

A S S E M B L É E      N A T I O N A L E

X V <sup>e</sup>      L É G I S L A T U R E

# Compte rendu

**Commission d'enquête  
sur l'impact économique, industriel et  
environnemental des énergies renouvelables,  
sur la transparence des financements  
et sur l'acceptabilité sociale  
des politiques de transition énergétique**

– Audition, ouverte à la presse, de Mme Michèle Rousseau, présidente-directrice générale du Bureau de recherches géologiques et minières, de M. Philippe Rocher et de M. Patrick d'Hugues, sur la géothermie et les métaux et terres rares nécessaires à la transition énergétique .....2

Mardi

18 juin 2019

Séance de 17 heures

Compte rendu n° 44

SESSION ORDINAIRE DE 2018-2019

**Présidence  
de Mme Sophie  
Auconie,  
Membre**



*La séance est ouverte à 17 heures.*

**Mme Sophie Auconie, députée.** Notre première audition d'aujourd'hui a un double objet, tout d'abord la géothermie, mais aussi les métaux et terres rares nécessaires à la transition énergétique. Nous accueillons Madame Michèle Rousseau, présidente-directrice générale du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Monsieur Philippe Rocher qui est responsable de la division géothermie et Monsieur Patrick d'Hugues, responsable de l'unité déchets, matières premières, secondaires et recyclage.

Établissement public industriel et commercial, le bureau des recherches géologiques et minières comprend, parmi ses domaines d'activités, les ressources minérales et l'économie circulaire, la géothermie et le stockage d'énergie et de gaz carbonique.

En ce qui concerne la géothermie profonde, basse et moyenne énergie, le projet de PPE retient un potentiel maximum pour la production de chaleur de 5,8 térawattheures, un objectif de 2,9 térawattheures en 2023 et entre 4 et 5 térawattheures en 2028. Selon le projet de PPE, la technologie est mature et le coût complet de production compris dans une fourchette de 74 à 99 euros par térawattheure, d'après un calcul de l'ADEME.

Selon le syndicat des énergies renouvelables, la Région Île-de-France accueille la plus grande densité au monde de réseaux de chaleur géothermiques, avec l'exploitation de l'aquifère du Jurassique moyen (près d'une cinquantaine d'installations). D'autres régions possèdent des aquifères profonds offrant un gisement à fort potentiel, comme l'Alsace, les Hauts-de-France, la région Provence Alpes-Côte d'Azur.

Quelles sont les ressources potentielles en France métropolitaine et dans les départements d'outre-mer ? Quel est le potentiel géothermique des anciens sites miniers, en particulier dans l'opération pilote de l'ancienne mine de charbon de Gardanne ? Quels sont les enseignements tirés de l'expérimentation de la technique dite des systèmes stimulés sous forêt en Alsace ? Les coûts d'investissement et de fonctionnement permettent-ils une rentabilité à long terme ? Et avec quel niveau de subvention par le Fonds chaleur ? Enfin, quel est l'impact environnemental de l'exploitation des gisements ?

Cette audition a également pour thème la disponibilité des ressources minérales pour le développement des énergies renouvelables. Comment définir une matière première critique ? Les critères sont-ils essentiellement géologiques, économiques, géopolitiques et environnementaux ? Au regard de ces critères, quelles sont les vulnérabilités relatives de l'approvisionnement dans les différents métaux et terres rares utilisés pour les technologies de la transition énergétique ? Quelle est la faisabilité du recyclage ? Ce sujet est extrêmement important aux yeux de chacun. Où en est-on de la réalisation du projet Surfer visant à quantifier les besoins en matières premières et en substances, pour le développement de ces énergies renouvelables ? Quelles limites l'utilisation du lithium mettrait-elle à l'électrification du parc automobile ? Enfin, y a-t-il un substitut envisageable au platine pour la pile à combustible ?

Nous allons donc vous donner la parole pour un exposé liminaire ne devant pas dépasser 20 minutes, temps de parole que vous vous répartirez comme vous le souhaitez. Ensuite, les membres de la commission d'enquête vous interrogeront à leur tour avec en premier lieu, les questions de notre rapporteur, Madame Meynier-Millefert.

Tout d'abord, parce que ces commissions d'enquête sont un moment extrêmement formel et solennel, nous avons une prestation de serment. Je vais vous demander, à l'issue de mon propos, d'ouvrir chacun à votre tour le micro, de lever la main droite et de dire « je le jure ». Conformément aux dispositions de l'article 6 de l'ordonnance du 17 novembre 1958, relative au fonctionnement des assemblées parlementaires, je vous demande de prêter le serment de dire la vérité, toute la vérité, rien que la vérité.

*Mme Rousseau, M. Rocher et M. d'Hugues prêtent successivement serment.)*

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Je vous remercie. Madame Michèle Rousseau, vous avez la parole.

**Mme Michèle Rousseau, présidente-directrice générale du Bureau de recherches géologiques et minières.** Je vous remercie, Madame la Présidente. Le BRGM est le service géologique national qui dispose de plus de 1 000 salariés. Il est implanté dans toutes les directions régionales, dans la plupart des anciennes régions françaises et dans l'ensemble des territoires d'outre-mer. Nous sommes bien compétents sur les deux sujets examinés aujourd'hui : les ressources minérales et la transition énergétique. Nous sommes spécialisés en sous-sol, avec tout ce que le sous-sol peut apporter à ces problématiques.

J'en arrive à commencer mon exposé par la géothermie. Nous parlons de géothermie, mais devrions dire « les géothermies ». Vous avez à l'écran une représentation de tout ce que recouvre le terme de géothermie. Il existe une géothermie sur doublet, celle, Madame la Présidente, où l'Île-de-France est extrêmement avancée. Elle est très certainement la première région en Europe pour cette géothermie. Une profondeur d'environ 1 000 mètres, avec une température de l'eau à 80 degrés. On prélève de l'eau à 80 degrés et on rejette ensuite, à un endroit légèrement différent, de l'eau plus fraîche. Cette géothermie sur doublet est une géothermie profonde. Il existe ensuite une géothermie très superficielle, où de 10 à 100 mètres ou 150 mètres de profondeur, soit des échangeurs horizontaux, soit des pompes à chaleur, des sondes à descente verticale sont associés à des pompes à chaleur géothermiques. Le but est de desservir de l'habitat individuel ou du petit collectif. L'Alsace a une particularité en termes de chaleur, avec une géothermie beaucoup plus profonde qui peut atteindre des profondeurs de l'ordre de 5 000 mètres, et qui permet une production d'électricité et de la cogénération. Il existe des projets de recherche pour essayer de récupérer du lithium à partir des fluides géothermiques. L'extrême droite de cette diapositive présente le cas particulier des territoires d'outre-mer, notamment de la Guadeloupe, territoire volcanique, à des profondeurs plus faibles, de l'ordre de 1 000 mètres, des températures permettent de faire de la production d'électricité d'une façon rentable par rapport aux autres productions possibles d'électricité dans ces territoires.

Quels sont les atouts des géothermies ? Quelles que soient les filières, cette énergie est locale, elle est en base, modulable, disponible 24 heures sur 24 et stable. L'impact environnemental est très réduit, avec aucune émission de CO<sub>2</sub>, aucune émission de particules fines et une très faible empreinte foncière. Par ailleurs, lorsqu'elle est prélevée, l'eau est restituée au réservoir d'origine. Les technologies sont matures, sauf pour la stimulation qui est testée en Alsace et il y a des professionnels formés et certifiés. Comme l'énergie est modulable, il n'est pas nécessaire de stocker. La géothermie s'hybride avec d'autres énergies renouvelables et elle est disponible dans 85 % du territoire français, pour la géothermie dite de surface, et sur 25 % du territoire métropolitain, pour la géothermie profonde. Les coûts d'exploitation sont faibles et l'expertise française est bonne. En revanche, les coûts d'investissement sont plus élevés.

Le schéma de droite présente la façon dont on qualifie la géothermie : la géothermie de surface, la géothermie profonde à partir de 200 mètres de profondeur. La géothermie profonde peut être utilisée pour de la chaleur, pour de la cogénération. L'électricité concerne plutôt les DOM. Il existe des projets de recherche pour le lithium. Pour ce qui est de la géothermie chaleur, la chaleur peut être produite, soit par une géothermie profonde, pour des réseaux de chaleur, par exemple, soit par une géothermie de surface.

Après ces atouts qui visent toutes les filières, certains atouts sont plus spécifiques, selon la géothermie chaleur ou la géothermie de surface. La géothermie de chaleur – des pompes à chaleur, des échangeurs horizontaux, des sondes verticales, des réseaux de chaleur – est discrète. Il n'y a quasiment pas d'impact visuel en exploitation. Elle est distribuée à proximité immédiate des usagers. Et comme je l'ai dit tout à l'heure, c'est l'énergie renouvelable la moins coûteuse sur le long terme, avec une stabilité des prix. Pour la géothermie de surface, le rapport entre énergie fournie et énergie consommée va de 4 à plus de 30. À 30, c'est remarquablement rentable ; à 4, c'est plus discutable. Le sol étant très précis en termes de températures, les performances annoncées sont garanties et ne sont pas fluctuantes. Une pompe à chaleur géothermique est beaucoup plus stable qu'une pompe à chaleur aérothermique. Cette énergie permet également une assez bonne richesse en termes d'emplois locaux, pour le forage, l'installation et la maintenance. Enfin, elle peut permettre de limiter les effets de chaleur en milieu urbain.

Les principaux risques identifiés, pour la géothermie de surface, concernent un sous-sol qui pourrait être assez défavorable, par exemple si les roches sont sensibles à la dissolution ou au gonflement. Ce problème s'est présenté à Lochwiller en Alsace où il y a eu un gonflement du sol. La géothermie profonde peut présenter des risques de mise en communication de différents aquifères, ainsi qu'une légère sismicité induite, mais à des magnitudes inférieures à deux sur l'échelle de Richter, soit de tous petits séismes qui sont en principe à peine perceptibles en surface. Il faut savoir que ce risque existe. Ce sera le cas pour un forage en matière d'eau, pour des installations minières ou pour des STEP en hydroélectricité.

En termes réglementaires, je présente la réglementation d'une façon plus simplifiée qu'elle ne l'est en réalité. Sommairement, d'une profondeur inférieure à 10 mètres, rien n'est précisé dans le code minier. De 10 à 200 mètres, nous essayons de promouvoir, avec l'État, des cartes qui exigent, en zone verte, une déclaration. En zone orange, il faut consulter un expert pour savoir si une déclaration ou une autorisation est nécessaire. En zone rouge, il faut une autorisation. À une profondeur supérieure à 200 mètres, il s'agit soit d'une autorisation, soit d'une concession, suivant la température, le débit de la puissance. La réglementation devient alors plus compliquée.

En termes de données économiques, 8 à 11 millions d'euros sont nécessaires pour un doublet pour un réseau de chaleur. La géothermie demande des coûts d'investissement qui sont parfois plus élevés que d'autres énergies renouvelables. En revanche, en coûts complets, sur la durée de vie de l'installation, la rentabilité se vérifie. Tout dépend des études, mais Amorce indiquait, en 2016, un prix de vente au client final entre 65 à 68 euros hors taxes par mégawattheure, une fois les subventions accordées.

Quels sont les outils financiers existant actuellement ? Il existe un fonds de garantie pour la géothermie profonde qui couvre 90 % du risque en Île-de-France. Il est payé pour partie par la SAF qui est une filiale de la Caisse des Dépôts et pour l'autre, par le Conseil régional. Il existe également une garantie AQUAPAC pour la géothermie de surface sur

nappe. Il existe un fonds chaleur qui aide aux décisions et aux investissements. Est en cours de montage, à l'heure actuelle, un fonds de garantie GeoDip pour la géothermie profonde pour de la cogénération en métropole.

Nous avons souhaité vous présenter quelques comparaisons économiques entre la géothermie et les autres énergies renouvelables. En production primaire, la géothermie représente 1,3 % des énergies renouvelables. Pour la production de chaleur, ce taux atteint 2,1 %. 2,5 des dépenses de recherche en matière d'énergies renouvelables ont porté sur la géothermie contre 43 % sur le solaire et 41 % sur la biomasse. En tant que dirigeante d'un établissement de recherche, je porte le message que si nous faisons davantage de recherches, nous arriverions à améliorer les performances. En termes d'emplois, la géothermie représente 5,4 % des emplois liés aux ENR. Ce ratio est en proportion meilleur que pour les autres énergies renouvelables.

Quel est l'état de développement de la géothermie ? Dans le diagramme qui vous est présenté, le chiffre 100, l'horizontal qui est tracé, représente les objectifs 2020 par filière. Vous constatez qu'ils ont été dépassés par le photovoltaïque pour la production d'électricité et par les pompes à chaleur, très majoritairement aérothermiques, pour la chaleur. La géothermie est en dessous des objectifs qui lui avaient été assignés, que ce soit en électricité ou en chaleur.

Enfin, en conclusion de cet exposé introductif, un rappel des objectifs de la PPE 2019-2023. Ils sont, pour l'électricité, de 24 mégawatts électriques et nous sommes actuellement à 1,5. Vous voyez donc l'effort nécessaire. Il faut atteindre, à l'horizon 2023, 60 mégawattheures thermiques de production de chaleur par an. Nous sommes actuellement à trois fois moins. Pour arriver à tenir ses objectifs, nous pensons qu'il faut déjà lancer une campagne d'exploration des ressources profondes qui sont peu connues. En Aquitaine par exemple, dont la configuration géologique est assez proche de celle de l'Île-de-France, nous pourrions reconnaître le bassin aquitain et les nombreux forages pétroliers qui ont été réalisés pourraient aider à faire cette reconnaissance. Il faudrait étendre le fonds de garantie existant en Île-de-France en Aquitaine ou dans les autres bassins sédimentaires où nous voudrions développer la géothermie sur doublet. Pour la géothermie stimulée, il faudrait également mettre en place un fonds de garantie, puisque les profondeurs sont d'environ cinq kilomètres. Tous les professionnels de la géothermie demandent le développement du fonds chaleur. Enfin, il faut des animateurs dédiés pour plaider les géothermies en région.

Je termine avec un tableau qui compare, pour la géothermie profonde, le réalisé 2016, qui est de 145 ktep délivrés, aux objectifs 2023 de la PPE, qui sont entre 400 et 550 ktep. Nous constatons le facteur 3 que j'ai indiqué tout à l'heure Voilà rapidement l'exposé introductif pour la partie géothermie.

Concernant la partie métaux, des points couleur apparaissent sur la table de Mendeleïev à chaque fois qu'un métal est utilisé dans la transition énergétique. Leur nombre important montre que la transition énergétique demande une très grande variété de métaux. La quantité de métaux est beaucoup plus importante qu'avec de l'énergie fossile. Le code couleur vous précise tout ce qui est nécessaire pour la transition énergétique (stockage, connectique, économies d'énergie, photovoltaïque).

Le *slide* suivant présente le constat d'une très forte dépendance européenne et française aux métaux et matériaux. Le diagramme de gauche présente le niveau de dépendance, sachant que nous sommes déjà à 100 % de dépendance pour de nombreux

métaux. Dans le meilleur des cas de figure, le niveau de dépendance est de 55 % pour le cuivre au niveau européen. L'Europe est donc très dépendante. La Chine est le premier producteur minier et métallurgique mondial de plus d'une trentaine de matières premières minérales. Le diagramme du bas montre ce que représente la production minière chinoise par rapport à la production mondiale. Pour les terres rares, le niveau de dépendance est proche de 100 %. Il se réduit pour l'or, aux alentours de 10 %, mais l'or n'est pas fondamental pour la transition énergétique. Le poids de la Chine est considérable. La Chine est bien installée, non seulement sur la production minière, mais également sur toute la chaîne de valeur des métaux. Il est important de retenir que la chaîne de valeur est l'élément essentiel. Il suffit qu'un pays ait un quasi-monopole sur l'un des chaînons de cette chaîne de valeur pour qu'il puisse faire tomber les industries en aval, ce que nous redoutons avec la Chine. Suivant les industries, nous avons noté une compétition inter-filières qui n'est pas facile à anticiper entre les différentes industries. Elle vise le monde de l'énergie, mais également l'aéronautique ou la défense qui n'ont pas forcément besoin des mêmes méthodes.

Dans le *slide* suivant, nous abordons la notion de criticité. Un métal est critique quand son absence peut entraîner des impacts industriels et économiques négatifs importants. Il est stratégique s'il est important pour la politique d'un État, pour sa défense. Les notions de criticité et de stratégie ne sont pas forcément les mêmes. Un métal peut être rare au plan géologique ou géochimique. Soit il a une abondance moyenne, soit on n'arrive pas à l'extraire ou difficilement. Il peut être rare au niveau industriel, parce que le métal est peu usité ou a des propriétés très particulières. À chaque fois, il faut donc que vous vous fassiez préciser la définition. Le diagramme de gauche, présente les métaux qui d'après le COMES, le Comité pour les métaux stratégiques du Ministère de l'Industrie, sont plus ou moins critiques pour l'approvisionnement de la France. Cette figure est toutefois très synthétique. En prenant en compte l'industrie automobile, la représentation graphique serait différente. Pour la défense, elle serait encore différente. Il n'est pas facile de dire où sont vraiment les priorités.

Le *slide* suivant présente la notion de recyclabilité. En rouge, moins de 1 % du métal est recyclé ; en bleu, plus de 50 % sont recyclés. Sur la table de Mendeleïev, les couleurs sont extrêmement variées. Les situations sont très différentes, mais beaucoup de métaux sont classés dans le rouge et l'orange. Nous pouvons faire du recyclage des métaux dans les produits en fin de vie. Nous pouvons essayer également de recycler le long de la chaîne de valeur, mais le potentiel de recyclage est moins bien connu. Je souhaite insister sur le fait qu'il n'est pas possible en général de vivre simplement avec des métaux qui ont été recyclés. Pourquoi ? Parce que pour la transition énergétique, comme je vous l'ai dit tout à l'heure, nous avons besoin de quantités de métaux qui sont beaucoup plus importantes et de métaux beaucoup plus variés. Dans un contexte de consommation croissante de métaux, le recyclage ne suffit pas pour faire face à l'approvisionnement. Il faut forcément avoir recours à la mine. Les mines se trouvent majoritairement à l'étranger. Être absent du secteur minier revient nécessairement à s'exposer à un risque de coupure d'approvisionnement.

Le dernier *slide* porte sur le projet Surfer que vous avez évoqué tout à l'heure. Le but de ce projet, soutenu par l'ADEME et le CNRS, est de savoir si les énergies renouvelables sont plus consommatrices en matières premières minérales et métalliques que les technologies du mix énergétique actuel. Nous le savons déjà, mais il faut le quantifier de façon précise. Il faut également quantifier les impacts environnementaux et sociétaux associés au développement de ces énergies, en remontant toute la chaîne de valeur. Le *slide* vous présente quelques estimations des quantités d'énergie. Par rapport à des énergies fossiles, il faut, pour une même quantité d'énergie produite par de l'éolien et du photovoltaïque, 15 fois plus de béton, 90 fois plus d'aluminium, 50 fois plus de cuivre. La quantité de métaux nécessaire de

métaux est beaucoup plus importante. Nous avons vu, en début d'exposé qu'en termes de variétés de métaux, 70 % des métaux de la table de Mendeleïev sont nécessaires à la transition énergétique. Je termine ainsi mon exposé introductif. Je vous remercie.

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Souhaitez-vous compléter, Monsieur Rocher ?

**M. Philippe Rocher, Bureau de recherches géologiques et minières.** Je peux revenir sur la façon dont on aborde les géothermies. Nous pensons qu'il faut employer les géothermies au pluriel parce que des technologies différentes sont mobilisées, pour des usages différents. La géothermie de surface va jusqu'à 200 mètres de profondeur. La température est inférieure à 45 degrés et elle n'est pas suffisante pour être directement utilisée. Nous avons recours à des pompes à chaleur qui peuvent élever ou abaisser la température d'origine et donc produire. La particularité de la géothermie de surface est de produire de la chaleur ou du froid ou les deux simultanément, par des thermo-frigos pompes. Ces machines thermodynamiques particulières permettent de faire du rafraîchissement, de la climatisation en tant que telle. La géothermie de surface et notamment les sondes verticales ont l'avantage de pouvoir stocker du froid ou du chaud dans le sous-sol et d'être raccordées à d'autres énergies renouvelables qui sont intermittentes, comme le solaire. C'est l'un des gros avantages de la géothermie. Nous pensons que malheureusement, avec le réchauffement climatique, sous toute latitude, les besoins en rafraîchissement, voire en climatisation, vont augmenter.

**Mme Michèle Rousseau.** Si l'on se contente d'un rafraîchissement, qui est gratuit, l'écart avec la température ambiante est de cinq degrés.

**M. Philippe Rocher.** Tout à fait. Dans le sous-sol, l'influence du climat atteint dix mètres de profondeur. Au-delà de dix mètres, les conditions sont donc très stables en toute saison et peuvent être valorisées à la fois pour le chaud et le froid. On peut faire une recharge par forage. Le chaud prélevé et stocké peut être réutilisé l'hiver suivant. La géothermie permet donc un stockage inter-saisonnier très intéressant. Avec une simple circulation d'eau fraîche, jusqu'à 200 mètres de profondeur, on peut rafraîchir, avec des coefficients de performance. Le rapport est très important entre l'énergie restituée et l'énergie consommée. Il est de plusieurs dizaines. Il peut même aller au-delà de 50. Dans ce cas, la pompe à chaleur est coupée et une simple circulation d'eau fraîche, par exemple dans les planchers d'une habitation, permet un rafraîchissement et de faire l'économie de la climatisation. C'est l'une des spécificités de cette énergie.

L'aérothermie est tout à fait différente. Les pompes à chaleur géothermiques ne représentent que 3 % du marché, pour différentes raisons. L'aide aux particuliers est notablement insuffisante. Par contre, elle se maintient et se développe dans le secteur tertiaire, pour les équipements collectifs, voire même dans l'industrie et l'agriculture.

Le diagramme vous présente les différentes formes de géothermie profonde. Vous citez, Madame la Présidente, le réseau de l'Île-de-France. Ce niveau du Jurassique est exceptionnel et nous avons 40 ans de recul. Il était considéré comme la plus grande concentration de réseaux de géothermie au monde, mais comme nous ne savons pas vraiment ce qui se fait en Chine, nous parlons plutôt aujourd'hui du plus grand réseau d'Europe. Il existe une cinquantaine d'opérations. Plus de 100 forages sont productifs, sont réhabilités ou pas. De très nombreux Franciliens sont chauffés par géothermie, à des prix très intéressants, depuis longtemps et ils ne le savent pas, parce que cette énergie renouvelable est très discrète. Tout se passe dans des sous-sols, voire parfois, pour la géothermie de surface, sous des parkings qui peuvent être réhabilités. L'Île-de-France connaît une grande densité de ces

exploitations. Le principe du doublet géothermique est le suivant. On pompe de l'eau chaude. Avec des échangeurs thermiques, on ne prélève que les calories. Ces eaux, qui ne sont pas des eaux de consommation, sont très salines, très agressives, très corrosives. On ne prélève que les calories et on réinjecte dans le même aquifère l'eau débarrassée de ses calories et donc refroidie. L'eau est la même et les circuits sont complètement indépendants. Cette technique est bien maîtrisée. L'Île-de-France présente cet avantage d'une conjugaison entre des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire importants et une ressource géologique existante, ce qui a fait de la France l'un des pionniers en la matière. En Île-de-France, nous sommes entre 1 600 et 2 000 mètres de profondeur, dans une zone qui est géologiquement stable. Le gradient géothermique est donc normal. Il s'élève de 3°C par 100 mètres. À 2 000 mètres, des températures de 55 à 85 degrés permettent l'échange direct.

En Alsace, le contexte est différent. Les roches sont très fracturées. Les températures obtenues peuvent être largement supérieures, jusqu'à 170 ou 200 degrés, à partir de 2 500 mètres. Les pilotes scientifiques, qui avaient été faits à Soultz-Sous-Forêts, en Alsace du Nord, étaient descendus très profondément, jusqu'à cinq kilomètres. Nous avons constaté que nous pouvions avoir les mêmes rendements pour une profondeur deux fois moindre. Vu le coût d'un forage, la rentabilité économique pouvait être atteinte. En Alsace, le gradient géothermique est deux à trois fois supérieur à ce qu'il est en Île-de-France. Pour faire simple, 100 mètres en profondeur font gagner 6 à 9 degrés. Les températures peuvent atteindre 200 degrés. Un projet industriel a été inauguré, il y a trois ans, à Rittershoffen. Il a bénéficié des acquis scientifiques de Soultz et a montré que nous pouvions mener un projet industriel. C'est une ressource à 170 degrés, qui alimente une amidonnerie, au bord du Rhin, de la société Roquette Frères. Une société a été créée et exploite ce gisement, avec une puissance de 24 mégawatts et une température de 170 degrés. Elle traduit aussi une prouesse technologique. Une canalisation entre les forages et l'usine fait 15 kilomètres, elle a été complètement isolée, ce qui était aussi un défi. Trois degrés seulement sont perdus sur le parcours. En Alsace, d'autres projets sont en cours actuellement dans l'agglomération de Strasbourg. L'Alsace est aussi une région pionnière pour la géothermie. Cette technologie permet la production de chaleur domestique et industrielle, mais aussi de la cogénération. Avec une eau et de la vapeur à 170 degrés, nous pouvons faire tourner des turbines, mais l'industriel a fait le choix d'un process industriel.

Enfin, en Guadeloupe, différentes investigations sont également menées. Une centrale, à Bouillante, en Guadeloupe, produit de l'électricité, entre 15 et 16 mégawatts. Nous pensons que le gisement, notamment guadeloupéen mais également martiniquais, est important. Le BRGM est impliqué actuellement dans des phases d'exploration pour améliorer l'exploration et pour développer la géothermie dans ces îles, où elle est déjà significative. Environ 6 % de la consommation d'électricité de la Guadeloupe est d'origine géothermique. Le potentiel est au moins deux ou trois fois supérieur. À partir de 20 %, la part de la géothermie serait extrêmement significative, dans des zones non interconnectées où le coût de l'énergie représente un vrai enjeu. Je voulais simplement préciser ce panorama français.

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Vous dites que la géothermie est une énergie stable, contrairement à d'autres énergies qui sont intermittentes. J'ai une question physique, qui va certainement vous paraître issue d'une inculture totale, mais je l'assume. Quand l'eau arrive à l'endroit où elle est utilisée en surface, elle est très chaude. Elle est utilisée, elle est ensuite renvoyée dans la nappe d'origine et elle est alors réchauffée naturellement. Elle ne participe pas à refroidir.



**M. Philippe Rocher.** C'est une bonne question. Ce sont deux circuits indépendants. L'eau qui est pompée donne ses calories à une eau qui circule dans le résidentiel et celle qui repart est simplement déchargée de ses calories. Vous avez raison, nous pourrions penser refroidir quelque part. Comme il y a une grande concentration de ces opérations en Île-de-France, nous suivons l'évolution des bulles froides, l'impact. Une nappe d'eau souterraine s'écoule. Nous faisons en sorte d'aller dans le sens de l'écoulement, que le refroidi soit en aval et non pas en amont, pour ne pas perturber, mais nous suivons cette évolution très précisément. Nous avons quarante ans de recul, nous faisons des mesures. Nous avons constaté un « rafraîchissement » de la ressource de 0,5°C. Les températures étant entre 66 et 80, nous pouvons considérer que cette évolution est insignifiante, mais nous suivons ces paramètres.

**Mme Michèle Rousseau.** En géothermie très superficielle, nous n'avons pas toujours besoin d'une nappe. Les échangeurs horizontaux sont à quelques mètres de profondeur et il s'agit simplement d'un fluide qui circule dans le sol. Nous avons également des sondes géothermiques verticales qui peuvent être parfaitement sèches. Ce type de géothermie peut être utilisé sur 85 % du territoire, sans difficulté. Par contre, la pompe à chaleur sera plus ou moins efficace suivant la nature des terrains traversés. Un enjeu de recherche est de comprendre, à un niveau cadastral et pour un coût très faible, quelle peut être la capacité énergétique du sol sur 100 à 150 mètres de profondeur.

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Monsieur Patrick d'Hugues, pour compléter.

**M. Patrick d'Hugues, Bureau de recherches géologiques et minières.** Vous avez évoqué, dès le début, le projet Surfer, pour savoir où nous en étions. Il existe beaucoup d'études sur l'empreinte matière associée à la transition énergétique. Nous avons mentionné l'étude de l'Alliance nationale Ancre et un certain nombre d'autres études. L'Académie des Sciences a publié très récemment un rapport sur les enjeux de l'empreinte matières/métaux sur la transition énergétique.

Le projet Surfer cherche également à répondre à ces questions, mais en allant un peu plus loin puisque l'un des objectifs est de faire une base de données sur l'ensemble des technologies, pour évaluer le poids en métaux de chacune d'entre elles. C'est un travail de fourmi assez poussé. Ce projet est conduit en collaboration avec l'ADEME et avec une équipe du CNRS qui s'appelle ISTerre. Les technologies évoluent en permanence. L'accès aux données pour avoir des certitudes sur les chiffres est donc un premier challenge.

En quoi Surfer se démarque des autres études réalisées jusqu'à maintenant ? Elle intègre les impacts directs et indirects de la transition énergétique. Les impacts directs concernent l'installation des différentes technologies sur le territoire, qui sont porteuses d'un certain nombre d'impacts en tant que tels. S'agissant des impacts indirects, nous essayons de remonter dans la chaîne de valeur, de manière à étudier l'impact sur le territoire de la technologie en tant que telle, mais également de tous les éléments qui ont permis de fabriquer et d'obtenir cette technologie. Sans les étudier dans leur intégralité, nous négligeons une partie des impacts associés au développement. Ce sont des analyses de cycle de vie. Nous pouvons remonter la chaîne de valeur jusqu'à l'activité minière qui a permis de produire les métaux qui sont ensuite introduits dans les différents outils et technologies utilisés. Cet aspect est très important. Dès lors que vous ne produisez pas de métaux sur votre territoire, vous assumez l'idée de déporter une partie des impacts, associés à votre mode de vie, ailleurs. Le projet Surfer cherche à évaluer ces impacts. Nous étudions les impacts sur l'énergie, les impacts sur l'eau, les impacts sur le sol et les impacts sur les matières premières. Je souhaitais vraiment

insister sur ce travail de fond qui est en cours. Nous avons bon espoir d'avoir des premiers résultats en début d'année prochaine et nous les communiquerons.

En parallèle, je pense important de mentionner également une étude qui est menée actuellement, à la demande du MTES et de Madame Brune Poirson, qui a le même objectif d'évaluer les impacts géopolitiques, environnementaux et économiques associés au déploiement des énergies renouvelables. Nous sommes lancés dans cette étude avec deux directions du MTES – le commissariat général au développement durable (CGDD) et la direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) – et avec nos collègues du CEA qui travaillent essentiellement sur la partie technologique. L'objectif de cette étude est d'identifier les impacts directs et surtout indirects, associés à la transition énergétique.

À la demande du MTES, nous étudions également le potentiel de recyclage. En quoi le recyclage peut nourrir ces filières avec des métaux matériaux ? Comme nous l'avons vu dans la présentation de Madame Rousseau, il existe un potentiel extrêmement fort de recyclage pour un certain nombre de métaux. Beaucoup d'entre eux sont peu ou non recyclés aujourd'hui. Pour autant, en termes de quantité, il ne faut surtout pas mettre en compétition réelle l'approvisionnement primaire, c'est-à-dire les mines, et le recyclage, dans le sens où nous savons par avance que le recyclage ne suffira pas à nourrir les besoins. Surtout, je pense que le moteur principal du recyclage est tout simplement l'aberration d'avoir fait tous ces efforts pour mettre des métaux et des matériaux dans des objets et de les mettre ensuite dans des centres de stockage pour déchets. Il est évident que le premier moteur est d'abord d'éviter de jeter et de remettre dans le circuit. Il faut intégrer l'idée que par définition, le recyclage n'est pas vertueux. C'est une activité industrielle comme une autre, qui a des impacts qu'il faut mesurer et optimiser.

Le deuxième aspect très important tient à la chaîne de valeur. À l'image de la position de la Chine sur la chaîne de valeur, si vous avez le matériau, vous pouvez fabriquer les éléments qui permettront ensuite de fabriquer l'éolienne. Par la maîtrise de la matière, vous remontez la chaîne de valeur et vous êtes omniprésent sur une filière.

Pour que les technologies de recyclage soient efficaces et rentables, il faut d'abord que les produits rentrent dans les usines de recyclage. Il faut les collecter. Il faut une masse suffisamment importante qui permette de lancer une activité de recyclage industrielle. L'idée n'est pas forcément de remonter jusqu'aux métaux. Il faut aussi trouver des acteurs qui vont récupérer ces matériaux pour en faire quelque chose. Se pose à nouveau une question de filière. Pour développer le recyclage, il faut aussi développer les filières, en amont pour collecter suffisamment de déchets et en aval pour trouver des exutoires à ces produits qui sont issus du recyclage.

**Michèle Rousseau.** Vous voyez sur le diagramme que le lithium n'est pas recyclé (0 %). J'ai entendu dire, à Nancy, la semaine dernière, que l'on se fixe un objectif de recyclage du lithium de 50 % environ. Le cobalt et le nickel sont recyclés actuellement à hauteur d'environ 35 %. L'ambition est de les recycler à 90 %. Ces trois métaux sont souvent évoqués pour les batteries. Je crois que l'échéance est fixée à 2030, mais je n'en suis pas sûre.

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Je vais passer la parole à Madame la rapporteure Marjolaine Meynier-Millefert, mais je souhaite vous dire auparavant que peu de députés sont présents parce que l'actualité législative est très dense. Nous sommes sur la chaîne interne de l'Assemblée nationale, ce qui permet à un certain nombre d'entre eux de vous suivre de leur

bureau. Enfin, vos propos figureront au rapport. Vous serez donc lus et relus avec beaucoup d'attention. Je passe la parole à Marjolaine Meynier-Millefert.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Merci beaucoup, Sophie. J'ai un certain nombre de questions complémentaires suite à vos propos. Merci pour ceux-ci. Est-ce que les ambitions pour le recyclage sont réalistes. L'échéance de 2030 paraît-elle lointaine, proche, tenable ou intenable ? Qu'en est-il ?

**M. Patrick d'Hugues.** La réponse est très dépendante des métaux concernés. Pour certains d'entre eux, nous aurons la capacité de mettre en place assez rapidement des technologies de recyclage qui existent déjà pour certaines. Pour d'autres, cette mise en place risque d'être beaucoup plus compliquée. Pour que se mette en place la filière de recyclage, il faut massifier le gisement, afin de pouvoir le faire rentrer dans une filière de recyclage et faut surtout utiliser les produits de sortie. Ma réponse n'est pas extrêmement claire, mais aujourd'hui, d'un point de vue générique et global, je suis dans l'incapacité de vous dire l'objectif qui sera atteint en 2030 sur l'ensemble des métaux.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Sur les métaux qui nous intéressent pour les batteries, avez-vous davantage de visibilité que sur l'ensemble des métaux ?

**M. Patrick d'Hugues.** Oui. De nombreux travaux sont conduits aujourd'hui sur le recyclage du nickel et du cobalt. Je pense qu'il est raisonnable de penser que très rapidement, nous serons en capacité de les recycler. Les évolutions technologiques permanentes sur ces objets font que lorsqu'un métal devient très important dans une filière, comme le cobalt par exemple, beaucoup d'acteurs cherchent par ailleurs à le substituer. C'est l'une des difficultés du recyclage. Les objets évoluent tellement vite que le temps d'établir une filière de recyclage, ils ont déjà changé. Sur le cobalt en tant que tel, visiblement, nous saurons organiser le recyclage assez rapidement. Les travaux sont assez avancés.

**Mme Michèle Rousseau.** Les industriels essayent de réduire leur utilisation du cobalt. Pour le cobalt, nous dépendons beaucoup du Congo qui est un pays qui pose question. Je pourrai retrouver, si vous le souhaitez, les industriels qui ont annoncé ces taux de recyclage de 90 % du cobalt, la semaine dernière, à Nancy, lors du forum mondial des métaux. Les présentations étaient internationales et je pourrai retrouver ceux qui ont avancé ces objectifs.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Est-ce qu'a été étudié le volume de ces matériaux nécessaire au volume de batteries souhaité en France ? Est-ce que ces matériaux perdent de la valeur ou pas au fur et à mesure du recyclage ? Est-ce qu'ils restent aussi performants, etc. À quel volume sommes-nous indépendants sur le stockage batterie ? Sinon, comment pourrions-nous les transférer ?

**M. Patrick d'Hugues.** Je ne saurai pas aujourd'hui répondre spécifiquement sur les batteries.

**Mme Michèle Rousseau.** Même dans le cadre d'un recyclage à 100 %, nous ne pouvons pas atteindre l'indépendance métal, puisque nous sommes dans un scénario de consommation croissante du métal. Nous dépendons donc forcément d'une ressource minière. Nous ne pouvons pas faire autrement dans ce contexte. Je crois avoir lu, mais il faudrait que je vérifie, que si on pose l'hypothèse que les objectifs de développement de la voiture électrique en France se réalisent, la consommation en cobalt française serait équivalente à la consommation en cobalt mondiale actuelle. L'échelle change complètement.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Si les objectifs français fixés en termes de voitures électriques sont atteints, serons-nous capables de générer les volumes complets ? Seront-ils plus rapidement substitués qu'extraits ? Avez-vous une visibilité en la matière et sur la charge critique ? Bien que les usages soient croissants, nous pouvons penser qu'à un moment donné, nous atteindrons un plafond d'usage. À ce volume de plafond d'usage, sommes-nous capables d'assurer un recyclage fermé de ces matériaux ?

**M. Patrick d'Hugues.** Aujourd'hui, toutes les projections, ce qui est valable sur les batteries, mais quasiment sur l'ensemble des objets, semblent montrer qu'à un rythme de croissance actuel et malgré une volonté de sobriété, le recyclage ne suffira pas à fournir l'ensemble des matières, dont le cobalt nécessaire à l'ensemble des batteries. Ensuite, tout processus de recyclage induit actuellement des pertes. Cette activité industrielle peut être extrêmement complexe et induit des pertes. Les pertes seront évaluées quasiment usine par usine, procédé par procédé, objet par objet. Différents travaux sont menés pour essayer de limiter au maximum ces pertes, mais même en les limitant au maximum, les projections de croissance montrent que le recyclage ne suffira pas à alimenter en matières.

**Mme Michèle Rousseau.** Dans le cadre d'une stabilisation de la consommation de cobalt, est-ce que nous pourrions y parvenir rien qu'avec du cobalt recyclé ? Honnêtement, nous ne le savons pas. Peut-être, si les objectifs de recycler 90 % du cobalt en 2030 sont tenus. Est-ce que nous arriverons un jour à recycler 100 % du cobalt ? Dans la recyclabilité, il faut aussi regarder la durée de vie du produit. Si on recycle 100 % des canettes d'aluminium qui se renouvellent très vite, on arrive à alimenter le flux. Le recyclage de produits à durée de vie très longue n'aura pas le même rendu *in fine*, parce qu'il faut attendre très longtemps avant de recycler le métal. À ma connaissance, le BRGM n'a pas encore simulé ces scénarios.

**M. Patrick d'Hugues.** Non, nous n'avons pas encore simulé totalement ces scénarios. Des travaux commencent à se mettre en place. Les technologies et les procédés de recyclage évoluent. Surtout, les produits sont de plus en plus techniques et éventuellement, de plus en plus difficiles à recycler. Les objets sont de plus en plus miniaturisés et complexes. Plus l'objet est complexe, plus il faut d'énergie pour recycler les toutes petites quantités de chacun de ces métaux. C'est un paradoxe, où la transition technique conduit à des objets de plus en plus complexes et dont le recyclage est porteur de plus en plus d'impacts parce qu'il faut davantage d'énergie pour récupérer les composants qui sont dilués. On parle de dissipation d'un métal dans un objet et plus il va être dissipé, plus il faudra d'énergie et d'efforts pour aller le chercher. C'est valable pour le cobalt et pour le reste. Aujourd'hui, nous sommes obligés de fonctionner sur les deux approches.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** J'allais vous poser une question en termes de paradoxe. Vous dites que la Chine a les matières premières en priorité. Aujourd'hui, il semblerait que la Chine abandonne la voiture électrique pour miser sur la voiture à hydrogène. J'ai lu plusieurs articles qui vont dans ce sens. Est-ce que cela a du sens ? Est-il logique d'abandonner la voiture électrique lorsque l'on détient les produits nécessaires pour la soutenir ? Devons-nous nous inquiéter de ce changement de braquet chinois sur l'électrique par rapport à l'hydrogène ?

**M. Patrick d'Hugues.** Je ne saurais pas répondre à cette question. Honnêtement, je n'ai pas cette information et je sais qu'il y a des projections sur un très fort développement des voitures électriques en Chine. Je ne suis pas ce sujet au quotidien et je n'ai pas d'information particulière sur cet aspect.

**Mme Michèle Rousseau.** Il est possible que la Chine ait également les métaux pour la voiture à hydrogène. La Chine est très puissante sur les métaux et sur toute la chaîne de valeur des métaux.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Je suis tout à fait d'accord sur l'ensemble des matériaux et la Chine pourrait développer l'une et l'autre des technologies. Or a priori, elle suit une logique de remplacement des filières électriques par les filières hydrogène. Je ne savais pas si vous aviez l'information, mais le cas échéant, je souhaiterais que vous puissiez vous renseigner et le cas échéant, que vous puissiez revenir vers nous pour confirmer ou pas. J'ai lu plusieurs articles qui vont dans ce sens et je me demande s'il s'agit d'une *intox* reprise par plusieurs journaux, mais semble par ailleurs assez sérieuse. Je suis perplexe sur ce sujet.

Ensuite, vous avez déjà répondu à certaines de mes questions, notamment sur l'économie circulaire. Vous avez parlé de stockage inter-saisonnier. Pouvez-vous m'expliquer comment fonctionne ce stockage inter-saisonnier ?

**M. Philippe Rocher.** La géothermie de surface peut utiliser des circuits ouverts ou des circuits fermés, des boucles ouvertes ou des boucles fermées. Elle peut donc utiliser une nappe d'eau souterraine et quand l'eau est absente ou en quantité insuffisante, on utilise simplement la conductivité thermique des terrains. Que ce soit l'eau ou les terrains, quand on prélève la chaleur dans les bâtiments ou lorsqu'elle est produite par une autre EnR intermittente, comme le solaire, on peut donc la stocker dans le sol, augmenter la température de ce sol et utiliser cette température augmentée, l'hiver, pour le chauffage. Le stock se maintient en périphérie des puits. Le système est plus efficace lorsqu'il y a des champs de sondes, lorsque plusieurs sondes sont les unes à côté des autres. Nous faisons des modélisations. La géothermie n'étant pas intermittente, elle permet un stockage inter-saisonnier, parce qu'on réchauffe le sol l'été et ce surcroît de chaleur peut être utilisé l'hiver. C'est de la chaleur.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Merci d'avoir répondu à cette question complémentaire. Cela vient en substitution de l'électricité qui génère de la chaleur, en évitant un coût électrique de pic. Cela pourrait venir, en hiver ou en été, sur les pics de rafraîchissement ou pics de chaleur nécessaires en apportant directement dans le réseau de chaleur. Il ne s'agit pas d'une production d'électricité à d'autres usages. Nous sommes purement sur la chaleur.

**M. Philippe Rocher.** Nous sommes purement sur la chaleur. C'est ce que l'on appelle le rafraîchissement passif, avec des coefficients de performance très importants de l'ordre de plusieurs dizaines. C'est une simple circulation de l'eau fraîche, entre 10 et 15 degrés dans une maison. On la rafraîchit. La pompe à chaleur ne fonctionne même pas. C'est une simple circulation. L'énergie électrique consommée est alors une simple pompe de circulation. Nous sommes dans des conditions optimales. Cela vaut pour le neuf, mais aussi dans certains cas, pour la rénovation.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Pour aller plus loin, savez-vous dire aujourd'hui quel pourcentage de production électrique est dédié uniquement à la chaleur ? Quel volume d'électricité produite pourrions-nous substituer en ayant des réseaux de chaleur plus pertinents ?

**M. Philippe Rocher.** Je n'ai pas le chiffre.

**Mme Michèle Rousseau.** La production d'électricité qui sert au chauffage électrique.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Oui, typiquement.

**M. Philippe Rocher.** Je suppose que ce chiffre est repris dans la version intégrale de la PPE. Dans les 350 pages, beaucoup d'informations sont apportées sur l'électricité. Ceux qui ont rédigé la PPE ont bien tenu compte de l'avis de certains professionnels et d'informations prouvées, etc. J'y ai retrouvé des éléments qui sont portés par ailleurs par le BRGM et par des associations de professionnels et qui sont avérés.

**Mme Michèle Rousseau.** Nous pourrions essayer de vous trouver l'information, mais nous pensons que la géothermie pourrait avoir sa place dans le mix énergétique d'une maison, d'un immeuble et autres. Nous assurons que les pompes à chaleur individuelles peuvent être utilisées sur 85 % du territoire, ce qui est intéressant. Je trouve que cette forme d'énergie n'a pas été suffisamment poussée. Elle ne consomme pas d'espace, elle n'émet pas de CO<sub>2</sub> ni de particules fines. Je pense qu'elle a des atouts. C'est très local.

**M. Philippe Rocher.** Pour compléter, le message est de dire que la France a un potentiel évident qui est sous-exploité en géothermie profonde. En métropole, on ne parle pas d'électrogène, mais de chaleur.

**Mme Michèle Rousseau.** Les pompes à chaleur sont beaucoup plus développées en Allemagne.

**M. Philippe Rocher.** En Allemagne, en Suisse, en Suède, parce qu'il y a une aide directe au particulier qui n'existe pas en France. En France, le marché pour l'individuel est vraiment tombé très bas, alors qu'il continue à se maintenir et même à se développer pour le tertiaire, le collectif, etc. Nous avons un vrai potentiel. Cette énergie est compétitive, elle est souvent mature et a des atouts que n'ont pas les autres. Le fait de faire du froid, du frais et d'être non intermittente est un avantage qui la différencie des autres EnR.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Comme vous l'avez dit, elle peut venir en complément des EnR intermittentes pour le stockage. Peut-elle être appelée aussi quand nous en avons besoin, c'est-à-dire au moment où nous avons des trous ? Est-il au contraire nécessaire de la tirer en continu, comme d'autres énergies qui, lorsqu'elles sont là, doivent être consommées ?

**Mme Michèle Rousseau.** La géothermie est essentiellement de la chaleur. En chaleur, la nécessité brutale de fournir un pic n'existe pas, comme elle peut exister en électricité. Le volume important de chauffages électriques en France conduit à des besoins très importants en hiver. Si la climatisation se développe, les besoins seront aussi très importants en été. La géothermie de surface qui n'est utilisable que pour la chaleur permet d'écrêter la pointe d'hiver, mais aussi la pointe d'été avec le rafraîchissement. Par contre, l'électricité est absolument indispensable pour le réseau de la maison.

**M. Philippe Rocher.** D'ailleurs, le marché des pompes à chaleur aérothermiques est très dépendant de la Chine, alors qu'un réseau de PME françaises fait de l'innovation sur les pompes à chaleur géothermiques. Si le marché n'est pas soutenu par l'individuel, nous craignons qu'il pâtisse de ce déficit et que cette tendance rejaille sur les secteurs qui vont

bien, qui sont ceux du tertiaire et du collectif. Nous lançons vraiment un cri d'alerte quant à la pompe à chaleur géothermique.

**Mme Michèle Rousseau.** Vous posiez la question du stockage inter-saisonnier d'électricité. Il n'est effectivement pas résolu. Le BRGM commence à regarder certains travaux de recherche sur le stockage de l'hydrogène, sur le stockage d'air comprimé qui ne s'avère pas excellent. Nous ne savons pas stocker de l'électricité telle quelle. Il faut transformer l'électricité dans un gaz et le gaz est ensuite stocké.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Pour bien comprendre le fonctionnement, comme sur la géothermie, sur l'air, il faut bien un système tel qu'une PAC qui transfère les calories. Ce peut être soit vis-à-vis de l'eau, soit vis-à-vis de l'air. Le puits canadien utilise l'air.

**M. Philippe Rocher.** Les pompes à chaleur géothermiques sont des pompes eau/eau.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** On peut avoir air/air ou eau/eau. Le principe est le même que sur la PAC par ailleurs. Est-ce qu'elles ont les mêmes rendements ?

**M. Philippe Rocher.** Non, absolument pas. Du fait de la stabilité du milieu, les pompes à chaleur géothermiques ont des meilleurs coefficients de performance, sont beaucoup plus stables, beaucoup plus fiables. Par exemple, en cas de rejet d'air chaud, elles préviennent aussi les effets des îlots de chaleur urbains qui posent problème dans le cas de l'aérothermie et qui n'en posent pas dans le cadre des PAC géothermiques.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Il me semble de mémoire que la PAC aérothermique utilise 1 d'énergie pour produire et en génère 3 en électricité transformée en chaleur.

**M. Philippe Rocher.** Le coefficient de performance est entre 2 et 3. Pour la géothermie, il est plutôt entre 4 et 5.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Elle est donc quasiment deux fois plus performante.

**M. Philippe Rocher.** Des évolutions ont lieu actuellement et nous devrions en entendre parler très prochainement. Ce sont des boucles d'eau tempérée qui sont vraiment l'avenir. Elles se mettent en place actuellement sur le campus de Paris-Saclay. Il s'agit d'un réseau chaud/froid, l'un ou l'autre ou double, qui dessert un réseau unique de structures utilisatrices qui peuvent être des bâtiments, des bureaux, etc. La modulation est faite au sein de chacune de ces structures par des pompes à chaleur qui sont bien dimensionnées. Ces circuits sont outillés de *smart grids*. Ils sont donc pilotés entre la production et la consommation etc. On récupère de l'énergie fatale, notamment des *datacenters*. Sont en train d'être développées ces applications de la géothermie du futur. Ces boucles d'eau tempérée géothermiques ont, à mon avis un bel avenir. Contrairement à l'aérothermie, les PME françaises sont innovantes dans ce secteur et nous ne sommes pas envahis de pompes à chaleur géothermiques chinoises.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Vous avez dit que les aides aux particuliers étaient insuffisantes. Quel serait le niveau d'aide aux particuliers nécessaire pour soutenir cette filière ?

**M. Philippe Rocher.** Dans nos pays riverains, le marché des pompes à chaleur géothermiques explose chez des particuliers, c'est-à-dire en Suisse, en Allemagne et en Suède. Ils n'ont pas mis en place un crédit d'impôt, mais un chèque géothermie aux particuliers. Il s'agit d'une aide à l'investissement en direct et non pas différée. Apparemment, cette aide a été le déclic. La comparaison entre le marché français et celui de ces pays fait apparaître cette grande différence. Elle ne tient pas à la technicité ni au savoir-faire des professionnels. Elle porte sur le coup de pouce

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Comparativement, nos coûts d'installation sont aussi compétitifs que dans ces pays où cette énergie se développe davantage. Quelle est la prime coup de pouce nécessaire pour déclencher l'aide ?

**Mme Michèle Rousseau.** Les pompes à chaleur aérothermiques fonctionnent bien avec le crédit d'impôt actuel. De combien faudrait-il augmenter le crédit d'impôt pour l'adapter aux pompes à chaleur géothermiques ? Je n'ai pas le chiffre en tête.

**M. Philippe Rocher.** Je ne l'ai pas non plus en tête. Les énergies fossiles seront exclues du CITE en 2020.

**Mme Michèle Rousseau.** Quel est l'écart de coût entre une pompe à chaleur aérothermique et une pompe à chaleur géothermique ?

**M. Philippe Rocher.** Il est de 20 à 30 %. Le coût d'investissement est supérieur, en raison du forage. Le coût d'un forage est de 50 à 80 euros le mètre, en fonction des régions. Dans certains cas favorables, sur une nappe alluviale par exemple, le forage est à moins de 10 mètres. Le coût est lors peu élevé.

**Mme Michèle Rousseau.** Au-delà des aspects géologiques, je pense que le surcoût en investissement d'une pompe à chaleur géothermique par rapport à une pompe à chaleur aérothermique est de l'ordre de 20 à 30 %. En revanche, les coûts d'exploitation sont beaucoup plus bas. En coût complet, la géothermie reste intéressante. Pour des bailleurs sociaux par exemple, il est intéressant d'avoir des coûts d'exploitation très bas.

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Comment se situe la France par rapport aux autres États membres de l'Union européenne sur la pratique de la géothermie, sur l'exploitation d'un site de géothermie ? J'ai le sentiment qu'il y a des recours et un certain nombre de difficultés à exploiter un site de géothermie. Est-ce le cas ? Quel est le comparatif avec les États membres de l'Union Européenne ? Sommes-nous plutôt dans le même esprit s'agissant de l'exploitation des sites ou est-ce que nous sommes en retard ?

**Mme Michèle Rousseau.** Je ne pense pas que se posent autant de problèmes. L'Île-de-France est la première région européenne pour la géothermie sur doublet. Il n'y a pas de grosses difficultés. Pour les pompes à chaleur géothermiques, la différence vient du fait que l'investissement du particulier est plus aidé en Allemagne ou en Suisse qu'il n'est aidé en France. De temps en temps, nous avons pu relever quelques mauvaises expériences. J'ai cité les quelques risques éventuels. À Lochwiller notamment, il y a quelques années, cela s'est mal passé pour un particulier qui avait fait forer à 100 ou 150 mètres, par un foreur d'ailleurs étranger et non qualifié. Des argiles gonflantes ont fait gonfler les terrains et fissurer les maisons. Un cas de temps en temps se passe mal pour énormément de situations qui se passent bien. Il faut avoir des bons foreurs. En Bretagne notamment, les pompes à chaleur



géothermiques se développent bien. On fore le granit et la Bretagne a de bons foreurs. Voilà une énergie qui est appréciée en local.

**M. Philippe Rocher.** D'ailleurs, suite aux problèmes dans ce lotissement, à Lochwiller, en Alsace, la réglementation française que nous vous avons présentée rapidement tout à l'heure, a évolué, pour prendre en considération les caractéristiques défavorables du sous-sol. Ces aspects ont été d'emblée intégrés. Cette nouvelle cartographie ne pose pas de problème, bien au contraire. À l'échelle régionale, elle est encore plus précise. Elle est vraiment une aide. Cette réglementation a été faite pour permettre un développement de cette énergie, en évitant par exemple les désagréments de la présence de minéraux gonflants dans le sol. Nous avons su réagir et au niveau réglementaire, le travail a été bien fait.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Vous avez parlé de réglementations simplifiées et d'un niveau de prime suffisant pour déclencher les aides nécessaires. Pourriez-vous nous faire parvenir de manière précise, les mesures qui sont nécessaires pour soutenir la filière géothermie ? À ce stade, quels sont les éléments que vous avez listés et qui sont nécessaires ? Vous évoquez par exemple l'augmentation importante du fonds chaleur. On nous dit que si nous l'augmentons trop vite, nous n'aurons pas la capacité industrielle à l'utiliser. Nous pourrions l'augmenter, mais nous n'aurions pas ensuite la capacité à produire. J'aimerais avoir des éléments précis.

**Mme Michèle Rousseau.** Nous allons vous envoyer un document un peu plus précis. En France, 5 % de la chaleur est vendue par des réseaux de chaleur. Je pense que 5 % de la chaleur consommée en France passe par des réseaux de chaleur. Il reste donc 80 %. Je pense qu'en complément des réseaux de chaleur, les pompes à chaleur géothermiques sont une solution intéressante pour des particuliers et du petit collectif.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Avez-vous également une estimation des coûts qui seraient nécessaires ? Vous parlez d'une campagne d'exploration des ressources profondes peu connues. Combien coûterait-elle ? Avez-vous des éléments chiffrés ?

**Mme Michèle Rousseau.** Nous pouvons vous donner des éléments.

**Mme Marjolaine Meynier-Millefert.** Il serait très intéressant que vous puissiez développer les préconisations.

**Mme Michèle Rousseau.** Nous pouvons vous apporter des éléments chiffrés sur le coût du lancement d'une campagne d'exploration par exemple. Nous en avons pour l'Aquitaine. Quelle pourrait être l'augmentation du crédit d'impôt ? Nous allons vous donner des éléments chiffrés factuels pour se mettre au niveau de l'Allemagne par exemple ou de la Suisse, sans prise de position du BRGM sur ce qu'il faut faire.

**Mme Sophie Auconie, présidente.** Merci beaucoup. Nous sommes obligés de mettre un terme à cette audition, puisque nous avons une audition suivante. Permettez-moi de saluer la présence du président Julien Aubert qui m'a donné cet intérim pour votre audition. Je l'en remercie. Merci pour l'exposé clair et concret que vous nous avez permis d'entendre.

*La séance est levée 18 heures 35.*

**Membres présents ou excusés**

**Commission d'enquête sur l'impact économique, industriel et environnemental des énergies renouvelables, sur la transparence des financements et sur l'acceptabilité sociale des politiques de transition énergétique**

Réunion du mardi 18 juin 2019 à 17 heures

*Présents.* - Mme Sophie Auconie, Mme Marjolaine Meynier-Millefert

*Excusés.* - M. Julien Aubert, M. Christophe Bouillon