction non conventionnelle de gaz. Il s'agit primo d'une source d'énergie non renouvelable, dont la mise à disposition et la consommation sont associées à des émissions appréciables de CO₂, si celles-ci parviennent dans l'atmosphère. Secundo le grand besoin en terrains pourrait conduire à des conflits d'utilisations. Il faut également considérer d'autres effets négatifs sur l'environnement, une rentabilité économique discutable, ainsi que l'acceptabilité publique.

Fracking pour l'utilisation de ressources géothermiques

La géothermie compte parmi les ressources énergétiques renouvelables pauvres en CO₂. Son utilisation concorde avec les objectifs climatiques et fait partie de la stratégie énergétique 2050. Le potentiel théorique est énorme, le potentiel économiquement réalisable est en revanche encore très incertain. Les impacts sur l'environnement, notamment la probabilité accrue de tremblements de terre doivent être pris en compte. Tandis que le besoin en terrains est faible en comparaison avec celui pour l'utilisation de gaz non conventionnel, d'autres impacts sur l'environnement, comme le volume du trafic ou le risque de pollutions de l'eau doivent être inclus dans les considérations.

Version complète

Ce factsheet est un résumé de l'article seulement disponible en allemand: « Eine Technik im Fokus: Fracking. Potenziale, Chancen und Risiken » (2013).

www.proclim.ch/Media?3061

LITTÉRATURE COMPLÉMENTAIRE

Académies suisses des sciences (2012) Zukunft Stromversorgung Schweiz – Langfassung.

Burri P, Leu W (2012) Unkonventionelles Gas – Brückenenergie oder Umweltrisiko? Gefahren, Chancen und Nutzen. Aqua und Gas Nr. 9.

CHGEOL (2013) Die Nutzung des geologischen Untergrunds in der Schweiz: Empfehlungen des Schweizer Geologenverbands CHGEOL zur Harmonisierung von Verfügungshoheit, Sachherrschaft und Nutzungsvorschriften.

EAWAG (2013) Gaz de schiste – Ce qu'il faut savoir sur la fracturation hydraulique. Fiche Info.

Fachabteilung Wirtschafts- und Wissenschaftspolitik, Europäisches Parlament (2011) Auswirkungen der Gewinnung von Schiefergas und Schieferöl auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit.

International Energy Agency (2012) Golden Rules for a Golden Age of Gas. World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas.

The Royal Society and The Royal Academy of Engineering (2012) Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing.

Broderick J et al (2011) Shale gas: an updated assessment of environmental and climate change impacts. A report commissioned by The Co-operative and undertaken by researchers at the Tyndall Centre, University of Manchester.

IMPRESSUM

REDACTION
Esther Volken

DIRECTION DU PROJET
Dr. Pierre Dèzes, Platform Geosciences
Dr. Christoph Ritz, ProClim-

APRES PROPOSITION DE
Conseiller aux États Pankraz Freitag (t), Président
Groupe parlementaire Changement du climat
APRES RATIFICATION PAR
Commission Energie des Académies suisses

TRADUCTION
Marion Geister-Frantz
GRAPHISME ET MISE EN PAGE
aplus caruso kaeppli gmbh, Esther Volken

CREDITS PHOTOGRAPHIQUES
Wikimedia Commons; EcoFlight; Wikimedia
Commons; Pierre Dèzes

EDITEUR ET CONTACT
Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)
ProClim- / Platform Geosciences
Schwarztörstrasse 9, 3007 Bern
proclim@scnat.ch / www.proclim.ch
info@geosciences.scnat.ch /
www.geosciences.scnat.ch

PROPOSITION DE CITATION
Académies suisses des sciences (2014) Une technologie sous la loupe: le fracking. Potentiels, opportunités et risques. Swiss Academies Factsheets 9 (2).

www.academies-suisses.ch/factsheets

EXPERTS

Dr Keith Evans
Prof. Dr Simon Löw
Dr Benoît Valley
Geologisches Institut, EPF Zurich

Benjamin Jost
Commission géotechnique suisse, EPF Zurich

Dr Ronald Kozeł
Chef de section, Section Hydrogéologie,
Office fédéral de l'environnement

Dr Volker Lützenkirchen
Dr Federico Matousek
Dr Marianne Niggli
Dr. von Moos AG, Zürich und Baden

Dr Gunter Siddiqi
Recherche énergétique, Office fédéral de l'énergie

Prof. Dr Stefan Wiemer
Directeur Service Sismologie Suisse et
Professeur de sismologie, EPF Zurich

Dr Roland Wyss GmbH
Geologische Beratungen, Frauenfeld

Le présent factsheet a été élaboré par ProClim- et la Platform Geosciences de l'Académie suisse des sciences naturelles.

sc | nat 

Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

Ressources énergétiques du sous-sol

Charbon		
Pétrole	Conventionnel et non conventionnel	
Gaz naturel	Conventionnel	
	Non conventionnel	Gaz de schiste Tight gas Gaz de charbon (gaz de couche)
		Gaz d'aquifère Hydrate de gaz
Géothermie	Géothermie à faible profondeur	
	Géothermie profonde	Géothermie hydrothermale
		Géothermie pétrothermale

Vue d'ensemble des ressources énergétiques du sous-sol. Le factsheet se concentre sur le sujet fracking en vue de l'exploitation de gisements de gaz non conventionnels, le gaz de schiste et le tight gas, ainsi que la géothermie profonde (marquées en gras dans le tableau).

Encadré 1: Gisement de gaz

Gisement de gaz conventionnel

Les gisements de gaz conventionnels résultent de la décomposition thermochimique de la matière organique dans des roches sédimentaires, appelées roches mères. Selon la géologie et la structure du site, ces gaz se déplacent vers le haut ou latéralement vers des couches poreuses. Si celles-ci sont scellées à leur limite supérieure par une couche imperméable, le gaz naturel s'accumule dans la couche poreuse.

Gisements de gaz non conventionnels

Les gisements de gaz non conventionnels se caractérisent par le fait qu'ils sont plus difficiles à exploiter que les gisements conventionnels. Dans les gisements non conventionnels les formes d'exploitation suivantes sont possibles: Le tight gas s'accumule dans des roches à faible porosité et perméabilité. Les gisements se trouvent à des profondeurs su-

périeures à 3500 mètres et sont comparables aux gisements conventionnels peu perméables.

Les gisements de gaz de schiste se sont formés lors de la dégradation de la matière organique à des températures et pressions élevées *in situ*, c.-à-d. en place. La roche, où le gaz est adsorbé, est fine, souvent argileuse et montre une très faible perméabilité. Les occurrences de gaz de schiste apparaissent à des profondeurs comprises entre 1000 et 5000 mètres.

Les gaz de charbon se sont accumulés dans les pores des couches de charbon. Ils se sont formés lors de la transformation de matières organiques. La plus grande partie de ce gaz est adsorbée dans les particules de charbon. Les couches de charbon exploitables existent à des profondeurs comprises entre 200 mètres et au maximum 1500-2000 mètres.

Encadré 2: Géothermie

En géothermie on distingue la géothermie profonde de la géothermie à faible profondeur. La géothermie à faible profondeur exploite des réservoirs de chaleur dans les 400 mètres supé-



Centrale électrique géothermique en Islande.

rieurs de la terre pour le chauffage à l'aide de pompes à chaleur. Cette méthode d'exploitation est largement répandue en Suisse et est techniquement mûre. Dans la plupart des cas des pompes à chaleurs sont utilisées. Si on veut baisser le besoin en électricité pour le chauffage, des sondes à chaleur plus profondes devraient être plus souvent utilisées.

En géothermie profonde on distingue la géothermie hydrothermale de la géothermie pétrothermale.

La géothermie hydrothermale utilise les ressources en eau chaude, qui se trouvent dans des couches aquifères. Celles-ci peuvent être utilisées à partir d'une température de 80 à 100 °C pour la production de chaleur et électricité; cela signifie dans le plateau suisse une profondeur à partir d'environ 3 km.

En géothermie pétrothermale on exploite des roches chaudes, en majorité sèches, respectivement peu perméables, situées à une profondeur égale ou supérieure à 5000 mètres. A ces profondeurs-là les températures supérieures à 200 °C permettent un rendement bien meilleur de la production en électricité.

Aspects critiques du fracking

	Utilisation de gisements de gaz non conventionnels	Utilisation de la géothermie profonde
Pollution de l'eau	La menace de pollution de l'eau existe par le fluide de fracturation, le gaz extrait, ainsi que l'eau du gisement avec des substances partiellement toxiques ou naturellement radioactives provenant du gisement. Des pollutions de l'eau sont possibles à la surface, en cas de pertes de forage, lors de fuites de gaz du gisement ou en cas d'élimination inappropriée du fluide de fracturation. La rapide baisse de productivité exige un renouvellement constant des forages dont l'étanchéité doit être garantie à long terme.	Les menaces de pollution des eaux souterraines et superficielles sont comparables à celles de l'utilisation de gaz non conventionnel. La fracturation en géothermie ne requiert cependant pas forcément d'agents de soutènement ou d'additifs chimiques. Les fluides géothermiques pompés vers la surface sont de nouveau réinjectés sous pression dans les couches rocheuses en profondeur. Donc en général le problème de l'élimination du reflux ne se pose pas.
Surfaces de terrains requis	Une surface maximale de 20 000 m ² est requise pour les phases de forage et de fracturation. Pendant la phase de production elle diminue vers 5000 à 10 000 m ² . Les bassins d'eaux usées, où l'eau de reflux est récoltée avant son évacuation, peuvent doubler le besoin en terrains. L'utilisation de sources de gaz non conventionnels nécessite de nombreux forages. Les forages de type « cluster », mettant en valeur une région en étoile à partir d'un forage central permettent de réduire les besoins en terrain.	Un site industriel pour une centrale électrique géothermique nécessite à peu près 5000 m ² pendant les travaux de forage. Après l'achèvement des forages le besoin en terrains est relativement faible. Le besoin spécifique en terrains par unité d'énergie produite est plus faible que pour tous les autres agents d'énergies non renouvelables.
Consommation d'eau	La quantité d'eau requise pour le fracking dépend de la perméabilité de la roche, de l'extension du système de fractures et du nombre de forages. Sur un site de forage 20 ou 30 trous de forage sont nécessaires. 9000 à 29 000 m ³ d'eau sont nécessaires par trou de forage. 20 à 80 pour cent de l'eau employée sont récupérés et partiellement réutilisés comme fluide de fracturation.	La création d'un réservoir pétrothermal nécessite environ 10 000 à 20 000 m ³ d'eau. Pendant la phase de fonctionnement d'une installation géothermique l'eau est en circulation. En géothermie pétrothermale on extrait généralement moins d'eau que l'on injecte, de façon à ce que de l'eau supplémentaire doit être introduite dans le système. Dans le cas idéal les quantités d'eau extraites et injectées sont identiques.
Bilan en gaz de serre	Les gaz non conventionnels constituent une forme d'énergie fossile non renouvelable, causant de fortes émissions de CO ₂ . Les émissions totales de gaz de serre lors de la production, distribution et combustion de gaz non conventionnels varient fortement selon le mode d'exploitation, le taux de production par forage et la quantité de méthane libérée, mais sont comparables à celles de l'exploitation du gaz conventionnel.	La géothermie est une forme d'énergie renouvelable, pauvre en émissions de CO ₂ . Les émissions de CO ₂ sont causées en première ligne par les forages. Le fonctionnement et le démantèlement constituent seulement 10 pour cent des impacts sur l'environnement. Les émissions de CO ₂ sont comparables à celles d'autres nouvelles énergies renouvelables.
Séismes induits	Dans les gisements de gaz de schiste et de tight gas les forages sont effectués dans des couches sédimentaires, qui peuvent généralement adsorber l'énergie ou peuvent se déformer. Si le fluide de fracturation non réutilisable est injecté sous pression dans le sous-sol, ce procédé peut également déclencher des séismes.	Les forages sont réalisés dans des roches cristallines. Le risque de tremblements de terre est plus élevé que dans le cas de l'exploitation de gaz. Les expériences relatives à la stimulation de systèmes pétrothermaux sont très restreintes. En vertu de connaissances nouvelles non confirmées, des volumes de roches plus faibles devraient être stimulés par étapes, afin de diminuer les séismes. Dans les projets futurs la proximité de zones faillées (connues) sera évitée.
Durabilité	Les gisements de gaz sont des ressources fossiles non renouvelables. Dans les gisements non conventionnels le profil de production typique montre une hausse, mais également une chute rapide. Les taux de baisse de productivité sont d'un ordre de grandeur plus élevés que dans les gisements conventionnels. Ils s'élèvent à quelques pour cent par mois, respectivement 50 pour cent et plus pendant la 1ère année. La production d'extraction peut seulement être maintenue constante par la réalisation permanente de nouveaux forages.	La géothermie fait partie des ressources d'énergie renouvelables. Néanmoins le sous-sol se refroidit avec l'exploitation et après une phase d'exploitation, une phase de régénération est nécessaire. Selon des études celle-ci dure approximativement aussi longtemps que la durée de production. La durée de régénération exacte dépend de la nature du sous-sol.
Aspects environnementaux supplémentaires	D'autres aspects négatifs sont la pollution de l'air et les nuisances sonores générées par les forages, ainsi que par la circulation pendant les phases de construction, de fracturation et de démantèlement.	Les émissions de bruit sont les plus élevées pendant la phase de forage. Le transport d'agents énergétiques vers le site et au départ du site n'intervient pas.