



## SEMAINE 6 : LES OBJETS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

*Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « La transition énergétique » de la semaine 6 du MOOC « Environnement et Développement durable ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

### *La transition énergétique : pourquoi et comment ?*

**Patrick CRIQUI**

*Directeur de recherche – CNRS*

Aujourd'hui, le parlement est en train de discuter et de voter la loi de transition énergétique pour la croissance verte.

Alors, qu'est-ce que la transition énergétique ? Pourquoi engager ce processus et comment le faire ? C'est ce que je vais tenter d'expliquer dans les quelques minutes prochaines.

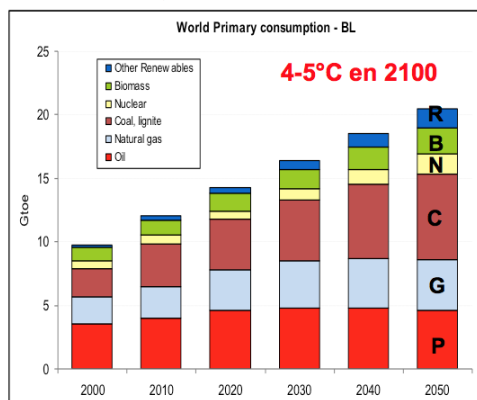
- Qu'est-ce que la transition énergétique tout d'abord ? Et bien, on peut dire qu'il s'agit avant tout de diminuer la part des énergies fossiles dans l'approvisionnement énergétique de nos sociétés.
- À l'échelle mondiale aujourd'hui, les énergies fossiles : charbon, pétrole, gaz naturel représentent plus de 80 % de l'approvisionnement.

Pourquoi faire une transition ? Est-ce que c'est parce que l'on va manquer d'énergies fossiles ?

- On pourrait dire malheureusement non, parce que l'on sait que l'on a encore dans le sous-sol de la Terre des quantités très importantes, en tout cas trop importantes par rapport à ce que les émissions de gaz à effet de serre associées pourraient constituer en termes de danger sur le changement climatique.
- ⇒ Donc ce n'est pas tant la rareté des énergies fossiles qui pose problème, c'est la question de l'accumulation des gaz à effet de serre qui découle de la combustion de ces énergies dans l'atmosphère.
- Dans les scénarios énergétiques de laisser-faire au plan mondial, ce que l'on constate dans des études prospectives, c'est qu'il faudrait s'attendre, si on ne met pas en œuvre des politiques climatiques, on pourrait s'attendre à un doublement des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, avec une stabilisation du pétrole et du gaz naturel à partir de 2030-2040, des progrès des énergies renouvelables, hydraulique, éolien, solaire, biomasse, et dans certains scénarios et dans certains pays des progrès également de l'énergie nucléaire.
- ⇒ Mais surtout dans ce scénario, l'énergie qui connaît les progrès les plus significatifs, c'est le charbon, parce que le charbon est très abondant aujourd'hui sur la Terre et son prix est relativement modéré et on constate d'ailleurs actuellement un retour du charbon.
- ⇒ Sans politiques climatiques appropriées, le XXI<sup>e</sup> siècle ou en tout cas le début du XXI<sup>e</sup> siècle marquerait le retour du charbon.
- Et lorsque l'on présente ce type de scénario à nos collègues climatologues, ils nous disent mais ça c'est un scénario catastrophe parce que, dans ce cas-là, il faut s'attendre à une augmentation très importante des températures de l'ordre de 4 à 5°C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la situation préindustrielle, c'est-à-dire le début du XIX<sup>e</sup> siècle.
- ⇒ Et là, il y a vraiment de très gros risques de dérèglement climatique.
- Ça c'est le scénario probable si on ne fait rien. Le scénario souhaitable, qui supposerait la mise en œuvre de politiques très volontaires dans ce domaine, est un scénario qui présente un profil très différent :
- ⇒ D'abord on consommerait beaucoup moins d'énergie, l'ordre de 20 à 25 % de moins d'énergie.
- ⇒ On aurait un développement beaucoup plus marqué encore des énergies renouvelables, de la biomasse, de l'énergie nucléaire.

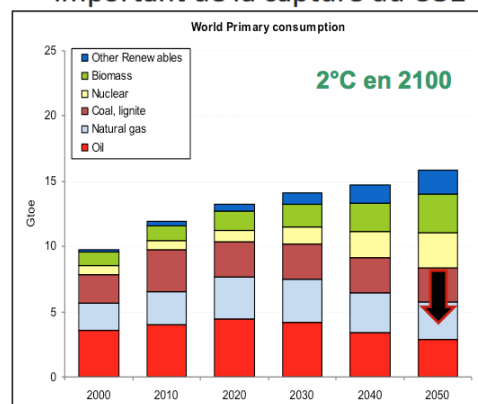
- ⇒ On consommerait moins de pétrole, un peu moins de gaz naturel, mais surtout beaucoup beaucoup moins de charbon que dans le scénario du laisser-faire et c'est ça véritablement la caractéristique des scénarios de transition énergétique à l'échelle mondiale : moindre consommation et un mix énergétique, un bouquet énergétique plus équilibré avec beaucoup moins de fossile.
- Enfin, il faudrait sans doute mettre en œuvre également des solutions de capture et séquestration du carbone, en particulier dans des centrales électriques, récupérer le carbone et le stocker de façon à éviter qu'il ne parte dans l'atmosphère.

Stabilisation du pétrole et du gaz, grand retour du charbon et malgré les progrès des énergies non carbonées, doublement des émissions



Source: modèle POLES, PACTE-EDDEN

Consommation inférieure de 20%, bouquet énergétique équilibré, développement important de la capture du CO2



Voilà quels sont les deux futurs possibles, le scénario probable si on ne fait rien, le scénario souhaitable du point de vue des équilibres climatiques.

Qu'est-ce que cela signifie pour un pays comme la France ?

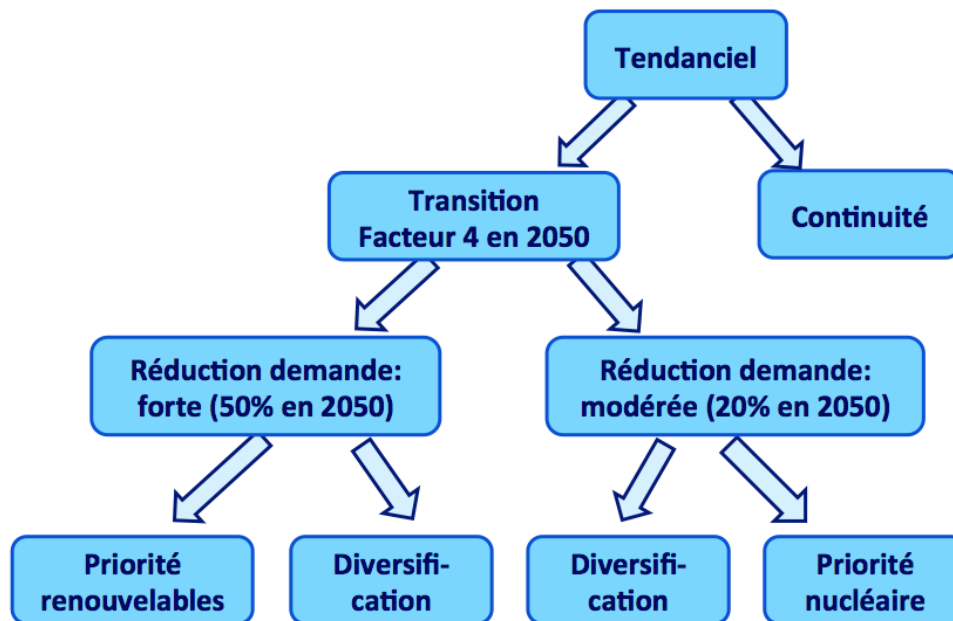
- Alors en France, ont été étudiés en 2013 ce qu'on a appelé les trajectoires de la transition énergétique.
- Ces trajectoires, elles visent notamment à faire ce qu'on appelle le Facteur 4, c'est-à-dire diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à ce qu'elles étaient en 1990.
- Donc le premier choix principal, c'est est-ce qu'on s'engage dans la transition vers le Facteur 4 ou est-ce qu'on continue sur la lancée et auquel cas on n'est pas, de fait, dans la transition ?
- Deuxième transition tout à fait cruciale, importante, c'est quelle action, quelle est l'intensité de l'action que l'on mène du point de vue de la consommation d'énergie et certains des scénarios que nous avons étudié alors supposaient une réduction très importante de la consommation d'énergie en 2050, une division par deux de la

consommation d'énergie française, alors que d'autres scénarios avaient des hypothèses également de réduction mais plus modérée de l'ordre simplement de 20 %.

- Troisième niveau de décision, quelle source d'énergie on mobilise pour satisfaire la demande ?
  - Et bien certains scénarios, à gauche sur ce transparent, indiquaient la nécessité, la nécessaire priorité aux énergies renouvelables, certains scénarios supposant même une sortie de l'énergie nucléaire.
  - En quelque sorte c'est inscrire la France sur la même trajectoire que ce que l'Allemagne est en train d'essayer aujourd'hui de mettre en œuvre, c'est-à-dire transition avec sortie du nucléaire.
  - Et puis à l'autre extrême, sur la droite de ce transparent, des scénarios qui défendaient plutôt le modèle français actuel, avec une moindre réduction de la demande et un rôle qui resterait significatif de l'énergie nucléaire de l'ordre de trois quarts de la production d'électricité.
- ⇒ Entre ces deux scénarios, des scénarios intermédiaires avec plus ou moins de réduction de la demande, mais dans tous les cas une diversification des sources d'énergie vers, de toute façon, des énergies peu carbonées, que ce soit une électricité décarbonée ou du bio gaz, des biocarburants, des énergies issues de la biomasse.

Cela nous a permis d'identifier quatre grandes trajectoires qui ont été discutées dans le processus du débat national par les parties prenantes, des représentants des O.N.G., des syndicats, des entreprises, de l'administration, des parlementaires et ça a permis d'identifier ces quatre scénarios.

- Sobriété pour les scénarios de basse consommation et la sortie du nucléaire ;
- Efficacité pour des scénarios de forte réduction de la demande avec une diversification ;
- Diversité et décarbonisation pour le scénario qui représente le maintien du modèle énergétique français actuel.



## **SOBriété EFFicacité DIVersité DECarb.**

Voilà quels ont été les scénarios élaborés et ça a permis de discuter leurs impacts potentiels et ça a surtout permis de fournir un certain nombre de bases à la loi de transition énergétique qui est actuellement discutée en France et qui actuellement est en train de se concentrer sur les deux options intermédiaires.

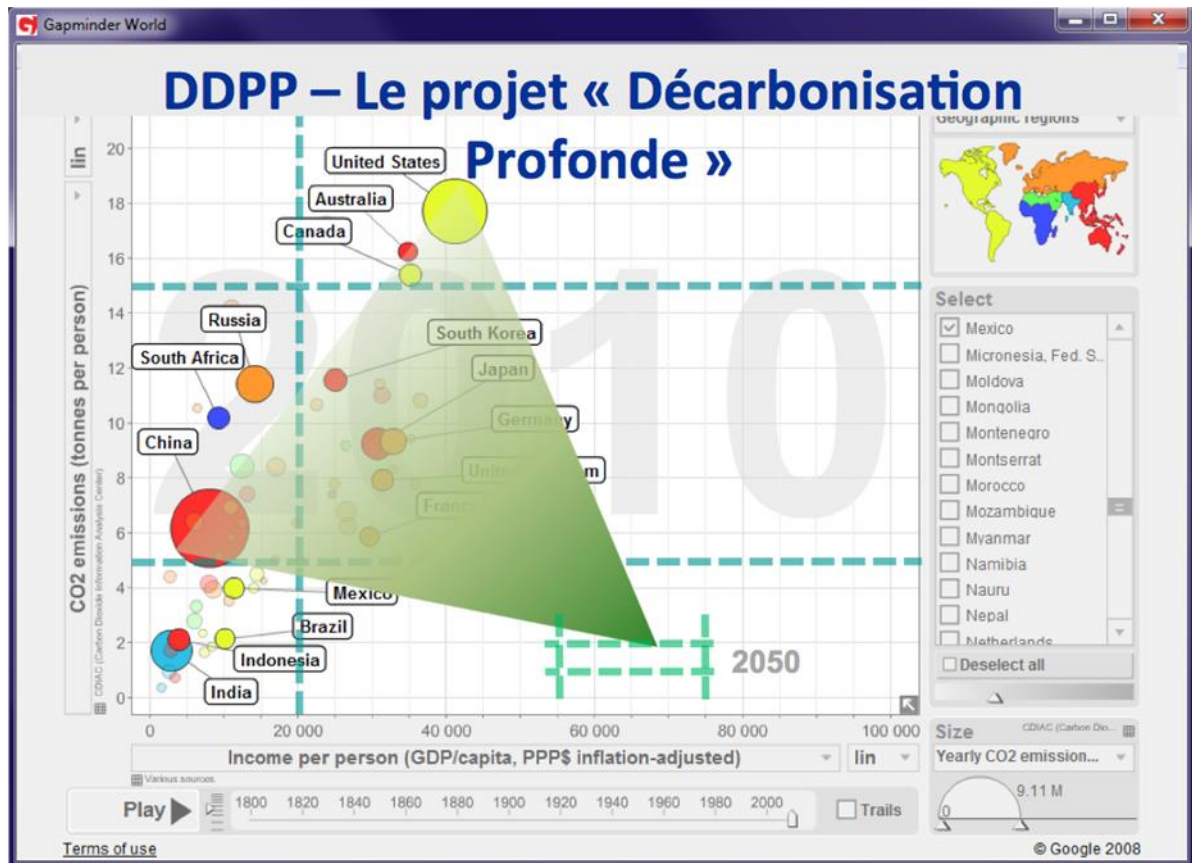
⇒ Les scénarios actuellement discutés sont des scénarios entre le scénario efficacité et diversité, les deux scénarios supposent 50 % d'énergie nucléaire dans la production d'électricité en 2025, la grande question est quel est l'avenir du nucléaire au-delà ? Ça fait partie des grandes interrogations de la politique énergétique en France.

Alors comment cette problématique se pose-t-elle au niveau international ? Et bien certains projets de recherche internationaux conduisent à essayer de développer des approches similaires pour les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre, en particulier dans la perspective de la négociation climat qui va avoir lieu à Paris à la fin de cette année dans la première quinzaine de décembre, ce qu'on appelle la COP21, la conférence des parties à la Convention cadre des Nations Unies pour le changement climatique.

- En particulier, le projet décarbonisation profonde des systèmes énergétiques qui est fondé sur un réseau organisé par les Nations Unies.
- ⇒ Ce projet regroupe des équipes qui sont issues à la fois de pays industrialisés, avec des niveaux de revenu par habitant qui sont élevés, supérieurs à 20 000 \$ par habitant et par an, et également des pays émergents.
- ⇒ Et puis au sein de ces deux catégories, industrialisés et émergent, il y a des pays avec des fortes émissions de gaz à effet de serre par tête, c'est le cas des États-Unis, de l'Australie, du Canada ;



- ⇒ Des pays avec des émissions par tête un peu plus faible (entre 5 et 15 tonnes de CO2 par habitant et par an), la Corée, le Japon, le Royaume-Uni, l'Allemagne, la France ;
- ⇒ Et du côté des pays émergents, des pays également avec des niveaux d'émissions relativement élevées : Russie, Afrique du Sud, Chine ;
- ⇒ Et puis des pays avec des niveaux d'émissions un peu plus faibles.



Ce qu'il est important de noter ici, c'est que tous ces pays s'intéressent donc à la construction de scénarios de décarbonisation, et finalement qu'est-ce que ça signifie ?

- Ça signifie le fait qu'il faut passer de cette très grande dispersion des différents pays en termes de niveau d'émission absolu mais surtout par tête, à une fenêtre qui est beaucoup plus réduite pour la deuxième moitié du XXIe siècle.
- ⇒ Cette fenêtre, elle devrait correspondre tout d'abord à une certaine convergence des niveaux de PIB par tête.
- ⇒ C'est aujourd'hui déjà ce qui est en train de se produire puisque les pays émergents croissent beaucoup plus rapidement que les pays industrialisés.
- ⇒ Et puis surtout la fenêtre elle est définie par le fait que tous les pays devraient se trouver dans une plage entre 1 tonne et 2 tonnes de CO2 par habitant et par an.

- Et bien, le véritable enjeu de la négociation climat pour Paris 2015, c'est bien cela, c'est comment on va arriver à faire converger les différents pays vers des niveaux d'émissions par tête très faibles.
- ⇒ On a des raisons d'être relativement optimistes sur le fait que les grands acteurs sont en train aujourd'hui de se mettre en branle, de se mettre sur le chemin de la décarbonisation.
- ⇒ C'est le cas de la France mais c'est aussi le cas par exemple d'un pays comme la Chine qui s'engage dans une politique de transformation de son système énergétique.
- Et la grande interrogation, et un des grands enjeux de la conférence de Paris, c'est est-ce que le mouvement qui est engagé va se faire suffisamment vite pour éviter une accumulation trop importante de gaz à effet de serre d'ici l'horizon 2050 ?
- ⇒ Je crois que c'est ça la question cruciale. La transition est en route, est-elle aujourd'hui suffisamment rapide, on ne le sait pas encore, en tout cas dans les prochaines années, il faudra déployer des efforts importants pour qu'elle le soit.

# La transition énergétique et la géothermie

**Jacques VARET**

*Consultant – Géo2D*

Je vais vous parler de la transition énergétique mais vue sous l'angle de la relation de l'homme à la planète, à la planète Terre sur laquelle nous vivons.

En fait, pendant des années, nous avons vécu, disons ces derniers siècles on peut dire, essentiellement en exploitant des énergies fossiles. Donc des énergies qui se sont en fait accumulées au sein de la croûte terrestre, au cours des millions, des centaines de millions d'années qui ont permis cette accumulation de biomasse à partir de la vie superficielle sur la Terre et par des transformations effectivement géologiques, on a abouti à des gisements de charbon, de pétrole, de gaz qui ont permis effectivement le développement de l'humanité - notamment de l'hémisphère Nord de l'humanité -, ce dernier siècle.

Ce faisant, nous rencontrons aujourd'hui deux problèmes majeurs qui nous imposent effectivement cette transition énergétique :

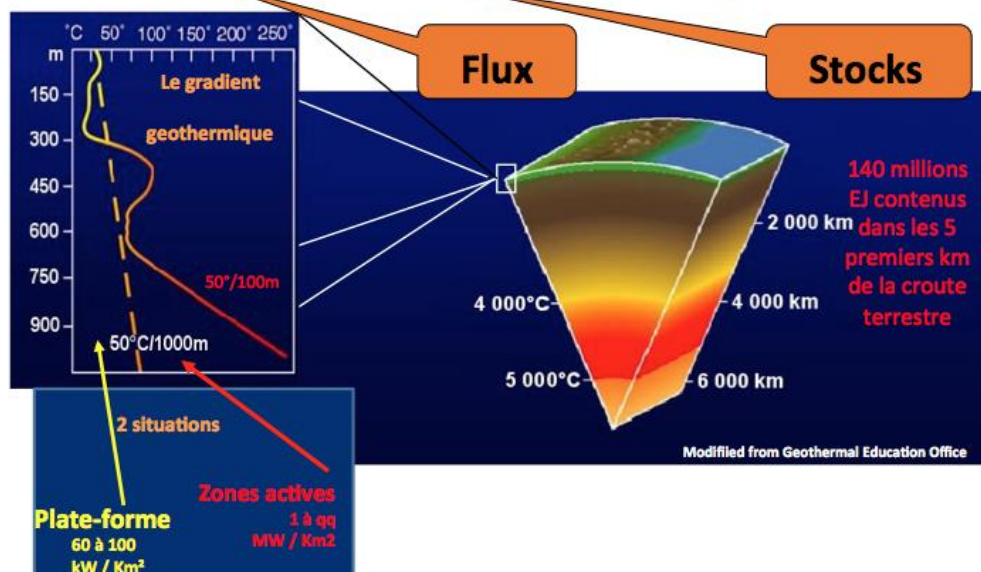
- Le premier, c'est effectivement le changement climatique induit par la combustion de ces carbones fossiles que nous renvoyons dans l'atmosphère et donc qui modifient le climat par effet de serre.
  - ⇒ Donc un réchauffement de la planète essentiellement, mais plus généralement l'introduction de changements très importants dans les conditions climatiques.
- Et de l'autre, le fait que nous sommes parvenus au stade où nous avons brûlé déjà à peu près la moitié du pétrole accumulé, du moins celui qui peut s'exploiter dans des conditions économiques, près de la moitié du gaz et on a encore un peu plus de stock pour le charbon mais disons que nous savons que ces ressources ne sont pas renouvelables, ne sont pas durables.
  - ⇒ Et donc la transition s'impose à nous pour ces deux raisons en quelque sorte.
  - ⇒ Nous sommes coincés des deux bouts, on est coincés par le bout de la ressource et on est coincés par le bout des émissions que nous produisons en exploitant ces ressources.



En conséquence, on doit effectivement rechercher des ressources énergétiques alternatives et si possible durables et renouvelables et parmi celles-là, et bien il y en a une qui m'intéresse moi particulièrement, c'est la géothermie.

- Parce qu'effectivement cette planète Terre sur laquelle nous vivons n'a pas été seulement capable d'accumuler, passivement en quelque sorte, des ressources fossiles issues de la biomasse terrestre, mais également, cette planète Terre est véritablement vivante, c'est-à-dire que, de même qu'on a des mouvements de l'atmosphère, on a aussi des mouvements des plaques continentales les unes par rapport aux autres et ces mouvements induisent des productions d'énergie qui peuvent être considérables.

## La terre dissipe et contient une énorme quantité d'énergie



- Alors ça peut être tout à fait désastreux, c'est le cas récemment au Népal où on a cette collision de l'Inde avec l'Eurasie qui produit effectivement la chaîne de l'Himalaya et les séismes que l'on peut connaître, mais on a aussi d'autres endroits où ça se passe de manière beaucoup plus passive, c'est-à-dire que l'énergie produite est essentiellement thermique, avec une croûte qui est beaucoup plus fine et éventuellement seulement de quelques kilomètres d'épaisseur et qui donc permet de rechercher disons pratiquement à très faible profondeur (à une profondeur qui peut être atteinte par des forages), permet effectivement de produire une quantité d'énergie assez considérable, une petite fraction de cette énergie renouvelable produite en permanence par la Terre.
- En fait cette planète Terre, elle caractérise par deux types de situations, d'une part les situations du type de celles que l'on peut rencontrer en moyenne en France, c'est-à-dire en gros dans une plate-forme continentale stable, dans laquelle on a, disons, un gradient géothermique qui fait de l'ordre de 3°C par 100 mètres.

- ⇒ Vous me direz que ce n'est pas beaucoup, mais ça permet quand même de produire de la chaleur, notamment par exemple dans la région parisienne, on a une nappe à 1800 mètres qui permet de produire de la chaleur à 70°C et donc de réchauffer effectivement, de répondre aux besoins du chauffage pratiquement, de l'habitation et de l'eau chaude sanitaire et tous les besoins thermiques qu'on peut trouver pour les piscines, pour le chauffage des hôpitaux ou autres.
- Donc, en fait la géothermie en France peut répondre à une fraction de la consommation énergétique du pays, de cette extraction qu'on a tendance à oublier d'ailleurs dans les politiques énergétiques qui est la chaleur.
- ⇒ Parce qu'en fait, on peut dire aussi qu'il est même assez aberrant de se chauffer à 18°C ou de prendre des douches à 30°C en utilisant du pétrole, du gaz ou même du nucléaire qui sont des énergies formidables qui permettent des usages beaucoup plus intéressants que de la production de chaleur à basse température.
- Donc, nous avons une première application possible de la géothermie ici même, c'est effectivement le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire.
- ⇒ C'est d'ailleurs en gros 30 % de notre consommation énergétique.
- ⇒ Ça fait plusieurs tranches nucléaires par exemple qui n'auraient pas besoin d'exister si nous avions recours à cette énergie.
- De la même façon, le gaz qui est très utilisé pour cela, pourrait être utilisé pour d'autres fins et ce serait beaucoup mieux pour la planète et pour tout le monde.

Donc cette forme d'énergie est malheureusement très peu développée en France, à peine 1 % du neuf actuellement se fait par chauffage géothermique, alors que des pays comme la Suède par exemple - la Suède n'a pas une situation géothermique particulièrement favorable, c'est un vieux socle très ancien -, et bien en Suède actuellement 90 % du neuf se fait par géothermie. En Suisse c'est près de 50 %.

- Donc pourquoi en sommes-nous là ? On peut se poser la question. L'offre industrielle est là, les capacités sont là, les ressources sont là.
- ⇒ Il y a des blocages à lever et ça, c'est l'affaire typiquement de la transition énergétique concernant notre pays.

Et puis la transition énergétique concernant le monde en général, elle peut se faire sur justement ces régions.

- ⇒ Alors l'Islande est bien connue, la Nouvelle-Zélande aussi, ce sont deux pays qui produisent à 100 % des énergies renouvelables parce que la géothermie plus

l'hydraulique leur permet d'assurer la totalité de leur production électrique par le renouvelable.

- ⇒ Mais en dehors de ces deux îles, qui sont finalement limitées par le nombre d'habitants qu'ils ont alors qu'ils pourraient produire beaucoup plus pour le reste de la planète, on a aussi des très grandes régions du monde dans lesquelles on a des potentiels très importants qui ne sont aujourd'hui utilisés.
- ⇒ C'est notamment le cas de toute la partie Est de l'Afrique, disons en gros depuis la mer Rouge jusqu'au Sud, le Mozambique, en passant par l'Éthiopie, le Kenya, la Tanzanie etc.
- Je parle du Kenya parce que le Kenya est un pays qui lui a décidé de miser sur la géothermie, j'y vais régulièrement, j'y enseigne.
- ⇒ C'est un pays qui a prévu de faire 5000 MW en 2030, 10 000 MW en 2050 et ils vont le faire et ils ont pris les moyens pour le faire.
- ⇒ Ils sont actuellement à 600 mais ils ont une croissance de plusieurs centaines de mégawatts par an donc pour de la vapeur produisant de l'électricité donc on est dans une situation bien différente.

Et ma vision du monde en ce qui concerne cette transition énergétique, c'est que nous allons assister à une situation dans laquelle on va assister à une reconversion en quelque sorte de l'activité industrielle mondiale, qui ces dernières années s'est faite essentiellement pour aller chercher une main-d'œuvre à bon marché en Chine, dans un pays qui par ailleurs avait des ressources énergétiques avec du charbon dont on ne s'est guère souciés de l'impact écologique, et nous allons aller effectivement vers une situation dans laquelle, - en tout cas je pense qu'il faut y travailler, c'est le sens de l'orientation dans lequel je m'attache et je pense qu'on devrait être plusieurs à le faire -, vers une situation dans laquelle nous allons aller vers des ressources renouvelables du type de la géothermie dans des pays qui ont ces ressources en abondance, à bon marché et qui vont inéluctablement entraîner une redistribution de l'activité industrielle mondiale vers ces zones-là.

Donc un avenir de transition énergétique qui peut se jouer ici mais qui peut aussi et qui devra aussi se jouer au niveau mondial, en tenant compte de ce que nous a donné la nature, c'est-à-dire des zones dans lesquelles nous avons des potentiels très importants aujourd'hui inutilisés.