

Le développement durable : une voie étroite entre les ressources énergétiques et le changement climatique.

Au cours des dernières années, on a pu entendre des déclarations contradictoires sur l'avenir des combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon) qui représentent, au niveau mondial, environ 90% de nos sources d'énergie primaire. Les uns considèrent pétrole et gaz comme des énergies de bouclage, c'est à dire disponibles autant que de besoin pour satisfaire une demande globale qui aura presque doublé en 2020, et triplé en 2050 ou 2070, lorsque notre Terre portera 2 milliards d'habitants supplémentaires. Les autres parlent d'une pénurie proche : certaines variations brutales du prix du pétrole en sont-elles le reflet ? Les coupures d'électricité inattendues en Californie ou programmées au Brésil sont-elles déjà les signes d'une raréfaction des énergies primaires, ou d'une insuffisance des équipements de conversion en électricité ? Peut-on parler de développement durable si l'on s'approche de la pénurie ? Ces questions comportent certes des aspects économiques et politiques, mais ce sont les progrès des Sciences de la Terre qui nous permettent d'évaluer mieux les limites physiques de ces énergies non-renouvelables, et de dire si la science permettra de reculer ces limites.

Peu avant 1970, une conférence internationale de recherche scientifique se tint aux Etats-Unis sur l'origine du pétrole et du gaz. Toutes les hypothèses furent défendues : synthèse bactérienne, transformation chimique des matières organiques fossiles, par voie thermique ou catalytique, origine inorganique profonde, ou même un reste d'une atmosphère primitive de la Terre. La conclusion tirée par un célèbre entrepreneur américain fut « le pétrole est là où on le trouve ».

Pendant 30 ans, une recherche scientifique intense, associant l'observation dans les bassins sédimentaires, l'expérimentation en laboratoire, et la modélisation numérique des phénomènes a permis de développer une discipline – la géochimie organique – qui joue un rôle essentiel pour apporter des réponses à ces questions, mais aussi à celles de la pollution et de la protection de l'environnement.

La matière première qui sert à générer les combustibles fossiles est la biomasse issue de la photosynthèse, donc de l'énergie solaire. Les convertisseurs les plus efficaces pour fabriquer cette biomasse sont les plantes feuillues, sur terre, et le phytoplancton, en mer. Cette matière organique se dépose dans les vases, au fond des mers ou des lacs, où elle est la proie des bactéries qui en dégradent la plus grande part : le taux global de « mise en réserve » de l'énergie solaire reçue ne dépasse guère, dans le meilleur des cas, un millionième. Le résidu de l'activité bactérienne se réorganise alors au hasard pour former des macromolécules qui comportent la répétition d'un assez petit nombre de familles de constituants, mais sans la régularité des polymères biologiques.

L'accumulation de nouvelles couches de sédiments amène l'enfouissement en profondeur de ces dépôts organiques : la température s'élève, entraînant l'élimination des groupements fonctionnels et la libération

d'hydrocarbures, d'abord liquides puis gazeux. Mais la formation de gisements de pétrole ou de gaz nécessite encore une autre étape : les fluides ainsi formés doivent être expulsés de la roche, souvent argileuse, où ils ont pris naissance, vers des réservoirs sableux ou calcaires, où ils pourront s'accumuler. Le rendement global, à partir de l'énergie solaire, est bien inférieur au milliardième.

Un résultat particulièrement important de ces recherches est l'introduction explicite du temps géologique qui permet de reconstituer la succession des phénomènes. On a pu montrer que la cinétique de formation des hydrocarbures pouvait être décrite par des lois classiques, comme celle d'Arrhenius, avec les mêmes paramètres (en particulier les énergies d'activation) pour les expériences menées en laboratoire et pour les observations faites dans les bassins, c'est à dire pour des temps allant de l'heure aux millions d'années.

A partir de ces acquis, plusieurs résultats importants ont pu être obtenus. Il faut citer avant tout la modélisation numérique de la genèse et de la migration du pétrole et du gaz qui, d'abord bâtie autour de la cinétique de formation des hydrocarbures, a ensuite intégré l'évolution structurale et thermique des sédiments, leur compaction, les transferts de fluides (eau, pétrole et gaz) pour déboucher sur une modélisation globale de l'évolution des bassins sédimentaires en fonction du temps géologique. La première conséquence est partagée avec les progrès de la géophysique (essentiellement de la sismique 3D) : c'est une amélioration considérable du taux de succès des forages d'exploration, passé de un forage sur 10 en 1970, à un forage sur 7 en 1990, un forage sur 4 en 2000, et même un sur 3 dans certaines parties du monde. La seconde conséquence est une meilleure évaluation des ressources ultimes en pétrole et en gaz de chaque bassin, permettant de donner des limites scientifiques aux prévisions de consommation.

Si nous persistons à faire appel sans limite au pétrole et au gaz, la mobilisation de leurs ressources ultimes ne permettra pas d'atteindre 2100, et la pénurie pourrait s'installer dès le milieu du siècle pour le pétrole, un peu plus tard pour le gaz, avec ses conséquences sur une transition difficile vers d'autres sources d'énergie dans les transports, et une forte tension sur les prix. Les pays en développement dépourvus d'infrastructure de transport d'énergie seraient particulièrement frappés.

C'est alors que s'introduit une nouvelle question : face à l'effet de serre perturbé par notre usage intensif du charbon, du pétrole et du gaz, et au changement climatique qui en résulte, que faire pour nous permettre un développement durable ? Les seules énergies primaires de substitution sont alors les énergies nucléaire et renouvelables.

Pour l'énergie nucléaire (la seule que l'on puisse évoquer ici en quelques instants), les déchets radioactifs constituent le point crucial : même si le retraitement permet d'en diminuer et d'en confiner la radioactivité, le stockage de certains déchets en milieu géologique est inévitable. L'adversaire est alors l'eau, susceptible de faciliter la migration dans les terrains des radionucléides. On se retrouve alors face à un problème comparable à celui du déplacement du pétrole dans des roches de très faible perméabilité, avec le même apport de la modélisation et une échelle des temps qui couvre des milliers d'années.

Le nouvel essor des Sciences de la planète Terre, leur quantification et leur modélisation numérique apporteront, là encore, une contribution déterminante à notre avenir énergétique, dans une perspective de développement durable.