

Notes d'Alain Perrodon de 2012 à 2017

Paul Alba a retranscrit un certain nombre de papiers manuscrits d'Alain Perrodon de 2012 à 2013 et j'ai soumis à Alain 23 notes

Voici la lettre d'Alain regroupant ses travaux

Jean

Ci-joint en retour, merci pour ton travail- l'essentiel de mes articles, revus et corrigés. J'ai éliminé quelques-uns de peu d'intérêt et redondants. Malgré cela, cet ensemble donne (un peu) l'impression de redite (et de testament)

La ligne générale tourne autour de grand sujet de l'heure, la transition énergétique, bien sûr, vu par un géologue.

Cette approche géologique apparaît écartelée entre, deux tendances dans le souci de répondre dans la prochaine décennie d'une demande fort incertaine :

- Etre en mesure de satisfaire des besoins importants comme le pensent les pétroliers, d'où la nécessité d'apprécier les réserves ultimes et le flux de production et en complément de s'insérer dans les ENR

- Essayer d'appréhender une demande où les facteurs écologiques, économiques, sociétaux et politiques ont pris une dimension inconnue dans le passé.

On a par le passé, me semble-t-il, plutôt manquer d'imagination, notamment en ce qui concerne aussi les terres (ou plutôt mers) inconnues, que l'esprit d'innovation et de maîtrise des techniciens, et manquer d'imagination équivaut à manquer d'optimisme dans les prévisions.

Hubbert avait vu juste, mais dans un cas particulier (tout n'est-il pas particulier en matière de pétrole aux US) un peu idéal pour lequel il avait bien précisé les limites et les contraintes, ce que l'on a parfois oublié ou négligé.

La question aujourd'hui à mon humble avis, est de suivre la situation de près, prêt à réagir sans attendre les critiques.

Bon courage amitiés Alain 4/09/2017

Voici donc les 19 notes sélectionnées par Alain avec l'ajout des notes 25 et 26 recueillies par Paul

Le mirage des ressources	mai 2012
Shale oil et autres non conventionnels dans une perspective géologique	juil 2012
Energies renouvelables et transition énergétique	sept 2013
De l'art-ou des difficultés- de dénommer les phénomènes naturels, géo pétroliers en particuliers	déc 2013
Petite trilogie pétrolière	jan 2014
Les huiles et gaz non conventionnels en perspective géologique	oct 2014
La saga pétrolière continue	déc 2014
Dialogue pseudo-réaliste entre Eco et Géo	juil 2015
Petite contribution aux réflexions de l'ASPO	fév 2016
La transition énergétique vue dans une perspective historique	avril 2016
Sur quelques embarras de la transition énergétique, d'après une Lettre Persane inédite.	juin 2016
Lettre au petit Prince relatant la COP 21	mai 2016
Sur quelques conflits entre l'homme et la nature (d'après une Lettre Persane inédite).	oct 2016
Le « peak oil » fait le grand écart.	déc 2016
Le roman de l'exploration pétrolière	juin 2016
Rituelle plainte pour la défense du pauvre mètre.	juil 2017
Incartades dans l'espace et dans le temps	juil 2017
Transition énergétique et développement durable, sous la coupe de Dame Nature	aut 2017
Exploration pétrolière et recherche scientifique, même approche.	déc 2017

Le mirage des ressources.

Les spectaculaires succès de l'exploitation des gaz et huiles de schistes (ou de roche mère) aux Etats-Unis doivent être perçus avec toute la rigueur et l'objectivité qui s'imposent, même si nous manquons encore du recul nécessaire pour extrapoler sereinement cette activité dans le temps et aux autres continents. On ne saurait en effet, quels que soient les progrès des connaissances et des techniques, méconnaître l'importance des hétérogénéités géologiques et le comportement des sociétés.

Ces exploitations posent en effet de façon exemplaire la problématique de la transformation d'une accumulation d'hydrocarbures en scénario d'exploitation, d'un stock en flux de production. Vieux problème de la cuve et du robinet. C'est là une problématique mettant en cause la notion géologique et physique de coefficient de récupération, et de fluides de viscosité variable dans un laps de temps plus ou moins long.

Pour être clair, encore convient-il sans doute de commencer par le rappel de quelques définitions, qui, pour paraître élémentaires, sont parfois peut être oubliées par certains experts, si éminents soient-ils.

Les ressources, cette notion à la base de toute étude sérieuse, définissent le volume d'hydrocarbures contenus dans les roches. Elles peuvent se trouver rassemblées dans un volume bien défini au sein d'un piège géologique, ou constituer un ensemble diffus dans une couche sédimentaire, par exemple dans le cas de ce qu'il est convenu de qualifier de non conventionnel.

Les réserves représentent la notion de base de tout raisonnement. Ce sont les volumes de ressources susceptibles d'être extraits par les différentes technologies disponibles dans un contexte économique acceptable. C'est donc une notion non plus seulement géologique, mais également technique et économique.

La troisième notion est la productivité du système, le passage du stock au flux de production. C'est là une notion dynamique, qui fait intervenir de nouveaux critères géologiques, comme la perméabilité du contenant, géochimiques avec la fluidité du contenu, ainsi que des facteurs de faisabilité et d'économie.

Les caractéristiques physico-chimiques des hydrocarbures constituent en particulier un facteur majeur de cette opération, et ce serait une grosse erreur d'assimiler et de faire l'addition d'espèces chimiques aussi différentes que bitumes, bruts plus ou moins lourds, condensats. Si les progrès actuels et futurs des techniques peuvent et doivent améliorer ces productivités, toutes finissent par se heurter à l'infranchissable mur de l'autoconsommation en énergie.

Une autre approche mérite attention. Certains experts conditionnent en effet le volume des réserves, et du même coup celui des productions, au montant des investissements correspondants. Il y a certes une relation directe entre les moyens mis en œuvre et le montant des extractions, jusqu'à un certain point cependant, car le volume des ressources est limité. Ignorer cette restriction, c'est admettre que la ressource est infinie. Dans la réalité, l'augmentation des moyens et des coûts opératoires peut et doit, dans une certaine mesure, augmenter les résultats, jusqu'à un certain point cependant.

Après ce rapide rappel de quelques notions élémentaires, il n'est sans doute pas inutile de situer le cadre des opérations actuelles dans leur perspective historique, un paysage certes complexe et différencié d'où se dégagent cependant quelques grandes tendances :

- La grande majorité des champs qui comptent aujourd'hui au plan mondial ont été découverts il y a plus de trente ans. Leur production est en déclin régulier ;
- La taille moyenne des découvertes dans les provinces prouvées ne cesse de décroître, malgré quelques succès récents ;
- Les découvertes majeures des dernières années se situent dans des environnements particulièrement hostiles, comme les zones arctiques ou les « offshore » profonds, allongeant les durées de développement, et des investissements croissants ;
- La qualité moyenne des pétrole exploités aujourd'hui se dégrade, alors que les produits raffinés doivent sans cesse améliorer leur qualité ;
- Les récentes exploitation d'huile et de gaz « non conventionnels » aux Etats-Unis, rendus possibles par de nouvelles technologies, ouvrent incontestablement de larges perspectives, même s'il est encore difficile d'extrapoler leur potentiel à moyen terme, et leur extension géographique. En outre, les contraintes environnementales de surface de toutes ces opérations ne cessent de s'affirmer, dans l'esprit « nimby », et ne doivent donc pas être sous estimées.

Les ressources de pétrole et de gaz sont bien là, et leur existence ne saurait être mise en doute, et constituent un ensemble de familles d'hydrocarbures aux caractéristiques variées. Ce n'est pas pour autant que leur mise en valeur puisse suivre le rythme d'une demande qui n'est pas soumise aux mêmes contraintes.

L'addition simpliste des différentes familles d'hydrocarbures, en faisant l'impasse sur leurs qualités et en particulier sur leur potentiel énergétique, traduit une profonde méconnaissance de la réalité. Ne pas tenir compte du facteur temps dans les grands projets, avec son corollaire sur le montant des investissements, est une autre fréquente cause d'échec.

Dans un tel contexte, complexe et évolutif, la courbe de la production pétrolière mondiale ne peut que revêtir un profil de plateau indécis et fluctuant. La belle courbe en cloche des Etats-Unis, réalisée avec le succès que l'on sait par King Hubbert en 1956, semble être un cas particulier : elle figure un ensemble géopétrolier, certes diversifié, mais connu et limité dans son extension géographique, durant une période relativement courte.

La situation mondiale est différente. Nos connaissances des bassins sédimentaires sont encore limitées, en particulier en ce qui concerne les domaines marins et arctiques : nous en avons la preuve encore récemment. Par ailleurs les progrès de nos connaissance scientifiques, de nos innovations, de notre maîtrise des nouvelles technologies, ne cessent d'étendre le champ de nos investigations, tant en exploration qu'en méthodes de production. L'exploitation des gaz, peut-être d'huile, de schiste en est le dernier exemple.

Il est clair, dans ces conditions, que les courbes de production mondiales d'hydrocarbures, ne peuvent qu'esquisser des plateaux irréguliers et que leur sommet ne saurait déterminer la moitié de l'extraction des réserves ultimes, une entité qui devrait être revue à la hausse.

On ne saurait cependant tomber dans un optimisme béat. Les champs géants qui assurent aujourd'hui une très large part de notre production, n'en continuent pas moins à voir leur production décliner au rythme de 5 à 6% l'an. La mise en route de nouvelles technologies en

exploration comme en production ne peut qu'allonger la durée du plateau et atténuer le déclin, sans écarter l'éventualité d'un arrêt d'exploitation des hydrocarbure non conventionnels, aussi brutal que leur montée en puissance.

On ne peut en outre oublier l'impact croissant de politiques, volontaristes ou non, de maîtrise de la demande, sous l'effet conjoint d'une saine lutte contre les pollutions et d'une prise de conscience raisonnée de l'inexorable épuisement des ressources fossiles, par essence non renouvelables,à notre échelle de temps.

Shale oil et autres non conventionnels dans une perspective géologique.

L'exploitation spectaculaire des « oil and shale gas » aux Etats Unis ne doit pas nous faire perdre de vue quelques découvertes plus ou moins anciennes, qui apparaissent aujourd'hui comme des précurseurs. Leur exemple peut faciliter la compréhension de ces nouveaux hydrocarbures : un regard sur le passé, même rapide, peut faciliter notre appréhension du présent.

Replaçons-nous d'abord dans le cadre simpliste d'une histoire encore jeune. Certes, dès la préhistoire, les hommes ont utilisé des produits noirs et visqueux pour leurs usages domestiques. A cette longue phase de cueillette a succédé, au cours du 19^{ème} siècle, une recherche plus élaborée, avec le creusement de puits, d'abord « à la main », par forage mécanique ensuite, puits implantés au voisinage immédiat des suintements de surface qui alimentaient la collecte préhistorique. C'était là une approche directe.

Le constat de certains résultats amène ensuite quelques prospecteurs plus perspicaces à suggérer une relation entre la présence d'une accumulation et certains traits tectoniques de surface ce fut, avec l'introduction de la « théorie anticlinale », l'entrée de la géologie dans la prospection pétrolière, nouvelle phase que l'on peut qualifier d'approche indirecte : on ne recherchait plus en effet directement le gisement lui-même, mais le gîte où les hydrocarbures avaient pu se faire piéger et se concentrer.

Alors que les hydrocarbures devenaient rapidement la première source d'énergie, objet elle-même d'une demande sans cesse croissante, les progrès des techniques, en premier de la prospection sismique, permettaient peu à peu de déchiffrer l'architecture du sous-sol, en mettant en évidence des anomalies structurales pouvant abriter des accumulations d'hydrocarbures : c'est ainsi que furent découverts, et que l'on découvre encore, les grands gisements qui assurent aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale.

La nature n'est pas avare de complexité, et les anomalies géologiques sont légions! Des prospecteurs bons observateurs ne furent pas sans remarquer certains gisements dont l'ordonnance semblait échapper aux règles reconnues. Par exemple, on reconnut des cas où le brut, mais aussi le gaz, étaient certes bien présents dans une formation donnée, mais indépendamment des situations structurales ou stratigraphiques. Ils imprégnaient solidement une couche, sur de vastes superficies, mais ne s'en laissaient extraire qu'avec peine, à des rythmes de plus en plus modestes.

On constatait cependant, au gré des faciès, que certaines zones se montraient moins réticentes. Rappelons-nous :

□ Relisons d'abord notre bible pétrolière, « Petroleum Geology » du grand Levorsen : page 118 de l'édition 1956, le « Spraberry trend », découvert au début des années 1950 dans l'Ouest du Texas : la production vient de deux niveaux de silts et grès fins, encadrant un mince lit de marnes noires (shales), datées du Permien inférieur., et plus ou moins naturellement fracturées. Sur une superficie de 2800 km², des milliers de forage furent réalisés, pour produire une faible part du milliard de « barrels » reconnus en place : paradoxe, les zones les plus productives correspondent aux faciès les plus fins, aux milieux les plus confinés, la qualité de la roche mère prenant le pas sur les caractéristiques des réservoirs ;

- En 1963, les Russes découvrent en Sibérie occidentale le champ de Salym. La production provient d'une formation argileuse particulièrement riche en matières organiques, datée du Jurassique supérieur (époque bénie pour les milieux confinés), la formation Bajenov. Les volumes en place sont estimés à plus de 1 milliard de tonnes. Mais l'extraction est des plus difficiles, et après plusieurs années d'efforts, les réserves sont ramenées à quelque 50 millions ! Cette remarquable roche mère est aujourd'hui élevée au rang de « shale oil », et Shell et Exxon s'y intéressent ;
- Dans le bassin de Williston (Etats Unis, Canada), la formation Bakken est de longue date connue comme bonne roche mère d'une série de gisements structuraux. Elle est promue aujourd'hui au rang de grande « shale oil ». En fait, la production provient de deux petits niveaux de sables dolomitiques, peu perméables, mais aussi probablement, pour une plus faible part, des marnes elles-mêmes ;
- En 1978, c'est au Canada la découverte du gisement de gaz d'Elmworth, dans le synclinal de l'Alberta. Les grès compacts du Crétacé présentent en ce lieu une légère amélioration de la perméabilité qui permet des productivités de puits convenables. En outre, sur une vaste superficie, ces grès sont gorgés de gaz, bien que situés au-dessous de niveaux aquifères : ce sont des gaz non conventionnels (J.A.Masters 1984).

Tous ces gisements correspondent à une anomalie le plus souvent sédimentaire, les caractéristiques du sédiment pouvant induire une plus ou moins grande fractabilité dans une couche potentiellement roche mère, et portée au degré de maturation adéquat. Ces bruts et ces gaz ont la même origine, les mêmes compositions que ceux que l'on rencontre dans les gisements classiques, souvent de bonne qualité. La différence, c'est ici le contenant, la roche « réservoir », là nous constatons la concentration d'hydrocarbures dans les micropores de la roche, et la distribution de ceux-ci. Un peu à l'image des concentrations minières dans le sédimentaire: les convergences se présentent avec l'exploitation en carrière ou en mines des roches bitumineuses, porteuses d'hydrocarbures ultra visqueux, voire solides, résultant de profondes altérations ou d'une insuffisance de maturation. Ceci nous ramène aux premiers âges de l'industrie pétrolière (Péchelbronn, sous Louis XV!) .

Il va sans dire que ces formations compactes, très peu perméables dans la majorité de leur extension, ne peuvent donner que très faibles débits, sur de courtes durées, et finalement ne délivrer qu'une très modeste part des volumes en place. Ceci entraîne, en matière d'exploitation, une densité de puits élevée, des opérations de fracturation hydraulique très intenses et génératrices de fortes perturbations sur le terrain. En conséquence, de grosses difficultés sociétales.

La grande hétérogénéité des horizons producteurs, difficile sinon impossible à prévoir dans les implantations de forage, est la cause d'une rare imprécision dans l'extrapolation des résultats initiaux, et peut parfois mener à l'abandon des projets de développement.

Les succès, principalement aux Etats Unis, sont le fruit d'application de techniques connues, certaines depuis plus ou moins longtemps dans le contexte classique de l'industrie pétrolière : il ne s'agit pas de revenir à la méthode de prospection directe (au hasard, ou, comme on disait, au chapeau), et comme on le constate pour le cas très particulier des sables bitumineux, en attendant les schistes (« oil shales »). Dans ces nouvelles opérations, l'approche qui s'établit progressivement est pluridisciplinaire, associant un large éventail de connaissances de toutes natures, et aussi importantes les unes que les autres dans l'appréciation des prospects.

On est là dans un nouvel acte de la grande saga pétrolière. Une histoire qui va naturellement du simple au complexe dans l'exploitation d'une même famille d'hydrocarbures, dont les différents membres s'enchainent dans une difficile continuité. Une séquence où les lignes entre conventionnels et non conventionnels apparaissent floues et mobiles, le non conventionnel d'un jour devenant le conventionnel de demain au gré des progrès techniques et des aléas économiques et sociétaux.

Comment, dans cette perspective, ne pas inclure ces nouveaux gaz et pétrole dans nos schémas de production et nos estimations de réserves ultimes, la courbe de déclin de la première s'en trouvant atténuée , et le montant des secondes revu à la hausse, tous résultats éminemment sensibles aux évolutions économiques.

Publié :	Revue de l'énergie	610	nov-déc 2012
	Ingénieurs Géologues	99	nov 2012
	Géochronique	124	déc 2012

Energies renouvelables et transition énergétique.

« Dans un chemin montant, sablonneux, malaisé,
Et de tous les côtés au soleil exposé »...
Cheminaient une cohorte d'énergies renouvelables !

Des énergies naturelles, omniprésentes, vieilles comme le monde, remises à neuf et transfigurées par les technologies les plus sophistiquées ! Une renaissance, après ce qui pourrait apparaître comme la parenthèse des énergies fossiles. Un retour qui tombe à point pour assurer la grande transition énergétique qui nous attend. Des énergies physiques qui n'en gardent pas moins nombre de spécificités à la source de contraintes dans leur utilisation.

Les énergies fossiles carbonées sont des concentrés d'énergie constitués en des sites particuliers au cours de millions d'années. A l'inverse, les énergies renouvelables (ENR) se présentent de façon plus ou moins disséminées, à la surface de la planète. Les premières, matérialisées dans les trois états, solide, liquide, gazeux, peuvent être transportées et utilisées en lieu et temps voulus. Les secondes sont étroitement liées à la géographie et aux cycles du soleil, des vents et des marées. Les unes offrent toute une gamme d'énergies, les autres se limitent à l'énergie électrique.

Grandeurs.....

L'énergie géothermique est la seule ENR relevant exclusivement des ressources internes de notre planète : elle le doit à la radioactivité de constituants enfouis dans les profondeurs de notre planète. A des températures supérieures à 100 °C, les eaux natives ou injectées et leurs vapeurs peuvent être source d'énergie électrique. Dans certaines régions volcaniques, cette transformation a lieu à faible profondeur (Italie, Nouvelle Zélande, Philippines). Ailleurs, dans les fossés tectoniques, où les gradients géothermiques sont élevés, on peut atteindre ces températures au-delà de 3000 mètres, comme en Alsace : à Soultz sous Forêt, avec des injections d'eau et fracturation hydraulique entre deux puits voisins, on rencontre des températures de 175 °C, à quelque 5000 mètres de profondeur. C'est une opération complexe, difficile et chère, dont l'économie, ne serait-ce que l'autoconsommation énergétique, est discutable. Plus couramment, la géothermie est utilisée avec succès comme source de chaleur dans les grands bassins sédimentaires : en ces domaines, c'est la géologie qui mène le bal.

La grande majorité des ENR relève, de façon directe ou indirecte de l'activité solaire, très marginalement de la Lune.

Le soleil est d'abord source de chaleur, comme chacun le sait depuis longtemps. Par l'entremise de pastilles de silicium serties au sein de cellules photovoltaïques, un domaine propre aux recherches et innovations, le flux solaire est traduit en courant électrique, continu et transformé ensuite en courant alternatif. Pour la bonne marche de l'opération, un ensoleillement minimum de 1900 kWh/m²/an est recommandé. Le coût élevé, il y a encore quelques années, de l'opération, a été sensiblement abaissé, parfois aux dépens de la qualité, et de fabricants de panneaux solaires. Il n'en reste pas moins encore peu compétitif, comme on peut le constater à la lecture de sa facture EDF. La perspective de progrès significatifs est

sans doute ce qui a amené des multinationales comme Total à s'impliquer dans cette industrie, après les replis de Shell et BP.

Les applications indirectes du rayonnement solaire sont le résultat des variations de pression et de température de l'atmosphère terrestre, à l'origine des déplacements de courants d'air et d'eaux.

Les premiers, les vents, sont connus et utilisés de longue date. C'est, disait Alphonse Daudet en parlant du Mistral, la « respiration du bon Dieu » ! Avec leurs grandes ailes, les moulins à vent ont longtemps fourni une énergie mécanique appréciée. Avec des pales toujours plus longues, des trésors de technologie faisant appel à des « terres rares », les éoliennes modernes nous apportent de l'énergie électrique : une affaire qui marche allègrement lorsque le vent n'est, ni trop faible (vitesse supérieure à 10km/h), ni trop fort (vitesse inférieure à 90km/h). D'où leur installation, de préférence au voisinage de la mer, ou carrément au large, où leur puissance est en moyenne 2 à 3 fois plus élevée qu'à terre.

En matière de transport, si le vent a fait les beaux jours de la marine à voile, il n'intéresse plus guère que la plaisance et la compétition sportive.

Dans le domaine de l'hydraulique, les turbines ont remplacé les moulins au fil de l'eau, l'énergie électrique se substituant là aussi à l'énergie mécanique. Avec les retenues d'eau d'un barrage, l'énergie peut être stockée. Dans les pays développés, les possibilités de nouveaux projets sont limitées, et les écolos font bonne garde. Dans le reste du monde, la situation est plus ouverte, mais les sites d'exploitation sont souvent éloignés du marché.

.....**et servitudes.**

Par leur étroite liaison avec les phénomènes naturels, les ENR présentent des particularismes géographiques et des contraintes naturelles qui sont autant d'entraves à leur utilisation.

C'est l'intensité de l'ensoleillement et l'intérêt des pays désertiques pour les unes, la régularité des vents et l'avantage de la mer pour les autres, des zones de production souvent éloignées des lieux de consommation. La plus grande centrale solaire est logiquement construite à Abu Dhabi, les parcs éoliens de l'Allemagne sur les côtes baltique ou de mer du Nord. Ce qui implique, dans ce dernier cas, la construction de 2000km de lignes à haute tension pour alimenter les centres industriels plutôt concentrés au Sud : avis aux écologistes.

Le caractère intermittent de toutes ces ENR pose d'autres problèmes. Alternance régulière et donc prévisible pour le solaire et les marées, irrégulières et imprévisibles pour l'éolien, qui, en fait, ne fonctionne en moyenne que 20 à 30% du temps : des faits qui nous obligent à ne pas confondre puissance installée et énergie produite. Ce sont là des lacunes d'utilisation qu'il importe de compenser par d'autres sources d'énergie, c'est-à-dire en fait par des énergies fossiles. C'est ainsi qu'en Allemagne charbon et lignites assurent aujourd'hui 45% de la production d'électricité, et que le Danemark, champion de l'éolien, est un des gros émetteurs de CO₂ de l'Europe. Sans parler d'une nouvelle organisation des réseaux électriques.

Comme le notait Francis Bacon il y a un peu plus de trois siècles : « On ne triomphe de la nature qu'en obéissant à ses lois », et, serait-on tenté d'ajouter « à ses caprices ».

Pour la transition énergétique.

La transition énergétique est une vraie révolution économique et sociale, probablement la grande affaire du XXIème siècle. Aussi devons-nous la traiter avec tout le sérieux qu'elle mérite, de façon globale et réaliste, en prenant un certain recul. Nous devons considérer aussi bien la problématique de la demande que celle de l'offre, le côté technique comme les approches sociétales, le tout dans une prospective à moyen long terme, ce qui paraît à l'encontre de certains scénarios, aussi utopiques qu'irréalistes.

Cette transition arrive fort opportunément à la rencontre de deux grands courants de pensée, ou de préoccupations.

D'un côté, nous sommes en effet en présence d'une volonté politique, fort heureuse, de lutte contre la montée des pollutions de toutes sortes qui envahissent notre environnement, pour ne pas dire notre vie. Sur ce théâtre les ENR apportent des éléments de solution indispensables, mais non exclusifs, leurs spécificités et leurs lacunes en témoignent.

De l'autre, l'opinion mondiale commence à bien prendre conscience de l'épuisement des ressources fossiles, et partant, de la nécessité de les utiliser avec parcimonie. Les derniers succès pétroliers, notamment en mer profonde, autant que la maîtrise des pétroles et des gaz de roche mère, si significatifs soient-ils, ne doivent pas faire illusion. Ils ne peuvent que prolonger quelque peu le plateau de production et atténuer la pente du déclin à venir. L'exploitation de ces ressources ne saurait représenter dans l'histoire de l'humanité qu'un grand cycle de développement, sans doute exceptionnel, dont les « Trente Glorieuses » constituent peut-être le couronnement. Sur une planète aux ressources fossiles limitées, une croissance résultant de leur exploitation ne peut avoir qu'un temps. Il nous faut apprendre maintenant à trouver les relais nécessaires, si l'on ne veut pas retomber dans un nouvel « âge de pierre », prêchés par quelques bons apôtres.

La route qui s'ouvre devant nous est certes semée d'embûches de toutes sortes, les administrations n'étant pas les dernières à dresser forces principes, règles ou directives plus paralysantes que sécurisantes. Mais faisons confiance au génie humain, qui nous a mené où nous sommes. Laissons-le prendre des risques sans lesquels il ne saurait y avoir de progrès. Et souvenons-nous de ce sage conseil que Confucius recommandait il y a quelques 25 siècles : « Qui ne se préoccupe pas de l'avenir lointain se condamne aux soucis immédiats ».

Publié Bull AREP oct 2013

De l'art-ou des difficultés- de dénommer les phénomènes naturels, géo pétroliers en particuliers

Décrire, définir, classer est l'objectif de toute science. C'est aussi une base précieuse de toute activité professionnelle. L'ennui, si l'on peut dire, est que les phénomènes naturels, sont naturellement changeants, instables, et, partant, difficile à cerner. Les géosciences pétrolières ne font pas exceptions à cette règle.

En la matière, trois composantes sont à considérer : les hydrocarbures, c'est-à-dire le contenu, la roche qui les abrite, le contenant, et le contexte géologique, qui assure leur concentration.

Les premiers constituent une grande famille, essentiellement formée de C (carbone) et de H (hydrogène), s'échelonnant d'espèces pâteuses, voire solides, aux formes les plus volatiles, avec une large gamme de liquides aux multiples aspects. Les représentants gazeux peuvent être constitués d'une molécule avec un seul C, alors que les produits les plus lourds, aux structures complexes, s'encombrent de composés azotés, sulfurés, ou autres. La continuité, dans ces divers représentants de la famille est pour une bonne part la conséquence de leurs réactions aux facteurs extérieurs, pression, températures, ou agents météoritiques et biologiques.

Dans la genèse des hydrocarbures, on part ainsi des molécules complexes du kérogène de la roche mère vers des structures de plus en plus résistantes aux contraintes extérieures, c'est à dire plus simples, plus légères, plus volatiles. A l'autre bout de la route, l'action des agents météoritiques et bactériens se traduit par la formation d'huiles de plus en plus lourdes, et finalement des bitumes solides.

Dans ce complexe cheminement, une mention spéciale doit être faite aux schistes bitumineux (« oil shales »), ces roches mères qui n'ont pas achevé leur fabrication d'hydrocarbure, et associent, en proportions variables, kérogène plus ou moins transformé et brut néoformé. A l'autre bout de la chaîne, les agents météoritiques et bactériens peuvent attaquer les bruts, les altérant sous forme de bitumes plus ou moins pâteux, et même solides. A nous de fixer des limites arbitraires entre ces différents représentants de la famille, certains étant même classés dans le registre non conventionnel.

Tous ces hydrocarbures se trouvent au sein de roches « contenant », qualifiées classiquement de roches réservoirs. Celles-ci sont caractérisées par leurs qualités de porosité, de perméabilité, c'est-à-dire présentant des vides communiquant entre eux et des fissures permettant aux fluides de circuler. Ces roches étant le résultat de milieux de dépôts variables, leurs qualités pétrophysiques sont amenées à varier plus ou moins rapidement passant de véritables réservoirs à des ensembles compacts, le tout toujours en continuité.

Les progrès des techniques de forage et de production permettent aujourd'hui d'extraire des hydrocarbures gazeux, et même liquides, de roches compactes où ces fluides sont restés prisonniers, adsorbés à la surface des minéraux. Une situation que l'on peut considérer comme non conventionnelle. Mais il suffira d'une anomalie de sédimentation, une lentille ou une passée plus détritique, pour avoir un contexte quasi conventionnel. C'est le cas du gisement d'Elmworth, dans les grès crétacés du grand synclinal de l'Alberta, considéré comme le site d'une accumulation non conventionnelle de type « tight ».

Un cas assez voisin est représenté par la formation Bakken du bassin de Williston. Cette roche mère reconnue présente dans sa masse une mince passée dolomitique faisant office de roche réservoir. Un ensemble rangé dans les non conventionnels, un peu anomalique....

Troisième composante des accumulations d'hydrocarbures, leur mode de concentration ou leur type de piégeage. Au départ, la distinction semble évidente entre les conventionnels et ceux que l'on considère comme ne l'étant pas. Les premiers sont concentrés au sein d'une anomalie structurale ou sédimentaire, dans un piège aux allures géométriques, pour faire simple, et constituent un gisement.

Dans les « accumulations » non conventionnelles (il faudrait trouver un terme différent !) les hydrocarbures sont répartis à l'état diffus, tout au long de la roche mère ou d'une formation compacte, sur une surface pouvant s'étendre à l'échelle des bassins sédimentaires. Mais là aussi des particularités structurales ou sédimentaires peuvent transformer localement cette accumulation non conventionnelle en accumulation quasi classique. Ainsi le champ de Salym, en Sibérie occidentale, productif dans la roche mère Bazhenov, en situation anticlinale, a pu être assimilé à un champ classique. De la même façon, les variations de faciès des turbidites de l'éocène du complexe de Chicotepec au Mexique ont formé des zones plus productives, assimilables à des gisements classiques, au sein d'un ensemble détritique à très faible perméabilité que l'on est tenté de considérer comme non conventionnel. D'une façon plus générale, des variations de faciès de la roche mère peuvent amener à des concentrations de matière organique s'apparentant à un gisement.

A ces considérations sur le flou des données, et, en particulier, des phénomènes géologiques, se superposent les variations, pour ne pas dire les progrès de la maîtrise des opérateurs. Ce qui introduit une variable supplémentaire. Le domaine de l'off-shore en est un bon exemple, avec le report successif de la « mer profonde » à 200, 1000, 1500 m (?). Ainsi le non conventionnel d'hier devient-il le conventionnel d'aujourd'hui.

On le voit, il y a aujourd'hui, et il paraît difficile qu'il en soit autrement, beaucoup d'arbitraire dans nos définitions et nos limites. Et l'arbitraire ne facilite pas le consensus, un objectif bien utile si l'on veut dialoguer et aller de l'avant.

Dans ce contexte, il paraît utile, pour ne pas dire fondamental, de chercher à se mettre d'accord sur quelques principes généraux concernant tant les hydrocarbures que la roche les contenant, en particulier le type de relation physique entre le fluide et le minéral. Ce sont là des données de base intangibles. Et laisser de côté le facteur faisabilité qui est, par essence, variable. La frontière limitant les hydrocarbures conventionnels ou considérés comme tels est fort difficile à tracer. Ce qui n'est pas une raison pour ne pas essayer de se mettre d'accord sur un certain nombre de points.

Petite trilogie pétrolière... (Bulletin de l'AREP 153. Janvier 2014)

Et d'abord une marche par monts et par vaux

Dans un premier temps le pétrole est recherché dans les paysages vallonnés où les activités tectoniques laissent filtrer à la surface de faibles suintements de pétrole, ou imprégner quelques roches bitumineuses.

Quelques années passent, et les géologues commencent à cartographier les plissements de ces terrains de ces mêmes pays où le pétrole a pu se faire piéger.

Dans un deuxième âge, une génération plus tard, les progrès des méthodes sismiques permettent de déchiffrer un peu l'architecture profonde des bassins sédimentaires, et souvent de découvrir de nouveaux bassins occultés par de vastes plateaux ou par de grandes plaines alluviales, ces domaines souvent subsidents où les hydrocarbures prennent naissance. C'est le temps des super découvertes du Canada occidental, de Russie méridionale, de l'Ouest sibérien, du Sahara, et bien sûr, de la péninsule arabique. Des trésors qui sont pour une grande part à la source des Trente Glorieuses.

Il était naturel de rechercher le prolongement de ces provinces sous une mer voisine, sur le plateau continental, mais aussi d'imaginer des bassins nouveaux, entre continents, comme la mer du Nord : en montant des appareils de forage sur des barges aux grandes jambes, ces opérations sont menées vite et bien.

Dans un troisième temps, pour aller plus loin, c'est-à-dire plus profond, il fallait une rupture technologique afin de répondre à la rupture de pente du plateau continental : vint l'invention des barges semi submersibles. Et là, les forages, après la sismique, découvrent des domaines sédimentaires inconnus, riches de gisements de tailles relativement modestes, mais en nombre suffisants, semble-t-il, pour compenser un temps, le déclin des champs géants des décennies 50-60. En s'avancant toujours plus au large, des forages très profonds ont même débusqué, bien protégés sous une épaisse cape de sel, quelques champs géants, remontant aux préludes de l'ouverture de l'Atlantique.

Ou....une valse en trois temps ?

On sait que, sur un plan plus académique que théorique, la formation des gisements d'hydrocarbures, long aboutissement d'un système pétrolier complexe, peut être assimilé à une pièce en trois actes, cadre elle-même d'une exploration prenant l'allure d'une valse en trois temps.

Premier acte :

Scène 1 : dépôts de sédiments fins riches en matières organiques, dans un milieu confiné humide .

Scène 2 : enfouissement progressif de ces dépôts soumis ainsi à des températures croissantes transformant les molécules organiques complexes en noyaux et chaînes d'hydrocarbures plus résistantes.

Deuxième acte :

Scène 1 : les hydrocarbures fraîchement générés et les eaux les baignant, sous l'action des pressions croissantes, sont pour une partie expulsés de leur roche-mère vers des fissures et des roches poreuses plus accueillantes au sein desquelles

-Scène 2 : elles circulent, éventuellement jusqu'aux affleurements où elles se dégradent ou se perdent.

Troisième acte :

Une partie des hydrocarbures migrants est arrêtée dans sa marche par des barrières, biseau de couches réservoirs, écran d'une faille ou tout simplement repli de la strate réservoir sous forme de dôme ou d'anticlinal, où ils s'accumulent.

Tout naturellement, l'exploration pétrolière, après une première approche directe de type minier classique, appliquant les disciplines géologiques puis géophysiques, a cherché à définir puis localiser ces pièges où le pétrole et le gaz pouvaient, puis devaient, se réfugier. Première (dé)marche classique.

Dans un deuxième temps, sur le plan industriel, face à l'épuisement progressif du nombre et du volume de ces gisements conventionnels, l'exploration-production s'est (re)turnée vers les vastes accumulations d'huiles extra lourdes et de bitumes, connues à l'affleurement ou à faible profondeur en quelques pays. Non conventionnel première manière.

Troisième et dernier (?) temps, remontant carrément à la source, l'exploration s'attaque résolument à l'extraction des hydrocarbures restés à l'état diffus dans la roche-mère. Du grand « non-conventionnel ». Retour aux sources ou récupération des restes ?

Une valse (ou une retraite ??) en trois temps.

Mais peut être préférez-vous une simple ballade ?

On se rappelle qu'à l'origine les hommes ont exploités le pétrole, ou plutôt le bitume extrait des sables et des schistes imprégnés affleurant ou formant des suintements à la surface du sol. On exploite alors ce que l'on voit.

C'était le premier jour.

A la fin du XIX^{ème} siècle, des prospecteurs perspicaces remarquent certaines relations entre une accumulation pétrolière et des formations géologiques de surface. Ils inventent le concept de piège. Le géologue, bientôt aidé par le géophysicien, entre en scène, promulguant la théorie anticlinale, avec le succès que l'on sait. On recherche dès lors un objet de type géométrique, d'origine structurale ou sédimentaire, où le pétrole est susceptible de se trouver. C'est le deuxième jour.

Au cours des années 1970, des géologues mettant à profit les avancées des sciences de la Terre, en particulier la géodynamique des bassins sédimentaires, fille directe de la tectonique des plaques, la géochimie et autres géosciences, imaginent le concept de système pétrolier. Avec cette approche dynamique, on introduit une logique des phénomènes géo-pétroliers. On ouvre la porte aux modélisations. On recherche dès lors des hydrocarbures là où ils devraient être.

C'est le troisième jour.

A l'aube du 21^{ème} siècle, le constat des données quantitatives relatives au rendement des systèmes pétroliers, et la perspective d'un épuisement des réserves classiques font apparaître et prendre en considération le volume des hydrocarbures demeurés au sein des roches mères. Et l'on se met à rechercher ces huiles et gaz de « schistes », directement, là où ils se terrent.

C'est le quatrième jour.

Et déjà, certains, lassés de tant d'efforts pour déterrer ces combustibles d'un autre temps, s'en vont rechercher les faveurs du soleil (à l'origine finalement des hydrocarbures) et du brave Eole !

Serait-ce le cinquième jour ? Le jour de repos ?

En fin de compte, quel que soit l'angle de prise de vue, n'est-ce pas l'homme qui se grandit en luttant pour maîtriser une nature qui lui résiste et lui impose le respect ?

Les huiles et gaz non conventionnels en perspective géologique.

La science a pour objet de définir et d'expliquer des phénomènes que la nature semble se complaire à emmêler et à associer par de multiples figures de transition, assurant leur continuité.

La géologie pétrolière ne fait pas exception. Conséquence de la formation et des déformations successives de bassins de sédimentation au cours de son histoire, les phénomènes de diagénèse d'abord, d'altérations ensuite, de tectonique çà et là, ne cessent de faire varier les caractéristiques propres tant des hydrocarbures que des roches les contenant. Les transformations incessantes de ce couple modifient aussi bien les spécificités des fluides que celles des réservoirs, et partant le potentiel du flux que les taux d'extraction.

On peut ainsi reconnaître une succession logique de différents types d'hydrocarbures, suivant le stade d'évolution du bassin, conventionnels et non conventionnels. En ce qui concerne plus particulièrement ces derniers, on peut schématiquement distinguer trois grands groupes, tout en assurant la continuité de la chaîne.

Prenons d'abord le problème dans son ensemble, et d'abord d'un point de vue évolutif ou historique, en commençant par les huiles.

Les formations roches mères sont à l'origine des dépôts vaseux associant intimement particules organiques et minérales. Au fur et à mesure de leur enfouissement sous de nouveaux dépôts, et soumises à des températures croissantes les molécules complexes et peu stables évoluent vers des formes plus simples et plus résistantes, représentées notamment par diverses chaînes associant carbone et hydrogène, à la base des diverses structures moléculaires des hydrocarbures que distinguent les chimistes.

Ces roches mères sont généralement de couleur sombre, d'allure argileuse, particulièrement riches en matières organiques et en molécules complexes.

Les plus évoluées représentent les schistes bitumineux (oil shales), dénomination trompeuse qui tendrait à les rapprocher des sables bitumineux, produits d'altérations diverses, que nous allons rencontrer à l'autre bout de la chaîne. Ce sont plutôt des prématurés, auxquels il a manqué un dernier passage au four, et plus ou moins affiliés, par le biais des charbons bitumineux, à la famille voisine des charbons. Elles ont fait l'objet d'exploitation dans le passé, et reviennent régulièrement d'actualité, là où elles présentent des concentrations élevées d'hydrocarbures à faible profondeur. Mais la nécessité d'une pyrolyse pour achever le travail de la nature constitue un handicap économique sérieux. On peut néanmoins les considérer comme des produits hydrocarbonés non conventionnels de première génération.

Une deuxième famille de non conventionnels est représentée par des hydrocarbures légers qui n'ont pas pu s'extraire de leur roche mère. La connaissance des systèmes pétroliers, et en particulier leur très faible rendement, nous apprend que ces produits de qualité, générés mais restés en place, représentent des volumes très importants. N'ayant pu circuler, ils s'étendent tout au long de la roche qui leur a donné naissance. Couvrant des superficies importantes ils se présentent ainsi à l'état diffus, au sein d'une même couche, avec des concentrations variables, en fonction de notamment de leur richesse en matière organique, de leur maturation, et de la fractabilité de la roche.

Leur exploration et leur exploitation relèvent de techniques et de pratiques bien différentes des opérations classiques. Il ne s'agit plus en effet de localiser un objet, une anomalie géologique mais, un peu à la manière de la géologie minière en domaine sédimentaire, de rechercher par approximation les zones les plus riches présentant le meilleur contexte d'exploitation. Il est clair que les données géologiques, et notamment les

caractéristiques sédimentaires et pétrophysiques de la roche déterminent les spécificités pétrolières, tant du point de vue des débits que des pourcentages de récupération, des valeurs d'un autre ordre de grandeur que ceux des exploitations classiques.

La continuité de ces couches productrices ne doit pas faire illusion et se traduire par une généralisation hâtive des premiers résultats. L'étendue de ces formations n'est pas à l'abri de larges variations de faciès, à l'origine d'autant d'anomalies et d'hétérogénéité. Toute estimation sérieuse de ces ressources, et a fortiori des réserves, doit reposer sur des données de forage. Autrement les illusions et les déceptions pourraient être à la hauteur des chiffres annoncés !

Ces huiles de roche mère (ou shale oil), rendus accessibles et rentables par l'utilisation systématique de techniques éprouvées peuvent être considérées comme des hydrocarbures non conventionnels de deuxième génération.

Les huiles extra lourdes et les bitumes qui constituent le ciment de certains sables (tar ou oil sands), qui se présentent généralement en affleurement ou proches de la surface, usuellement qualifiés de non conventionnels, peuvent être considérés comme de troisième génération. Ces produits noirs, visqueux, sinon solides, sont, à la différence des schistes bitumineux, le résultat d'altérations météoriques ou bactérienne, et sont en quelque sorte en fin de vie, ayant perdu une partie de leur potentiel.

Ces produits dégradés reprennent de l'intérêt vu l'ampleur de leurs dépôts. Leur exploitation, tant en carrière que par forage, présente des caractères propres qui tendent à les apparenter à une industrie minière. Contrairement à l'exploitation des hydrocarbures de roches mères, qui se fait pratiquement à flux tendu, celle de ces roches bitumineuses impose de gros investissements, gage d'une production limitée en volume mais de longue durée.

On notera, incidemment, que les hydrocarbures non conventionnels exploités jusqu'ici en carrière sont généralement désignés en premier par le terme concernant la roche : schiste, sable, calcaire bitumineux, faute bien souvent de pouvoir déterminer l'origine du second terme

Voyons maintenant le cas des gaz :

Celui-ci est plus simple, leur caractère, conventionnel ou non, relevant essentiellement des propriétés de la roche constituant le contenant. Tous les gaz, quel que soit leur origine, biologique ou thermique, sédimentaire ou mantellique, sont en effet constitués essentiellement de méthane, dont seule la composition isotopique du carbone peut déceler leur origine.

Celle-ci révèle cependant deux états. Le premier, résultat d'une activité biologique te plus précisément bactérienne, l'autre, largement majoritaire, produit d'une transformation thermique, celle-ci pouvant se réaliser à partir d'hydrocarbures liquides ou de charbon.

Dans tous les cas, la distinction que l'on peut faire entre gaz conventionnels ou non tient essentiellement aux caractéristiques pétrophysiques de la roche réservoir, et détermine les flux et les taux de récupération du gaz. Comme dans les cas des huiles non conventionnelles de deuxième génération, le qualificatif relève alors du contenant. Il s'agit donc plutôt de gisements, que d'hydrocarbures, non conventionnels.

La nature nous facilite parfois la tâche, en nous offrant des passerelles entre catégories différentes. De façon fort opportune, la géologie nous offre quelques phénomènes de transition, qui nous ouvrent quelques pistes : c'est ici la présence d'intercalations de silts ou de grès fins jouant le rôle de drains, là un régime ou un système de contraintes tectoniques facilitant l'ouverture de fissures, ou encore quelque autre anomalie géologique.

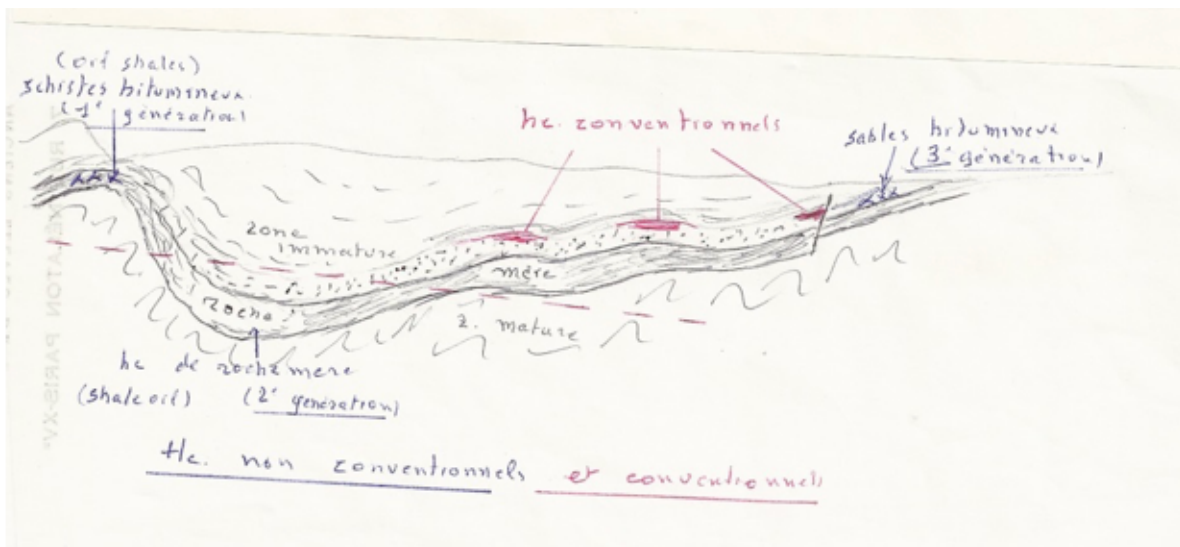
On se rappellera que l'exploitation des hydrocarbures (au sens large) a débuté par les produits qui ne nous paraissent pas aujourd'hui des plus rentables, sinon des plus faciles, tels

que les roches bitumineuses de différentes sortes. Faut-il rappeler l'usage des bitumes pour calfater les bateaux !

Avec les progrès des savoir-faire et des techniques, les pétroles et les gaz migrants, qui n'en finissent pas de se regrouper plus ou moins loin de leur roche mère au gré de l'architecture et de l'histoire du bassin sédimentaire ont nettement pris l'avantage, bien qu'ils ne représentent qu'une étape dans la longue histoire des hydrocarbures. Un avantage indiscutable, mais peut-être pas définitif, quand on prend conscience de l'importance des quantités de ces mêmes pétroles et gaz demeurés au sein des roches mères.

Des trois représentants de ces différentes générations de pétrole non conventionnels, les derniers venus semblent bien ouvrir les perspectives les plus prometteuses, en dépit des oppositions sociétales et autres. Nous n'en sommes qu'à l'ouverture d'une nouvelle scène de l'histoire pétrolière. Le progrès technique n'en est ici qu'à ses premiers pas. Et puis nécessité ne finit-elle pas par imposer sa loi !

En attendant concentrons aussi nos réflexions sur la terminologie de ces différents représentants, en essayant de parler le même langage, dans un esprit de consensus.



La saga pétrolière continue.

Nous avons fait un beau voyage....

Les feux de la seconde guerre mondiale à peine éteints, nous sommes repartis à la conquête d'un monde nouveau. La première moitié du XXème siècle avait vu la montée en puissance de cette nouvelle énergie, qui allait, pour partie, prendre le pas sur le charbon. A l'exemple des Etats Unis, puis du reste du monde, les nouvelles découvertes croissaient plus rapidement qu'une production grimpant néanmoins de quelques dizaines à quelques centaines de millions de tonnes par an.

Nombre d'entre nous sont entrés en scène dès la seconde moitié du siècle. Forts des derniers succès des géosciences et du rapide progrès des techniques de forage et de géophysique, nous sommes partis à la recherche de ce nouveau trésor, des sables arides des grands déserts sahariens aux profondes forêts gabonaises, des plaines enneigées canadiennes aux luxuriants rivages asiatiques, n'hésitant pas à nous avancer dans la mer côtière.

Avec la foi de la jeunesse, à défauts de l'expérience des vieux routiers nous avons déchiffrés l'architecture profonde des bassins inconnus, remontant dans le temps jusqu'aux premières roches mères de pétrole. Dans le même temps nos administrations, de fusions en créations de société, édifiaient pierre par pierre, celle qui allait devenir l'une des premières « majors » du monde.

En guère plus d'une génération, suite à de spectaculaires découvertes, la production pétrolière mondiale s'envolait à 2, puis 3 milliards de tonnes par an, constituant l'assise même des Trente Glorieuses. Cette belle aventure portait cependant en soi les germes de sérieux problèmes : c'était l'ouverture du troisième acte !

.....mais arrivons dans une zone de turbulence....

De tels succès ne pouvaient manquer de contre parties. Dès les années 70, les pays producteurs de ces nouvelles richesses ne pouvaient que prendre conscience de cette bonne fortune. En quelques mois ils décuplent la valeur de ce produit miracle, et, souvent, se l'approprient aux dépens de ceux qui l'avaient découvert...Et la production mondiale cessa sa hausse spectaculaire.

Cette croissance portait par ailleurs en elle-même des motifs de préoccupations, qui allaient devenir pour certains de réelles hantises :

-pour les uns, cette accélération brutale de la production ne pouvait qu'attirer l'attention d'esprits avertis, sur un épuisement rapide des réserves fossiles, par essence ni renouvelables, ni recyclables ;

-pour d'autres, la prolifération des gaz de combustion constituait autant d'agents de pollution dont on mesurait sans doute encore mal les ravages sur l'environnement et le devenir de notre Terre.

Sur la fin du pétrole, les déclarations d'excellents experts n'ont pas fait défaut dans le passé : toutes allègrement dépassées par la suite ! Des experts sûrs de leurs connaissances des champs et des réserves, mais souvent à court d'imagination et de confiance dans le progrès scientifique.

Ce n'est qu'en 1998 que Colin Campbell et Jean Laherrère, s'inspirant des études de King Hubbert sur le Etats-Unis en 1956, prévoyaient le proche déclin de la production mondiale de pétrole bon marché, et forgeaient le paradigme du « Peak Oil ». La suite confirmait leurs vues, tout en révélant l'abondance d'autres ressources pétrolières, d'exploitation complexe et chère. Des pétroles qui gonflèrent la case du non-conventionnel.

D'un autre côté, les nuisances résultant de la combustion des combustibles fossiles, et en particulier du pétrole, ont pris une dimension nouvelle quand on a reconnu leur rôle dans le réchauffement climatique, ce que traduit la dénomination de « gaz à effet de serre (G.E.S) » attribuée à leurs produits de combustion. Dès lors, leur réduction drastique, à défaut de leur suppression, devenait un objectif majeur.

Nous nous trouvons ainsi, en quelque sorte, en plein carrefour ouvert à tous les vents.

Pour les écologistes, et en cela, on ne saurait être contre, la protection de l'environnement, au sens le plus large, est devenue un impératif. A l'origine essentiellement scientifique, ce thème est aujourd'hui pour beaucoup un dogme où la politique et l'idéologie ont pris la place du pragmatisme et du consensus. En outre, les pièges et les contradictions sont sur ce terrain légions, telle mesure risquant de donner naissance à une nuisance nouvelle :

- par exemple, la construction d'un barrage pour fabriquer de l'électricité risque de noyer de belles terres champêtres, éventuellement fertiles.

- autre exemple, les forêts absorbent le gaz carbonique. L'exploitation du « charbon de terre », au XVIIème siècle, les avait sauvées d'une disparition programmée. Le retour actuel aux bioénergies renouvelables les remet en danger, puisqu'il faut dégager du terrain, sans toucher aux cultures vivrières.

Pour d'autres vigilants experts, fidèles héritiers du Siècle des Lumières, financiers audacieux ou économistes enthousiastes, notamment, seuls comptent vraiment les progrès des techniques et les envolées du prix des matières premières et de l'énergie. Pour ce courant de pensée, la problématique de la fin du pétrole n'a pas de sens. Le « Peak oil » est un mythe malthusien. Tout est affaire de progrès dans le cadre d'un marché omniprésent: la baisse actuelle du prix du brut les renforce dans leur optimisme.

Entre ces courants contraires, de plus en plus doctrinaires et radicaux, les géologues et autres techniciens de terrain ont une voie toute tracée où le réalisme et l'expérience doivent être de rigueur. N'allons pas jusqu'à sacrifier les activités humaines à la Nature et à ses petits habitants, si attachants soient-ils. Ne prenons pas prétexte de ces bons sentiments pour entraver des entreprises déjà engluées dans une montagne de réglementations, couronnée par un « Principe de Précaution » érigé en monument national.

Certes, ce n'est pas encore la fin des pétroles, et encore moins du gaz. Ainsi n'avait-on pas fait le tour complet des bassins sédimentaires, comme certains avaient pu le croire : des découvertes majeures ont été faites ces dernières années, d'autres suivront. Des domaines de

recherche en exploration et production, notamment du côté des roches-mères, se font jour, ouvrant de nouveaux horizons, toujours dans la perspective d'un accroissement du taux de récupération. Découvertes, sinon inventions, qui ont sans doute peu à voir avec les spectaculaires succès de la période des « Trente Glorieuses ». Des accumulations très diversifiées, généralement complexes sans être géantes, situées dans des environnements hostiles, dont l'exploitation demandera autant de temps que d'argent.

...à partir de laquelle il faut refaire la route.

Le voyage se poursuit, mais il faut refaire la route. Il nous faut changer de carburant, et peut être de moteur. Un changement progressif, mais profond, une relève de nos bonnes vieilles énergies par de nouvelles espèces, renouvelables. Un changement qui s'impose, nous l'avons vu, tant par la perspective d'un épuisement des premières, que par l'impérieuse nécessité de mettre fin aux pollutions engendrées par leur combustion.

Cette transition énergétique, opération de longue haleine, commence tout naturellement par des mesures d'économie, de réduction de la demande, notamment en diminuant les pertes, par exemple de chaleur, comme le projet de loi actuel s'en explique longuement, et aussi en améliorant l'efficacité énergétique. La pièce maîtresse de cette garde transition repose cependant, de façon plus positive, par le développement, en lieu et place des ressources fossiles, d'énergies physiques ou biogéniques, ubiquistes et renouvelables comme l'éolien, le photovoltaïque ou les agro-carburants.

En dépit des progrès et de nouvelles techniques qui assurent à certaines de ces anciennes énergies une nouvelle jeunesse, sinon une véritable renaissance, leur développement, si rapide soit-il, paraît loin de couvrir toute la gamme de nos besoins. Selon des scénarios présentés, parmi les plus optimistes de l'AIE, le solaire et l'éolien n'assureraient que 3,5% du mix énergétique mondial à l'horizon 2035. Pour d'autres, l'ensemble des EnR ne représenterait que 6% en 2040. Ces perspectives, qui peuvent paraître assez prudentes, laissent une large part aux énergies fossiles, et fissiles, à défaut d'imaginer d'autres ressources. Ceci nous montre la nécessité de ne pas relâcher nos efforts, notamment dans le domaine des hydrocarbures.

On le sait, les futures découvertes de pétrole et de gaz risquent le plus souvent d'être complexes sans être géantes, inédites et originales tant dans leur environnement spécifique ou général, que dans leur composition même. Leur exploration demandera davantage de temps et d'investissements que les opérations classiques que nous connaissons.

Et pourtant, nous avons tout lieu d'être optimiste sur la réalité de ce potentiel.

De telles perspectives, reposant sur de larges connaissances géologiques et techniques, confirmées par l'expérience de terrain et un pragmatisme reconnu, sont à la base du message que l'ASPO se doit de porter à la connaissance des politiques comme du public. Entre les prophéties catastrophiques des écologistes et l'optimisme indéfectible des politiques et de certains économistes, le message des géologues et des ingénieurs doit être clair et fort. Si ces praticiens, techniciens, chefs d'entreprise, n'ont pas la foi en un certain progrès, ne prennent pas de risques de toutes sortes, à l'encontre d'un principe de précaution devenu un bouclier emblématique, qui nous sauvera d'un déclin...inéluable pour beaucoup ?

Ne nous leurrions pas pour autant. La transition énergétique que nous abordons, est une opération de grande ampleur, longue et complexe. Elle ne saurait être menée à bien sans l'apport de nouveaux progrès scientifiques. Comme nous le rappelait récemment Nisl Ferguson (Civilisations, éditions Saint Simon) toutes les grandes civilisations se sont développées grâce au progrès des connaissances et des techniques, tandis que d'autres ont disparu en se refermant sur elles-mêmes. Faisons confiance à la richesse et l'esprit d'innovation de nos descendants !

Mais ne nous y trompons pas ; Cette transition énergétique pourrait modifier très sensiblement nos modes et styles de vie, à commencer par la décentralisation énergétique. Comme notait si bien Antoine de Saint Exupéry : « Chaque progrès nous a chassé un peu plus loin hors d'habitudes que nous avions à peine acquises »

Dialogue pseudo-réaliste entre Eco et Géo

Eco Votre « peak oil » me semble avoir pris du plomb dans l'aile, si j'en juge par cette chute du cours du brut de près de 50 % ces derniers mois. La production mondiale, avec la montée en puissance des « huiles de schiste » aux Etats-Unis, a continué à croître de 1,6 % ces dernières années dans un contexte économique où l'offre a cédé la place à la demande avec les aléas que cela comporte. Le roi pétrole a dû s'incliner devant la dictature du marché.

Géo L'AIE prévoit cependant un renversement de tendance pour 2015 et tout indique que nous sommes parvenus à un plafonnement de la production, en dépit d'un élargissement de la gamme des pétroles.

Eco La situation de l'amont n'est pour autant si sombre que certains de vos amis se plaisent à la décrire. Selon l'Explorer, une revue de l'AAPG, de janvier 2015, plus de 160 champs aux réserves supérieures à 500 Mbep auraient été découverts depuis début 2000. Le Golfe du Mexique, les grands offshore du Brésil et de l'Angola, pour ne citer que les principales provinces, retiennent l'attention. Et j'oubliais la découverte de deux nouvelles provinces au large l'Afrique de l'Est et en Méditerranée Orientale, des zones à gaz, semble-t-il.

Géo Il est exact que les offshore profonds, et en particulier le talus continental, concentrent des volumes de sédiments nettement plus importants que ce que nombre d'entre nous estimaient. Le lessivage de vastes continents comme l'Afrique, pendant des dizaines de millions d'années, a fourni des masses de dépôts au-delà du plateau continental. Et sur ces surfaces inclinées et instables, ces sédiments ont glissé, se sont résédimentés, donnant nombre de pièges structuraux. Mais ces pièges nombreux restent le plus souvent de taille moyenne. De plus la durée de leur mise en exploitation ne cesse de s'allonger, passant en moyenne de 12,6 à 14,1 années entre 2010 et 2014 pour les 5 majors. Pas un champ géant n'a été découvert dans cet environnement.

Eco Et les champs de Lula et de Libra, au large du Brésil, avec leur dizaine de milliards de barils, ce ne sont pas des géants ?

Géo Si, parfaitement, mais ils appartiennent à une société nationale très politisée et relèvent d'un autre système pétrolier lié aux premiers âges de l'ouverture des océans. Pour le moment on connaît encore mal leurs caractéristiques. On sait seulement qu'ils sont très profonds et leur exploitation se révèle ardue et chère.

Le résultat est que depuis les années 80 les nouvelles découvertes ne compensent plus les extractions. L'an passé les 5 majors n'ont remplacé que 84 % de leurs réserves.

Eco Et malgré cela, le montant officiel des réserves, comme les années de production assurées, ne baissent pas. Elles auraient plutôt tendance à augmenter avec la prise en compte des pétroles non conventionnels.

Géo Laissons ceux-ci de côté pour le moment et revenons sur la notion de réserves. Malgré toutes les réglementations édictées de par le monde, leur définition manque de rigueur, tant dans les espèces d'hydrocarbures prises en compte, que dans les finalités de présentation, ces données ayant pour beaucoup un attrait plus politique que technique.

Tout cela donne une impression d'abondance, bien propre à se gausser de la notion de « peak oil ». Mais regardons les choses de plus près.

Suivant une règle très générale, seulement retardée par le progrès des techniques et du savoir-faire, les belles prises sont reconnues et exploitées les premières. Au cours des campagnes, les découvertes se font plus rares et plus modestes. Le rendement de l'Exploration fléchit et le coût du baril découvert tend à augmenter. Avec ces conséquences, une récente statistique montrait que sur les 365 derniers grands projets supérieurs au milliard de Dollars, les deux tiers dépassaient le budget initial et, autre caractéristique importante, prenaient du retard. Autre exemple : de 2000 à 2013, la production pétrolière a progressé annuellement de 1,1 %, mais celle des dépenses correspondantes, de 15 %.

Eco La crise économique est passée par là et l'inflation des coûts, s'ajoutant à la faiblesse de la demande, semblent au cœur du problème.

Géo Oui, mais pas seulement. Des problèmes géologiques et techniques peuvent aussi allonger les additions. La mise en exploitation du champ géant de Kashagan, sur le rivage Nord de la Mer Caspienne, en est le plus récent exemple, sinon la caricature. Sa découverte remonte à l'année 2000, mais sa mise en production régulière est encore repoussée à l'an prochain, en raison tant des conditions de gisement haute pression – haute température, que de la composition des gaz, pour un budget total estimé aujourd'hui à 130 milliards de Dollars. Si les difficultés techniques se sont multipliées, on ne saurait présenter la gouvernance de cette opération entre majors, comme un modèle du genre.

Eco On à peine à imaginer le cours du brut rendant cette exploitation rentable... Et pourtant les divers scénarios de transition énergétique font encore la part belle au pétrole et au gaz, sensiblement le maintien à peu de choses près, de leur production actuelle pendant au moins deux décennies. Mais nous aurons alors le renfort des huiles non conventionnelles

Géo Cela est une autre histoire. Dans une nature éminemment complexe, les phénomènes géologiques font souvent preuve de subtiles continuités, alors que la science et la pratique commandent de précises définitions, en évitant la multiplication des termes de transition. Ainsi en est-il de la distinction entre hydrocarbures conventionnels et ceux qui ne nous semblent pas devoir faire partie de la famille.

Au point de vue géologique, qui semble devoir prévaloir en la matière, cette distinction repose à la fois sur la composition chimique du brut et sur les caractéristiques pétrophysiques de la roche le contenant.

Eco Je n'insisterai pas sur les bruts extra lourds et les sables bitumineux. Nous en connaissons les uns et les autres parfaitement les risques de pollutions relatives à leur production. Je n'exclus pas l'exploitation in situ par forage et le fait que l'on se trouve au Canada dans un pays politiquement stable, ce qui devient une rareté aujourd'hui.

Géo Nous ne pouvons qu'être d'accord sur ce sujet, conscient également du poids et de la rigidité des investissements nécessaires. Des produits, par ailleurs altérés, victimes aujourd'hui de la concurrence des bruts légers de roche-mère. Leur production annuelle, de l'ordre de 5 Mt, ne devrait guère augmenter ces prochaines années.

Eco Avant de passer à ces huiles de schistes (ou de roche-mère) nous pourrions dire un mot des schistes bitumineux, moins d'actualité, bien qu'ils aient été souvent à l'origine de l'industrie pétrolière.

Géo Ce sont pour l'essentiel des formations solides, proches des charbons, en réalité des proto roches mères, riches en matière organiques, mais n'ayant pas atteint, faute d'une histoire géologique ad hoc, ou de flux thermiques suffisants, un stade de maturation optimum, à l'exception de quelques zones particulières. De ce fait leur exploitation en tant que brut impose un apport d'énergie, dont le montant se soustrait au bilan final. Cette autoconsommation énergétique constitue une limite physique incontournable.

Eco Venons-en aux huiles et gaz de roches mères qui ont pris en quelques années une place majeure dans la production des USA, une révolution surprise qu'aucun expert n'avait prévue.

Géo C'est là la conséquence d'une technique bien maîtrisée et mise en œuvre sur une grande échelle. Mais pas seulement : cette nouvelle mise en scène s'inscrit en effet dans le contexte de deux sujets de réflexion : l'amélioration des taux de récupérations et les conséquences de l'analyse des systèmes pétroliers.

Eco Et une certaine pression de la demande, au moins pour les USA.

Géo Bien sûr, encore que la crainte d'une pénurie soit un peu prématurée, en dépit des fantaisies des marchés. Mais revenons à des réflexions géologiques.

Le relèvement des taux de récupération est l'une des grandes préoccupations de l'Exploration-Production. Ce taux, dont l'appréciation quantitative demeure toute relative, compte tenu de l'imprécision des volumes en place, met en balance deux critères : la fluidité du liquide d'un côté, les entraves de la roche réservoir de l'autre. L'élévation de température est efficace pour les bruts lourds dans le premier cas, l'amélioration de la perméabilité du réservoir dans le second, l'étude des contacts roche-fluide plus généralement. Ainsi est-on passé de l'exploitation des sables et des carbonates à celle des grès fins et argiles et schistes plus ou moins compacts, pour en arriver à l'extraction directement à partir des roches mères, même si les taux sont alors très faibles. L'analyse des rendements des systèmes pétroliers, c'est-à-dire la fraction d'hydrocarbures extraits de leur roche-mère pour alimenter des gisements classiques par rapport à ceux retenus sur place, révélait par ailleurs des valeurs particulièrement faibles, de quelques points dans les cas les plus favorables, ce qui ne pouvait qu'attirer l'attention sur les quantités restées en place.

Autrement dit, les bonnes roches mères détiennent des trésors d'huile et de gaz, généralement de bonne qualité que leur étendue à l'échelle d'un bassin faisait rêver ! Et les services géologiques de s'en donner à cœur-joie, et, après quelques rapides calculs d'aires et de pourcentages d'hydrocarbure, affichant des estimations de ressources qui apparurent bien vite quelque peu optimistes. Gaz et pétrole de roche mère sont bien une réalité, mais leur extension est sans doute plus réduite et plus irrégulière qu'annoncée.

On a bien calculé le plus souvent le potentiel de ces roches mères, en négligeant les caractéristiques pétrophysiques liées à la possibilité de fracturer la roche. La géologie est un tout dont on ne saurait ignorer un composant, un ensemble complexe qui ne se prive pas de variations, d'hétérogénéités, sinon de lacunes.

Eco Il n'en demeure pas moins qu'en dépit de toutes ces restrictions l'exploitation de ces pétroles de schistes connaît aux USA un développement spectaculaire. Mais seulement dans ce pays : y aurait-il là un particularisme géopétrolier ?

Géo Un particularisme pétrolier certainement, avec un régime minier favorisant l'initiative, une densité d'infrastructure et une culture pétrolière des plus riches. Mais un particularisme

géologique, je ne le pense pas ! Les provinces pétrolières des 48 Etats sont variées, elles ont fait l'objet d'explorations très poussées et elles sont bien connues : on n'y trouve rien d'exceptionnel au point de vue géologique. Il faut plutôt chercher du côté « surface », lié au régime minier et à un esprit d'entreprise volontiers pionnier.

Eco Sans oublier la baisse de la production locale et le déficit par rapport à la demande. Une situation qui se retrouve aussi dans d'autres pays consommateurs.

Géo Avec un temps de retard, comme pour toutes les questions pétrolières américaines. Et, de fait des recherches ont commencé dans certains pays européens, comme l'Allemagne et la Pologne. Malheureusement les premiers résultats ne sont pas à la hauteur des prévisions et plusieurs opérateurs ont commencé à se replier. Ils nous confirment que cette exploration sur de vastes surfaces n'a rien de général, et que la distribution des zones productives dépend étroitement de phénomènes géologiques variés, souvent hétérogènes, comme dans l'exploration classique, ce qui risque de se traduire par un grand nombre de provinces pauvres et par quelques rares très riches.

Eco Et la France ?

Géo Pour le moment, retranchée résolument derrière le « Principe de Précaution », gravé dans la Constitution, l'administration bannit toute tentatives, même de reconnaissance, laissant à quelques voisins le soin de la pourvoir éventuellement en carburant pour effectuer quelques sorties touristiques de plus : La France n'est-elle pas le pays des loisirs ! Mais c'est là au moins autant de ressources que nous laisserons à nos enfants.

En s'attaquant à l'ensemble de la famille des combustibles fossiles, et notamment aux hydrocarbures, des gaz aux roches bitumineuses, la profession pétrolière s'est profondément transformée pour répondre à une demande toujours vive, en dépit de la montée en puissance progressive des énergies renouvelables (EnR).

Eco En effet, selon le scénario central de l'AIE, le plus vraisemblable aujourd'hui, la demande mondiale d'énergie primaire devrait croître de 1%/an jusqu'en 2040. Dans ce bouquet d'énergies, la part du pétrole, bien qu'en léger déclin, devra être en partie compensée par une faible hausse de celle du gaz, ce duo représentant encore sensiblement la moitié de l'ensemble. L'optimisme des compagnies aériennes conforte cette perspective.

Géo. Oui, mais le maintien d'une telle production constitue un véritable challenge. Cela suppose, en toute première approximation, des accroissements de réserves, pour l'essentiel de nouvelles découvertes, de l'ordre de 2 à 3 Gtep/an, ce qui est loin de la moyenne de ces dernières années.

Eco Je reconnais qu'en ce qui concerne la France, ces perspectives sont peu en accord avec le schéma de notre transition énergétique, qui, faut-il le rappeler, ignore superbement les hydrocarbures. La situation me paraît plus réaliste pour le gaz, « boosté » par le développement des énergies intermittentes.

Géo Tout cela me paraît bien théorique. C'est Erik Orsenna, qui nous rappelle, dans « Un monde de ressources rares » : « nous vivons dans un monde complexe où nous heurtons à des finitudes », en ayant cependant soin d'ajouter : « c'est vrai que ces ressources sont finies, mais il y a une certaine élasticité dans le concept même de ressources ».

Eco N'oublions pas la merveilleuse créativité de l'esprit humain. Que de fois son imagination et son pouvoir d'innovation nous ont sorti d'une situation considérée comme une impasse. Voyez l'histoire du pétrole. N'a-t-on pas entendu régulièrement que l'on assistait à la fin de sa courte histoire. C'étaient tantôt des experts en manque d'imagination, prisonniers de leurs connaissances et de leurs expériences, tantôt des esprits malthusiens, victimes de considérations très générales sur la fin -et la faim- dans le monde.

Aujourd'hui, que voyons-nous ? Grâce à une application systématique de techniques, anciennes ou non, avec de nouvelles idées, de nouvelles ressources sortent de terre en quantités significatives !

Géo Oui, mais ces dernières découvertes d'huiles, le plus souvent conventionnelles, se présentent de plus en plus comme des accumulations complexes, dans des environnements toujours plus hostiles, et leur exploitation demande plus de temps et d'argent que les découvertes antérieures.

Les huiles de roche mère, (ou, comme on a tendance à les nommer aujourd'hui: LTO = light tight oil, faute de traduction satisfaisante à ce jour), se singularisent certes en ce domaine ! Leur production résulte d'un grand nombre de forages à déclin rapide, présente une flexibilité depuis longtemps perdue de vue dans les autres secteurs. L'exemple des Etats - Unis, où cette exploitation constitue actuellement un apport significatif ne saurait pour le moment être étendu à nombre d'autres pays producteurs. Pour ceux-ci, c'est à dire à l'échelle mondiale, cette nouvelle production, qui relève d'un modèle économique nouveau, ne saurait constituer qu'un appoint, certes non négligeable, mais seulement en mesure d'atténuer, sinon de compenser la baisse des productions classiques, comme l'ASPO, l'association pour l'étude du Peak Oil, l'annonce depuis plus de 10 ans.

Eco Nous parlons beaucoup de l'offre. Ne faudrait-il pas regarder aussi du côté de la demande, et de tous ces problèmes dits de « surface », qui me semblent prendre de plus en plus d'importance. Je pense notamment aux contraintes écologiques, aux aléas de l'économie, et, tout bonnement à ces égoïsmes très locaux du genre « nimby » (not in my back yard/surtout pas dans mon jardin), qui ne font, la plupart du temps que retarder les travaux et augmenter leurs coûts.

Je pense que nous sommes au seuil d'une ère nouvelle, dont on commence à voir les répercussions tant sur les grandes sociétés que dans notre vie de tous les jours.

Géo Ces transformations sont en effet déjà bien apparentes dans les compagnies pétrolières. Leurs découvertes, en dépit de risques géologiques toujours aussi présents, sont souvent exploitées par les compagnies nationales des pays hôtes, elles-mêmes efficacement épaulées par des sociétés de services internationales, de plus en plus intégrées, de la prospection au développement.

Les sociétés maîtres d'œuvre, et, en particulier, les majeures deviennent ainsi elles-mêmes, des sortes de super sociétés de service. La propriété de leurs découvertes, qui était leur caractéristique, disparaît avec la signature de contrats de partage de production. Leur avoir est devenu en quelque sorte un produit fiscal, une créance, dont la valeur, indexée sur le prix du pétrole, s'accroît quand le prix de celui-ci baisse, et inversement.

Eco C'est bien pour palier à cette situation que les multinationales, après quelques tentatives malheureuses dans l'industrie minière, s'engagent aujourd'hui sur la route, nouvelle pour elles, des énergies renouvelables, ce qui est également valorisant pour leur image dans le public. Mais il s'agit là d'insérer, à côté de recherches de plus en plus complexes dans leur

domaine propre, des techniques inédites pour elles. C'est alors toute l'organisation de l'entreprise, qui sera progressivement à revoir.

Géo On notera au passage que ces évolutions et transformations se répercutent, ou devraient se répercuter, dans le vocabulaire technique, l'extension de certains termes ayant atteint ses limites.

Ainsi, l'importance prise par les huiles et gaz de roche mère, après la maîtrise des réservoirs compacts, devrait-elle se traduire par un terme nouveau, celui d'accumulation ayant été forgé dans le cadre du piège pétrolier « classique ».

La distinction entre réserves et ressources prend un relief particulier avec la prise en considération d'hydrocarbures à l'état diffus dans la roche. Certaines expressions, comme la traduction de réserves en années de production, déjà toujours trompeuses dans le cas des pétroles conventionnels, perdent toute signification, notamment si l'on ne prend pas en compte le cours du brut. Quant aux taux de récupération, toujours sujets aux imprécisions du volume en place, ils n'ont plus guère de sens.

Eco Sans omettre la notion de réserve-actif des sociétés, dont nous parlions plus haut !

Géo La plainte est-elle encore longue ?

Eco Non, mais elle s'élargit et devient beaucoup plus générale. Cette transition énergétique que l'on nous propose à la sauce des énergies « vertes » ne peut manquer d'avoir de profondes répercussions sur notre vie quotidienne, modelant un nouveau style de vie, sinon son niveau. Il ne saurait être question d'un retour à l'âge de pierre, comme semblent le prophétiser, voire le souhaiter, certains, mais on ne peut échapper à un certain art de vivre, conciliant la poursuite d'un progrès raisonné, prenant en compte une réelle protection, ou conservation, de l'environnement, deux paradigmes qui depuis quelque deux siècles ne cessent de s'opposer.

Réduire notre consommation d'énergie carbonée présente d'ailleurs le double avantage d'épargner des ressources fossiles en voie d'épuisement et de restreindre, avec l'émission de gaz à effet de serre, une pollution aussi nocive dans l'immédiat qu'inquiétante dans l'avenir par ses conséquences imprévues sur la variation climatique et autres vicissitudes planétaires. L'heure est venue de reconsidérer la problématique de la croissance, de substituer au culte du toujours plus, qui ne peut conduire qu'à une impasse, une recherche et une pratique du qualitatif.

Ce sont là les bases de cette politique de développement durable qui pourrait servir de guide à un nouvel âge d'une humanité à la recherche de son devenir.

Géo Voilà une attitude bien nouvelle pour certains et difficile à adopter pour beaucoup. Mais je ne vois guère d'autre solution à long terme. C'est là une révolution qui demande un grand pragmatisme, à l'opposé des propos doctrinaire et un tantinet utopiques de nos supposés défenseurs de l'environnement. Et pour nous, une mission qui suppose autant d'imagination et d'innovations que de volonté et détermination.

Eco Encore faut-il éviter de nous laisser accaparer par les multiples attrait d'une actualité toujours plus pesante. Les extrapolations de courte durée, si séduisantes soient-elles, sont bien souvent de fausses pistes.

Gardons-nous aussi de nous satisfaire de la belle logique d'un savant raisonnement ou d'un modèle à première vue en parfaite harmonie avec le réel. Un simple fait nouveau, une hétérogénéité imprévue, peuvent rendre nos conclusions bancales.

Les faits ont rarement tort ! Ce sont plus souvent de telles anomalies qui sont à l'origine d'une nouvelle hypothèse, et nous rapprochent de la réalité. Des « règles » considérées comme admises ne sont souvent qu'une étape sur le chemin de la vérité. S'y tenir reviendrait à s'enliser dans une ornière stérile.

Géo J'ajouterai : gardons aussi cet esprit de liberté et de critique positive, sinon même impertinente, qui peut ouvrir de nouveaux chemins. Cet optimisme qui ne se laisse pas décourager par les premières difficultés, cette confiance dans l'avenir qui faisait dire à un auteur toujours d'actualité, Jules Verne : « ce qu'un homme peut imaginer, d'autres hommes pourront le réaliser »

Publié Bull AREP 157-158

Petite contribution aux réflexions de l'ASPO
« L'homme sage juge l'avenir par le passé. Sophocle »

Il n'est pas besoin d'être grand clerc pour savoir qu'en prélevant des parts d'un gâteau, si gros soit-il, celui s'épuise inexorablement jusqu'à disparaître. Et tel est le sort des réserves fossiles de notre planète. Quelques auteurs plus instruits ont formulé ce raisonnement en termes plus précis.

Le géophysicien King Hubbert, le premier, en 1956, observa que dans une région suffisamment vaste l'extraction d'une ressource fossile se traduirait par une courbe en cloche, qui est maximale lorsque la moitié a été épuisée. Fort de cette observation, il affirmait crânement que la production pétrolière des 48 premiers Etats des Etats Unis d'Amérique culminerait 13 ans plus tard, en 1969, ce qui se réalisât un an plus tard, en 1970 !

Un quart de siècle plus tard, en 1998, Colin Campbell et Jean Laherrère appliquèrent audacieusement la méthode à l'ensemble du monde. Il leur semblait que l'évolution des découvertes et de la production annuelle de brut considérée aujourd'hui comme, et leur potentiel limité. Constatant par ailleurs que « les découvertes mondiales ont été maximales au début des années 1960 » et que « 80% du pétrole produit aujourd'hui(en 1998) provenait de gisements découverts avant 1973 », il leur semblait que la méthode de Hubbert pouvait s'appliquer à l'échelle mondiale. Les auteurs complétèrent cette courbe de la production annuelle par celle de la production cumulée, qui donnait une bonne approche du montant des réserves ultimes (« La fin du pétrole bon marché » Pour la Science Mai 1998).

Ce succès de l'extension de la « loi » de Hubbert à un ensemble mondial suscita chez certains plus ou moins consciemment, l'idée que cette règle était valable de façon plus générale, sans trop se soucier des anomalies inhérentes à tout ensemble aux définitions incertaines, et d'élever le nouveau paradigme du « peak oil » à la production mondiale toute catégories.

Il était pourtant bien précisé par Hubbert qu'aucun évènement extérieur ne devait entraver le déroulement des opérations, tels que « proration, variations brutales des marchés, changements techniques notables... », ce qui devenait difficile à éviter sur plusieurs décennies.

La baisse de rendement de l'exploration, notamment la raréfaction des découvertes faciles, amenait progressivement les compagnies à étendre leurs recherches à des zones plus excentriques, à des milieux plus hostiles, comme les bassins du talus continental. Et ces « offshores » profonds, plus importants que les bassins du plateau, se révélaient aussi nettement plus prolifiques, même si le risque géologique était toujours présent. Bref, le monde pétrolier se révélait progressivement plus étendu que nous osions nous le représenter.

Comme l'écrit fort justement Erik Orsenna : « Nous vivons dans un monde qui est complexe, et nous nous heurtons effectivement à des finitudes ; c'est vrai que les ressources sont finies, mais il y a une certaine élasticité dans le concept même de ressources » (Un monde de ressources rares).

Les Etats-Unis d'Amérique, pays pétrolier par excellence, et bien spécifique, hors le Golfe du Mexique, ne sont guère avantagés à ce jour par leurs « offshores », tant pour des raisons

géologiques qu'administratives. Est-ce une raison d'un retour sur leurs bassins « onshores », avec le développement à grande échelle d'une nouvelle technique d'extraction du brut directement à partir de la roche mère ?

Cette pratique a très sensiblement contribué à faire remonter la production américaine, et par la suite à la déstabilisation du marché pétrolier, affectant ainsi le déroulement normal du cycle de cette nouvelle exploitation, avec son propre « peak ».

La gamme des différentes variétés d'hydrocarbures n'a ainsi cessé de s'élargir, parallèlement aux nouvelles extensions géographiques. Il en résulte des opérations de plus en plus complexes de plus en plus chères, mais aussi le plus souvent plus longues à mettre en œuvre, offrant ainsi des délais toujours plus longs à l'émergence d'évènements et de phénomènes perturbateurs, positifs ou négatifs.

Les premiers sont bien évidemment le résultat d'innovations, et de progrès et maîtrises techniques, qui ouvrent de nouvelles portes, bousculant les obstacles qui encombrant le chemin. Les seconds, le plus souvent « de surface » sont autant de freins et d'entraves qui ralentissent la marche en avant et du même coup l'harmonie des courbes prévues.

Il y a bien sur les mesures nécessaires de protection de l'environnement et de sauvegarde du patrimoine. Mais celles-ci dépassent parfois les limites du raisonnable, et tournent à la protection de l'individu. Il y a enfin, par-dessus le tout, les crises économiques qui freinent les uns et les autres.

Autrement dit, en termes de représentation, on constate que les premiers intervenants, positifs, contribuent à accroître les réserves, tant par de nouvelles découvertes que par l'augmentation des taux de récupération. Les autres, négatifs, sont la cause de retards, sinon de morcellement des opérations. Dans les deux cas, ces événements se traduisent par un allongement de la durée de l'exploitation, ce qui entraîne un prolongement du plateau de production, nous éloignant du déclin symétrique de la belle courbe de Hubbert, et du « peak » qui la couronne.

La transition énergétique a ainsi, en quelque sorte, fait précéder une volonté de transfert de modes d'énergie sur la raréfaction inéluctable des ressources fossiles. Cette situation n'est pas sans présenter certains risques, notamment en matière d'énergie, au cas où les énergies « renouvelables » ne parviendraient pas à répondre à la demande. Auquel cas, un recours- et un retour- aux énergies fossiles deviendraient nécessaires. Et cela doit nous inciter à nous tenir prêt, à garder une marge de manœuvre raisonnable. Ce peut être une piste de réflexion pour l'ASPO : la place de ces énergies « du passé », conventionnelle ou non, entre une expansion de la demande mondiale et le potentiel disponible des nouveaux acteurs.

Telle est, très schématiquement, ma façon de voir ces perspectives pétrolières.

La transition énergétique vue dans une perspective historique.

Un monde immuable.....

Pendant des millénaires, les hommes ont considéré que le monde était parfaitement stable et immuable, tel qu'en l'état où il avait été créé. Pour Aristote, par exemple, l'homme savait tout ce qu'il était important de savoir sur le monde. Les sages du passé possédaient un savoir et une sagesse qui embrassaient tout ce qu'ils avaient révélé dans les Ecritures ou dans les Mythes et Réalité, et ne ressentaient donc aucun besoin de découvrir quelque chose que personne ne connaissait encore.

Il y avait bien eu quelques nouveautés dans un passé lointain, notamment lors de la Révolution agricole du Néolithique, vers 12000-10000 ans avant notre ère (serait-ce la sortie d'Adam et Eve de l'Eden pour cultiver la terre ?), ou avec la domestication des quadrupèdes aux alentours de 4000-3500 ans, une innovation allongeant sensiblement le pas et la vitesse du bipède.

Dans l'ensemble, le monde de la Préhistoire et de l'Histoire, jusqu'au Moyen-Age resta figé dans le domaine technique. L'énergie, toujours nécessaire, restait essentiellement musculaire, et, lorsque le marin ou le meunier maîtrisaient les vents ou les cours d'eau, ces énergies restaient circonscrites à leur domaine d'application, sans possibilité de transfert de l'une à l'autre.

....en prélude de grandes révolutions.

C'est avec la Renaissance, au XVIème siècle, en Europe, que les hommes commencèrent à se poser des questions. Ce n'était pas, à vrai dire, une révolution du savoir, comme le note Yuval Noah Hariri dans Sapiens, mais la naissance d'une révolution scientifique, ou, plus pertinemment, une révolution de l'ignorance, les hommes prenant conscience qu'ils avaient tout à apprendre. C'est cette attitude de curiosité scientifique qui nous tient constamment en quête d'en savoir plus, ouvrant ainsi la voie à une foule d'innovation et d'inventions, entraînant elles-mêmes autant de transitions de différents ordres.

Dans cette marche, sinon cette course au progrès, tels que nous le voyons aujourd'hui, quelques savants ont valeur de symboles.

Ce sont Copernic, Kepler et Galilée qui, par leurs patientes observations, mirent à bas le concept de géocentrisme, remettant en cause la place de l'homme dans l'univers, ouvrant la voie à Isaac Newton, qui nous révèle en 1687, entre autres découvertes, que le grand livre de la nature était écrit en langage mathématique, ce qui allait constituer un guide précieux pour définir une méthode universelle alliant observations et concepts théoriques.

Déjà, en 1620, Francis Bacon, après une première expérience de gouvernement, soutenait que « savoir est pouvoir », ouvrant toute grande la voie de cette révolution industrielle qui allait transformer le monde à partir du XVIIIème siècle.

Les pays européens, qui s'étaient quelque peu laissé distancer par la sphère asiatique, vont alors connaître un essor économique et industriel leur assurant une suprématie mondiale.

En moins de deux siècles, innovations techniques et découvertes de nouvelles sources d'énergie, charbon d'abord, puis hydrocarbures, vont s'épauler mutuellement pour constituer un vaste ensemble d'industries et de moyens de transports qui induisent une modification profonde de la face de l'histoire : la société occidentale est ainsi la première à passer de l'état de subsistance à une économie de croissance, créant autant d'occasion de transitions, énergétiques.

Les choses sérieuses commencent en Angleterre dans les années 1710-1730, avec la substitution du charbon de terre au charbon de bois, dont la croissance menaçait l'Europe de déforestation. C'est la naissance des énergies fossiles. Celles-ci, en l'occurrence le charbon, ne prendront leur développement qu'avec la technologie de la machine à vapeur : de la pompe à eau de Newcomen (1712) aux milliers de machines disponibles à la fin du XVIIIème siècle, une série d'innovations permirent de généraliser la transformation de chaleur en énergie cinétique, le mouvement alternatif en mouvement circulaire, engendrant le transport par rail, qui contribue largement à l'expansion de la révolution industrielle, cependant que le bateau à vapeur rapetissait le monde et transformait les marines militaires.

Cette première vague, nous précise J.P.Rioux, dans « La révolution industrielle 1780-1880 » (Ed du Seuil) reposait souvent sur des recherches patientes d'artisans devenus de féconds techniciens. Par la suite, les techniques vont s'appuyer de plus en plus sur la recherche scientifique.

La deuxième révolution industrielle se profile à partir des années 1880, à la suite de deux découvertes « technologiques » majeures : la lampe à incandescence d'Edison (1879), ouvrant la voie à l'électricité, et le moteur (faussement dit) à explosions par divers inventeurs (Beau de Rochas, Diesel, entre autres), permettant l'accès à des machines bien plus faciles d'emploi que celles mues par la vapeur.

Ces nouvelles technologies reposent fondamentalement sur des ressources fossiles, encore que l'électricité dite hydraulique apparaisse assez vite pour élargir ce que l'on appellera aujourd'hui le mix énergétique, l'hydraulique étant classée, dans le langage actuel, comme renouvelable.

Dans la première moitié du XXème siècle, les physiciens commencent à percer les secrets, et les pouvoirs, de l'atome, ouvrant à l'énergie nucléaire une voie royale pour la fabrication d'électricité, et un bouleversement des stratégies militaires, ce dernier aspect entraînant l'apparition de mouvements d'opinion toujours actifs.

Ce qui n'empêche pas la demande d'énergie de ne cesser de s'accroître tout au long du XXème siècle, les hydrocarbures (huile et gaz) occupant la première place, qu'ils devraient conserver jusqu'au milieu du XXIème siècle, et encore très importants dans certaines zones mondiales, et dans certains emplois spécifiques.

Dans un monde dont nous discernons de mieux en mieux les limites, il apparaît que les succès souvent spectaculaires de l'exploration pétrolière ne peuvent qu'accélérer l'épuisement des ressources fossiles, hâtant le terme du stade de révolution industrielle dont elles étaient le garant. D'autant que cette consommation, et c'est aujourd'hui un argument fondamental, est à la base d'émissions croissantes de gaz polluants, affectant gravement nos environnements tant locaux que planétaires.

Dans ces conditions, le paradigme de la croissance ne saurait être soutenu, et il convient de s'orienter vers ce qui peut être une politique de développement durable sur le long terme.

D'où la mise en œuvre d'une transition énergétique à l'échelle mondiale, nous rapprochant, avec de nouvelles technologies plus performantes, de certaines ressources énergétiques naturelles renouvelables, sans pour autant ignorer leurs difficultés à présenter toujours la continuité requise.

Ce serait sans doute la première fois dans l'histoire de l'humanité qu'une transition de cette ampleur ne serait pas la conséquence directe d'une pénurie, d'une catastrophe naturelle, ou d'une découverte. Encore qu'une telle décision politique ne saurait être qu'un cadre général laissant en son sein pleine liberté aux chercheurs et inventeurs.

C'est certes là un projet ambitieux, mais nécessaire, réaliste et non utopique, s'il est traité de façon progressive, méthodique, pragmatique, en tenant compte des ressources fossiles connues et à découvrir, indispensables pour assurer sans risque les inévitables soudures.

Mais, ne nous le cachons pas, ce que les politiques nous proposent, avant de nous l'imposer, n'est pas un simple transfert de technologies, mais un profond changement d'état d'esprit, peut-être l'amorce d'une autre Réforme.

Sur quelques embarras de la transition énergétique, d'après une Lettre Persane inédite.

Usbek à Rhedi

A peine arrivé de Smyrne, je t'écris de Paris, cette ville où il se passe toujours quelque chose. Je ne te parlerai pas cette fois des embarras de la circulation, la grande prêtresse qui règne sur la ville mettant tout en œuvre pour dissuader les vieilles calèches de troubler la quiétude, quasi ludique, de ses fidèles.

Non. Je te fais part des graves embarras résultants des premières mesures d'applications de la transition énergétique, dont tout le monde jase ici. Pour une fois, les grands esprits de la planète se soucient d'un objectif à très long terme. C'est vraiment l'affaire du siècle, puisque l'objectif est de limiter la hausse des températures à 2°C, si possible 1,5°C au terme de ce siècle.

Comme j'ai déjà eu l'occasion de te l'écrire dans un courrier précédent : « le roi de France a (....) plus de richesses que lui (le roi d'Espagne), parce qu'il les tire de la vanité de ses sujets, plus inépuisable que les mines (....). Il exerce son empire sur l'esprit même de ses sujets (...). Il n'a qu'à les persuader qu'un écu en vaut deux, et ils le croient ». Au moins était-ce que je croyais en arrivant. La situation est aujourd'hui plus complexe, et les premières mesures concernant la transition énergétique y ont leur part, en suscitant de nouveaux embarras.

Certes, ce n'est pas le premier de ces grands changements dans le domaine de l'énergie, l'Histoire n'en est pas avare. Bien des sociétés, peuples, civilisations, en ont été les victimes, le plus souvent pour des raisons géologiques, climatiques, hydrauliques, échappant complètement au savoir et au pouvoir des hommes.

Aujourd'hui, et c'est peut-être une première, l'humanité semble prendre conscience de son destin, et veut se donner des règles afin d'éviter les graves dérèglements planétaires qui nous menacent, tout en cherchant à contrôler l'épuisement de ces ressources minérales qui font l'objet d'une exploitation intensive depuis deux ou trois siècles.

Les premières directives ont été formulées dans la trilogie des « trois fois vingt » pour l'année 2020 :

- croissance de l'efficacité énergétique de 20% ;
- part des énergies renouvelables de 20% ;
- réduction des émissions de gaz à effet de serre de 20%.

La première mesure, qui relève tout bonnement d'une saine gestion, est appelée à devenir systématique, tant dans le domaine du chauffage que de l'efficacité réelle des productions d'énergie. Elle se caractérise par des investissements initiaux en vue d'économie à plus long terme.

Le deuxième volet représente la montée en puissance de ces énergies renouvelables, qui font toujours la une des gazettes, ubiquistes, mais de faible intensité énergétique, inépuisables, mais intermittentes, qu'elles soient animées par des courants d'air ou d'eaux, aussi bien que par le rayonnement solaire, qui représente le plus fort potentiel. Je ne t'en dirai pas plus sur

leurs caractères. Tu les connais aussi bien que moi. Elles sont vieilles comme le monde. Seulement nos sciences et nos technologies les plus modernes leur donnent une nouvelle jeunesse, notamment avec le pouvoir d'être source d'électricité quasi exclusivement.

Le troisième volet, qui est aussi le deuxième objectif du précédent, a pour but la diminution substantielle, à défaut de la suppression complète, de ces polluants, en particulier de ces gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique, à l'acidification des océans et autres vicissitudes. Et contrairement à ce que pensent certains, ces maudits gaz ne se laissent guère séquestrer dans ces grandes profondeurs d'où ils sortent.

Les particularités de ces nouveaux acteurs sur la scène mondiale conduisent parfois à des situations qui ne sont pas sans paradoxe et causes de bien des embarras, sinon d'in vraisemblables contradictions.

A ce sujet, un homme de ma partie me faisait remarquer l'autre soir que, pour la première directive, il s'agissait d'abord de mettre fin à un gaspillage devenu monnaie courante. Cette mesure de bon sens s'inscrit d'ailleurs dans une perspective admise depuis quelques années.

La troisième règle, par contre, est en partie en butte aux conséquences du développement de certaines énergies renouvelables dont l'intermittence nécessite actuellement l'appoint d'énergie fossiles, sources de gaz à effet de serre. On constate d'ailleurs que les émissions de ces gaz ne cessent guère de s'accroître.

On en a d'indéniables exemples avec des pays comme l'Allemagne ou le Danemark, qui se présentent volontiers comme des modèles écologiques, mais qui se révèlent en réalité comme les champions de ces émissions damnées.

On n'est pas, en ce domaine, à une contradiction près, tant peuvent diverger les objectifs à long terme et les atteintes à l'environnement local, et immédiat. Quelle entreprise oserait encore inonder une vallée verdoyante pour édifier un de ces barrages qui sont pourtant un modèle d'énergie durable ? Et que dire des fermes d'éoliennes qui polluent les plus beaux paysages !

Tu imagines les problèmes, et les embarras de ceux qui ont à décider, à faire prévaloir le long terme sur les désagréments du présent. Je sais : tu vas me répondre que toutes ces contradictions ne sont pas sans rappeler cet ingénu qui n'hésitait pas à se jeter à l'eau pour éviter d'être trempé par une averse, un certain Gribouille si je me souviens bien.

Oui, cela fait beaucoup de mécontents, et les écolos ne sont pas les moins ardents. Mais il faut avancer et mener à bien cette inéluctable transition énergétique. Pour faire passer la pilule (si je puis dire) aux entreprises qui admettent de plus en plus cette nécessité, on imagine la création d'une taxe carbone, sans grand succès jusqu'ici. Mais tu sais, ici-bas, tout se paye !

On ne saurait pour autant négliger d'autres voies qui pour être peu ou non carbonées, comme il se doit, ne présentent pas certains des inconvénients des énergies renouvelables. D'aucuns ont ainsi devant moi évoqué la solution du nucléaire.

La France y a largement recours, et les Français l'admettent mieux que d'autres terriens. Curieusement, pour des raisons politiques, sinon politiciennes, le grand chef a décidé, « comme ça », que la part du nucléaire dans le bouquet énergétique de la France passerait de

plus de 75% actuellement à 50% à l'horizon 2030 ! Ce qui pouvait s'exécuter sensiblement à volume constant en période de croissance apparaît illusoire et pénalisant en ces temps incertains. Une quinzaine d'années est par ailleurs bien court pour une industrie dont l'unité de temps est plutôt la décennie, et alors que l'on parle surtout de prolonger la durée de fonctionnement des centrales actuelles. Ce qui n'empêche pas la difficile construction d'une méga centrale de « nouvelle génération », plus sûre et plus sophistiquée, alors que les différentes sources d'énergie tendent vers une décentralisation toujours plus poussée ? Et personne n'évoque les problèmes du démantèlement des centrales qu'il faudrait fermer, du coût, du temps, des problèmes de déchets qui en résulteront.

Alors que la championne du nucléaire, AREVA, est quasiment en faillite en raison d'une gouvernance hasardeuse et d'une politique indécise, on décide de la sauver en la désintégrant, après avoir fait de l'intégration la clé de la réussite. Voilà bien un sujet de réflexion pour nos grands chefs.

Ce sauvetage est confié à la reine de l'électricité, EDF. Ce joyau des nationalisations, elle-même empêtrée dans un maquis de règlements administratifs, et de contraintes économiques et écologiques, sous l'œil vigilant d'un actionnaire majoritaire tiraillé entre la gestion de l'entreprise et de ses dividendes, et le pouvoir d'achat des clients électeurs. Pour faire simple.

Et le pétrole, me diras-tu ? Cette bonne vieille énergie, toujours si précieuse, si chère à notre beau pays ? N'est-on pas en voie d'en extraire les derniers barils ? Non, certes. De fins connaisseurs ont forgé le terme de « peak oil » pour analyser le plafonnement de la production mondiale, avant son inéluctable déclin. Ne nous fions pas trop au court terme et à ces jeux dangereux de quelques grands producteurs créant des surproductions passagères. Malgré l'imagination des géologues, et les prouesses des techniciens tant en élargissant la gamme des hydrocarbures qu'en maîtrisant de nouveaux modes d'exploitation, ce « peak » peut être un temps atténué, mais la tendance ne saurait être inversée. Ces ultimes réserves n'en seront pas moins nécessaires pour mener à bien une transition énergétique devenue inéluctable. Bien sots ceux qui voudraient laisser en terre ces dernières richesses.

Comme tu peux t'en douter, personne n'est vraiment satisfait de cette situation, source de tant d'embarras de toutes sortes. Les opérateurs historiques fustigent les montagnes d'argent public- ou semi-public- accordées aux énergies vertes, tandis que les producteurs de ces dernières considèrent que la transition ne va pas assez vite pour accentuer la baisse des coûts et les rendre plus compétitives. Surtaxer les uns pour subventionner les autres a des limites que les marchés ne sauraient tolérer longtemps.

00000000000

Il y a quelques jours un homme de qualité m'entreprit pour me parler des composants de ces engins et appareils qui sont en train de révolutionner nos énergies et nos communications. Une question qui lui tenait vraiment à cœur. Il faisait notamment allusion à ces minéraux et minerais, aux noms plus ou moins étranges, qui ont toujours été rares, ou qualifiés comme tels, malgré le zèle et le flair des géologues. Il s'étonnait dans le même temps de l'importance prise par l'un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre, et aujourd'hui l'un des plus recherchés, le silicium. Et il me disait : n'entrons-nous pas dans l'âge du silicium, sans négliger pour autant l'omniprésence du numérique.

A ces propos, un membre éminent d'un grand cercle auquel j'avais l'honneur d'être invité, me disait en aparté : nous sommes si satisfaits de la découverte du zéro par quelques sages de vos contrées lointaines que nous avons décidé de ne conserver dans notre nouveau langage que le 1 et le 0. Tout est tellement plus simple et performant ainsi ! Qui n'a pas dans son gousset une de ces petites tablettes réponse-à-tout, dont on caresse câlinement la surface bien lisse avec le pouce ?

Tu vas me rétorquer que toutes ces opérations sont si rapides qu'on peut se demander quand ces gens trouvent le temps de réfléchir un tant soit peu, ne serait-ce que pour prendre les bonnes décisions.

Détrompe-toi. Cela devient inutile. Les données enregistrées, si nombreuses soient-elles, sont à l'instant traitées par ce qu'on appelle des algorithmes, faisant de ces merveilleux appareils de véritables machines à penser. On est ainsi en voie d'inventer des petites boîtes noires qui aujourd'hui pensent pour vous et, demain, prendront des décisions à votre place. Alors, pourquoi se fatiguer ? Autant jouer !

N'a-t-on pas d'ailleurs élaboré une théorie des jeux pour résoudre ou essayer de comprendre certaines problématiques ? Peut-être. Mais n'est-ce pas là se priver de ce « bonheur supérieur » qu'est le « fait de penser », comme nous l'a appris Aristote ?

Ne te décourage pas pour autant. Comme j'ai déjà eu l'occasion de te l'écrire : « Ceux qui aiment à s'instruire ne sont jamais oisifs ». On n'échappe pas au progrès, et l'on ne saurait s'en priver quand on se trouve en présence d'une transition énergétique incontournable, qui nous oblige à repenser des modes et des modèles de vie patiemment acquis au cours de plusieurs siècles.

A Paris, le 15 de la Lune de

Usbek (pcc AP).

Publié Bull AREP 2016

Lettre au petit Prince relatant la COP 21

Si je reprends aujourd'hui contact avec toi, après un si long silence, ce n'est pas pour te dessiner un mouton, ni même une fleur, mais pour te faire part du grand évènement connu sous le vocable de la COP 21, qui vient de se tenir dans notre capitale, et que ses promoteurs tiennent à considérer comme historique.

Tu n'es certainement pas sans savoir, cette annonce ayant dépassé le cadre de notre planète, que cette dernière est l'objet d'un réchauffement climatique, les activités de ses occupants donnant un coup d'accélérateur à une évolution géologique à long terme, ce qui n'est pas sans poser d'inquiétants problèmes sociétaux et humain ; aussi tout doit-il être mis en œuvre pour freiner cette hausse. Une limite de 2°C maximale à l'horizon 2100 est l'objet de la présente réunion.

Les représentants des 195 pays régnant sur notre terre se sont ainsi retrouvés au Bourget, sous un immense hangar, pour élaborer un projet de traité international contraignant chacun d'eux à prendre des mesures de limitation d'émission des gaz à « effet de serre », principalement le gaz carbonique, cause principale d'un phénomène dont les excès sont aussi nuisibles que la nécessité d'un pourcentage modéré est indispensable.

Tu pourrais penser qu'une hausse de 2°C d'ici la fin du siècle pourrait être bénéfique à des populations nordiques qui dépensent beaucoup d'énergie pour ne pas mourir de froid. C'est là ne voir qu'un petit aspect du problème.

Nos experts ont beau jeu de nous montrer qu'une hausse de quelques degrés modifie grandement la biodiversité de notre belle planète, repoussant toutes sortes d'espèces animales comme végétales vers le Nord, au point de chasser nos braves ours blancs vers une impossible sortie. Le plus grave est que ce réchauffement provoque une accélération tragique de la montée du niveau des océans, ce qui ne peut que chasser des millions d'habitants du bord des mers vers l'intérieur des terres.

Mais nos experts, qui sont d'une qualité et d'une audace sans pareille, savent parfaitement ce qu'il faut faire-ou plutôt ne pas faire-pour éviter ce genre de cataclysme.

Certains doutent un peu devant l'incertitude de quelques données et la complexité des modèles climatiques. On les qualifie de climato-sceptiques. Mais nos politiques, toujours friands de sujets médiatiques et hors du temps électoral, ont pris l'affaire en main, quitte à en oublier un peu le sujet des nuisances quotidiennes.

Selon les experts les plus objectifs, aucun modèle n'a présenté jusqu'à présent un tel niveau de complexité. Ainsi pour Edouard Bard « prévoir l'évolution du climat oblige à considérer à la fois le système climatique dans sa globalité et dans ses menus détails » (Ingénieurs géologues-Décembre 2015).

La climatologie est une science dans l'enfance qui doit encore faire beaucoup de progrès. La fragilité de certains de ses résultats ne doit pas pour autant nous retrancher sur des positions ayant valeur de religion.

Excuses, Petit prince, cette longue entrée en matière, mais ta petite planète me semble si différente de la nôtre que je me devais de décrire en détail notre situation.

Il s'agissait donc de l'élaboration d'un traité international qui entrera en vigueur dès qu'il sera signé par 55% des pays représentant au moins 55% des émissions de gaz à effet de serre. L'accord est basé sur le volontariat et ne comporte en son état actuel aucun engagement chiffré par pays. Les premières mesures plus contraignantes seront prises après 2020.

En attendant, il n'est pas défendu de voir une certaine analogie, sinon une superposition, entre les courbes de production de pétrole et d'émission de gaz à effet de serre. Et cela non sans de sérieux efforts, tant du côté de la protection de l'Environnement que de l'Exploration/Production pétrolière, pour assurer cette production.

Dans ces conditions, quel est le programme ? Vas-tu me demander, en me suggérant probablement de commencer par faire des économies de chauffage et d'énergie. Tu as bien raison : c'est même là une priorité. Il y a tant de gaspillage. Nous avons donc, sinon de grands projets au moins de multiples sujets de lutte contre les pertes de chaleur de nos habitations, que de progrès dans l'efficacité des énergies et, de façon plus générale, de modération de notre croissance. Mais nous touchons là un sujet bien sensible.

Comme on ne peut se passer rapidement de toute énergie carbonée, il nous faut apprendre à séquestrer le gaz carbonique par des voies géologiques ou biologiques, ce que les forêts font depuis longtemps.

Tout cela ne saurait évidemment suffire, surtout si, dans le même temps on encourage les combustibles non fossiles. Comme notre monde ne saurait se passer d'énergie, la seule voie est de développer des énergies renouvelables physiques, comme celles fournies par les vents, les marées, le soleil, ou encore biologiques, pour disposer de carburants.

Si ces énergies sont considérées comme gratuites, les structures nécessaires à leur exploitation ne le sont pas, nécessitant même d'importantes quantités de métaux, notamment de terres rares, ce qui n'est pas si différent de la maîtrise des énergies fossiles.

Leur grande différence est que leur exploitation n'entame pas un stock donné, mais aussi qu'elle est caractérisée par des intermittences, cycliques ou aléatoires, en d'autres termes qu'elle obéit aux lois de la nature et non à nos besoins. Elles ne fournissent guère par ailleurs que de l'électricité, que nous avons bien de la peine à stocker à grande échelle. Ce qui n'empêche pas quelques utopistes de prévoir les 100% d'énergies renouvelables dès 2050 (mais le rapport se fait attendre).

Il apparaît nécessaire pour le moment-et sans doute pour un certain temps- d'adjoindre à ces intermittents de l'énergie des sources plus dociles, et notamment des centrales à gaz et à pétrole pour pallier aux jours sans vent et sans soleil, pendant lesquels nos activités ne cessent pas pour autant, sans oublier la spécificité des transports et de la chimie.

C'est là un sujet qui ne semble guère avoir retenu l'attention des auteurs du Traité. L'AIE – l'Agence Internationale de l'Energie-qui ne manque pas de données, ni d'arguments sur le sujet, estime, dans ses divers scénarios, compte tenu de la croissance de la population mondiale et de la hausse du pouvoir d'achat d'une partie d'entre elle, la demande entre 3,2 et 4,8Gt à l'horizon 2040. Un tel montant représente d'ici là une production cumulée, en grande partie à découvrir, de plus de 100Gt. De son côté, la consommation de gaz continuerait à augmenter pour se stabiliser quelques 20% au-dessus de la production actuelle. Sans oublier une part du nucléaire d'au moins 5% du bouquet énergétique total.

Voilà qui doit donner encore du travail et demander de sérieux investissements dans ces ressources fossiles aujourd'hui si décriées.
Entre volonté politique à long terme et réalités économiques et géologiques, les paris sont ouverts !

Excuse-moi de m'étendre abusivement sur ce point, qui est au cœur de nos préoccupations, mais il semble bien délaissé par nos politiques.
Comme tu peux le voir, la route est encore longue et semée d'embûches pour maîtriser ces 2°C du climat de notre planète dans 85 ans.

Mais soyons optimistes tout en restant réalistes. Nos scientifiques ont de bons arguments. Nos politiques y voient une cause de convergence. Et surtout, les opinions publiques, n'ayons pas peur de le dire, bien manipulées par les médias sont sensibles à tout ce qui concerne l'environnement, au moins pour le moment.
Il ne saurait y avoir d'autres vies, car nous nous devons de léguer à nos enfants une planète pas trop appauvrie, où il fasse bon de vivre, comme te le rappelait ton illustre interlocuteur au bord du grand désert.

Bon vent, cher Petit Prince, et à bientôt peut être si l'occasion se présente...

Cher Petit Prince,

Je m'aperçois que j'ai oublié de te parler dans mon précédent courrier d'un sujet important de la COP 21, ce que nous avons l'habitude d'appeler le nerf de la guerre. Des investissements représentant des milliards de dollars qui en fin de compte vont se retrouver dans le coût de l'électricité.

Devant les réticences de plusieurs pays émergents, face à ces investissements en quelque sorte imposés, en ces temps de crise larvée et de chute du prix des matières premières et du pétrole, les pays développés ne pouvaient que mettre la main à la poche et apporter leur contribution. Ceux-ci avancent un argument historique imparable : dans leur développement industriel passé, les pays aujourd'hui développés sont pour une grande part responsables des pollutions de l'air et des mers. Une façon efficace de transformer un acquis technique en pénalité future.

L'accord semble devoir se conclure sur le versement annuel d'une somme de 100 milliards de dollars, à partir de 2020, suivant des modalités à préciser à la COP 22 prévue l'an prochain à Marrakech. De belles palabres en perspective.

Ces subventions seraient destinées à financer des adaptations aux changements climatiques, plutôt qu'à chercher à s'y opposer. Elles risquent de s'intégrer rapidement dans les aides générales au développement.

Pour le moment, aucune pénalité n'est prévue en cas de défaillance. Pas plus d'inspecteurs que de gendarmes à l'horizon. On s'en remet aux opinions et à la pression internationale, dont on connaît par ailleurs la versatilité.

Si d'importantes subventions sont incontournables pour concevoir et réaliser ces industries nouvelles, elles ne doivent perdurer et faire place à de transparentes affaires de marché si l'on ne veut devenir un peuple d'éternels assistés.

° ° °

J'aurais pu m'en tenir à ces dernières informations pour te donner un assez bon compte rendu de cette illustre réunion des grands de notre planète. Le sujet me semble cependant suffisamment important pour que je te gratifie encore de quelques réflexions de mon cru.

Aurais-tu par exemple quelques doutes sur le réalisme de ces propositions, en particulier par l'abandon du charbon par des pays gros producteurs comme l'Inde ou la Chine, et leur conversion réelle aux énergies renouvelables ? Leurs programmes en la matière sont sincères me semble-t-il, mais la route est encore longue et bien des tonnes de CO2 risquent d'enrichir notre atmosphère. Et il ne faut pas croire que des pays modèles, comme l'Allemagne ou le Danemark, n'en font pas autant avec leurs recours obligés aux énergies fossiles pour pallier aux interruptions de leurs intermittents. Il ne faut pas se laisser berner par le vocabulaire.

Sais-tu, par exemple, qu'il est de bon ton, dans certains milieux, qui se disent proches de la nature, de parler de sauvegarde du patrimoine et non de mise en valeur de richesses du sous-sol, ou de protection de l'environnement et non d'extraction de matières premières, et qu'un développement économique se doit d'être durable.

Mais laissons ces détails. Soyons réalistes. Veillons à ce que ce grand objectif des 2° C à la fin du siècle ne nous détourne pas de cette lutte terre à terre contre les nuisances et les pollutions qui empoisonnent littéralement nos villes et nos mers. Ici, ce serait plutôt la forêt lointaine qui risquerait de cacher les arbustes qui bordent le chemin.

Ces quelques rappels de bon sens ne doivent pas pour autant nous détourner de réflexions plus générales mais tout autant d'actualité.

Cette transition énergétique si bien orchestrée par les médias, ne saurait nous laisser indifférent. On n'en voit sans doute pas encore toutes les conséquences, mais certaines, déjà nous interpellent.

Sur le plan industriel, et pour partie sociétal, par exemple, la substitution du solaire et de l'éolien aux centrales à charbon, et à gaz ou nucléaires, se traduit par une profonde décentralisation, imposant une remise à plat des réseaux de distribution et même de l'organisation du travail.

Avec des énergies intermittentes la distinction entre puissance installée et offre disponible prend un relief particulier. Celle-ci ne dépend plus du bon vouloir de ses commanditaires mais des fantaisies d'Eole ou de Ra, de courants d'air ou de rayons de soleil pour être concrets. Sur le plan intellectuel, est-ce là un progrès ou un retour en arrière ? En la matière, l'eau, avec ses courants réguliers, se montre plus serviable. Avec les barrages, c'est même la seule façon de stocker l'électricité. Ce n'est pas rien.

Soyons réalistes. Nous aurons un jour plus ou moins prochain épuisé l'essentiel de nos ressources fossiles quand nous aurons bien enfumé et pollué l'air et l'eau qui nous font vivre ; il sera un peu tard pour maîtriser de nouvelles énergies.

o o o

Pour me résumer sur la situation à moyen-long terme de cette transition énergétique qui ne manque pas de complexité, sinon de contradictions.

Les réserves de pétrole et de gaz, conventionnels ou non, me paraissent plus importantes que ce que l'on pensait il y a encore quelques années. Des provinces nouvelles ont été reconnues, des techniques inédites permettent de produire de nouvelles réserves, repoussant d'autant le déclin de la production mondiale, un déclin qui n'en reste pas moins inéluctable du point de vue géologique et physique.

Du côté de la demande, dont l'importance ne cesse de s'accroître, la multiplication des nuisances et des pollutions de l'air et des eaux, conduit à réduire la consommation de ces

combustibles fossiles et à les remplacer dans la mesure du possible par des énergies renouvelables, ce qui contribue à limiter l'exploitation des premières et du même coup à repousser encore leur déclin.

Cette transition énergétique, aujourd'hui nécessaire, doit être menée de façon rationnelle et réaliste, en tenant compte des contraintes économiques notamment. Elle doit permettre de répondre à la croissance prévisible de la demande mondiale d'énergie, tout en faisant face aux aléas et aux imprévus qui ne sauraient manquer.

Ces perspectives imposent la disposition de réserves classiques, notamment d'hydrocarbures dans des proportions que l'on aurait souvent tendance à sous-estimer, des réserves qu'il nous faut encore découvrir et souvent apprendre à exploiter. Autrement dit, tu vois qu'il y a encore du pain sur la planche pour les pétroliers, comme on dit familièrement chez nous. Oui, je le devine, tu vas me répondre que l'homme ne vit pas seulement de pain et de pétrole et qu'il a tout autant soif d'imaginaire et de spirituel, d'humanité et d'intimité.

Ce qui me remémore ce que disait notre grand homme de l'air : « le Désert pour nous ? C'était ce qui naissait en nous, ce que nous apprenions en nous-mêmes ». Je suis d'accord avec toi. Et en attendant un possible contact, je te souhaite bon vent sur notre noble voie lactée.

Publié Bull AREP mai 2016

Sur quelques conflits entre l'homme et la nature (d'après une Lettre Persane inédite).

Rica à Usbek

« Nous sommes à Paris depuis un mois et avons toujours été dans le mouvement perpétuel.... Ceux qui aiment à s'instruire ne sont jamais oisifs....(Ici) tout m'intéresse et tout m'étonne ».

Je retrouvais l'autre soir une ancienne connaissance, un homme de qualité. « Je vais de ce pas, me dit-il dans la conversation, à une conférence sur l'histoire, « les trois âges de notre monde ». L'auteur est un spécialiste reconnu. Accompagnez-moi, nous discuterons après la séance ».

Le conférencier venait de commencer :

« Il y a cinq siècles, Francis Bacon notait, avec peut-être un peu de dépit, que l'on ne commande à la nature qu'en obéissant à ses lois. Il ne nous échappe pas ainsi, poursuivait-il, qu'avant de la maîtriser, nous avons dû affronter ses colères et tenter de s'y opposer avec des moyens souvent rudimentaires.

C'est là une longue histoire que l'on peut, semble-t-il, découper en trois grandes périodes=

- dans un premier temps, les cités et les civilisations isolées et disposant de peu de moyens de défenses, peut-être aussi n'en voyant pas toujours la raison suprême, disparaissaient pour ne laisser que des ruines ;
- avec la Renaissance, les savoirs et les moyens de défense portés par une réelle curiosité scientifique permettaient de mieux répondre aux dérèglements de la nature ;
- aujourd'hui, pour la première fois à une telle échelle, la communauté internationale prend conscience des conséquences de ses activités et cherche à les limiter.

Cette histoire commence avec la révolution agricole du néolithique, entre 12000 et 10000 ans avant notre ère (ce qui est peut être illustré par les malheurs d'Adam et Eve, chassés du Jardin d'Eden !). C'est là la première grande transition énergétique et culturelle de l'Histoire.

Pendant des millénaires des peuples ont prospéré dans les plaines alluviales de quelques grands fleuves dont les crues régulières enrichissaient les sols, jusqu'au jour où une catastrophe les effaçait de la carte. Les civilisations de l'Indus, du Nil, ou de Mésopotamie, quelques millénaires avant notre ère, furent ainsi tour à tour victime de crues dévastatrices et de grandes sécheresses à des périodes où il n'y avait pas d'entraide mondiale. Les Crétois de la civilisation minoène furent chassés de leur île par un raz de marée, conséquence de l'éruption du Santorin. Et bien d'autres encore furent condamnées par les caprices de la nature. Si un certain nombre de civilisations ont connu leur essor grâce à leur maîtrise des eaux, leur déclin suivit souvent la perte de cette dernière.

Ces grandes civilisations, quelque furent leur destin ne nous ont pas moins laissé de riches héritages qui constituent souvent les fondements de nos savoirs et de nos sciences : les

bases de l'écriture avec les Sumériens au troisième millénaire, les chiffres « arabes » avec de lointaines tribus des pays de l'Indus vers la même époque. Les premières notions d'astronomie et de mathématiques avec les Babyloniens, dont nous conservons fidèlement la division sexagésimale comme mesure de notre temps.

Au IV^{ème} siècle avant notre ère, la civilisation grecque fait une entrée remarquée dans l'Histoire. Aristote, le prince des Philosophes, mit l'accent sur les ressources de l'esprit humain, ses réflexions et sa logique. A l'instar de certains sages qui l'ont précédé, il pensait que l'homme savait tout ce qu'il était important de savoir sur un monde immobile et éternel. Cette philosophie allait profondément marquer les pays de la Méditerranée et du Moyen-Orient durant tout le Moyen-âge, occultant largement une pensée scientifique qui n'en chemina pas moins par la civilisation arabe de l'époque. Pour cette école de pensée, toutes les connaissances sur la nature avaient été révélées dans les Ecritures et les Mythes, et transmises de génération en génération.

Toutes ces civilisations constituaient, au dire de notre conférencier, un **Premier Age**, l'âge du temps long, découpé en millénaires, où la nature imposait brutalement ses lois, où l'homme ne disposait que de l'énergie musculaire de ses esclaves et des quadrupèdes qu'il avait domestiqué, un monde dont les pierres se sont souvent dispersées au cours du temps, mais dont l'esprit demeure.

Ce n'est qu'à la Renaissance, au XVI^{ème} siècle, et, plus précisément, en Europe, que les hommes se posèrent des questions sur la marche du Monde. Ce n'était sans doute pas une révolution du savoir, l'âge d'or de la pensée arabe ayant assuré comme on vient de le voir une certaine continuité avec la civilisation grecque, mais la naissance d'un esprit de curiosité scientifique, les hommes prenant conscience qu'ils avaient tout à apprendre, que la vérité était à chercher dans la science, et non plus dans les dogmes !

Quelques génies ont plus particulièrement ouvert ces nouvelles voies. Francis Bacon, après une première carrière gouvernementale, déclarait en 1620 que « savoir est pouvoir », tandis qu'Isaac Newton, quelque soixante ans plus tard, découvrait que le grand livre de la nature était formulé en langage mathématique, et que Descartes proposait peu après, dans son Discours de la méthode, les arguments pour conduire à la recherche de la vérité. Ainsi prenait forme une nouvelle approche scientifique d'un monde que quelque temps plus tôt Copernic, Képler et Galilée avaient hardiment remis à sa place dans l'univers.

En moins de deux siècles, innovations techniques et inventions en tous genres vont se multiplier, portées par les nouvelles sources d'énergie fossiles, charbon, puis pétrole et gaz naturel pour constituer un vaste ensemble d'appareils, de fabriques, de moyens de transport, entraînant de profondes modifications dans nos modes et niveau de vie.

La société occidentale fut ainsi la première à passer de l'état de subsistance à une économie de croissance, avec son lot d'inégalités, entraînant du même coup une succession de transitions énergétiques et culturelles. Deux grands siècles marqués par les développements des machines à vapeur, des moteurs à combustion interne, et des centrales électriques, avec sous-jacentes, les ressources énergétiques fossiles, dont la production culminait à l'issue de la seconde guerre mondiale.

Cette période faste, de quelques siècles, hors les guerres qui l'accompagnent, trouve son apogée avec l'épisode final, ou presque, des « Trente Glorieuses », et peut représenter un

Deuxième Age de notre histoire, un âge où le temps semble s'accélérer, où la croissance, basée sur des ressources fossiles toujours renouvelées est devenue le paradigme à la mode.

Bien que l'économie mondiale ait montré quelques hésitations à la suite d'une hausse spectaculaire du prix du pétrole dans les années 70, des esprits vigilants, inquiets du rythme accéléré des productions, commencèrent à se poser des questions sur l'épuisement inéluctable des ressources fossiles, et cela d'autant plus que les découvertes de pétrole n'assuraient plus le remplacement des quantités produites. D'ailleurs des taux de croissance annuels de 6 à 7%, constituant une anomalie historique, ne pouvaient se poursuivre indéfiniment dans un monde dont on prenait conscience des limites.

Les opinions publiques s'inquiétaient, de leur côté, du volume des gaz polluants émis par ces consommations, et des hommes de science voyaient même là une grave menace sur l'évolution des climats. Pour la première fois, semble-t-il, l'homme se sentait responsable de dérèglements planétaires. Il appartenait à la communauté des nations de prendre des mesures susceptibles de maintenir l'ordre de la nature.

Des spécialistes se réunirent pour étudier la situation et préconiser les mesures à prendre pour limiter l'élévation de température de la planète à moins de 2°C à la fin du siècle ! Et les politiques d'élaborer les directives ad hoc....

La première mesure était incontestablement de mettre fin aux gaspillages courants d'énergie, évitant notamment les déperditions de chaleur, en encourageant l'isolation des bâtiments.

Cela ne pouvant suffire, il convenait d'engager une politique volontaire de substitution aux ressources fossiles par la mise en activité de production d'« énergies renouvelables » (principalement d'origine solaire, sous diverses formes : éolien, photovoltaïque) avec un objectif de 20% du bouquet énergétique dès 2020, ce qui devait permettre de réduire d'autant la fâcheuse émission de gaz à effet de serre.

Ce sont là des objectifs délicats, compte tenu du caractère intermittent de ces énergies vertes, en l'absence de procédés industriels de stockage de l'électricité. Une situation qui oblige à disposer d'un minimum d'énergies fossiles pour pallier aux aléas et lacunes du soleil et du vent.

Au-delà de ces considérations techniques se profile une transformation majeure du cadre général de nos entreprises, avec la montée en puissance des marchés et des comportements sociétaux. L'offre n'est plus le principal metteur en scène, comme nous en avons pris l'habitude. Le déroulement des opérations ne peut qu'en être profondément affecté, et le « peak oil » sensiblement aplati et déformé. Ce qui ne peut que retarder un déclin des productions qui n'en demeure pas moins inéluctable, tout en rendant nos prévisions et scénarios des plus incertains.

Dans le même temps où cette relève des énergies fossiles par des énergies vertes signifiait pour certains un arrêt du progrès, sinon un retour en arrière, d'inventives cervelles concevaient et mettaient au monde un nouveau langage numérique dont la simplification à deux chiffres permettait les développements les plus étonnants. Une révolution dans l'information et les télécommunications, contractant miraculeusement le temps et les distances. Il en résultait une pléiade d'appareils sophistiqués connectés en réseaux par de puissantes centrales envahissant la planète.

Se superposant à la transition énergétique du siècle, ce monde numérique n'est-il pas la marque d'un **Troisième Age**.

Toutes ces innovations et découvertes ne pouvaient occulter un certain désenchantement pour des sciences rendues responsables par ailleurs de bien des malheurs, notamment dans les conflits armés. Plus généralement, on pouvait discerner un sentiment d'interrogation, sinon de méfiance, envers le paradigme du progrès. Certains commençaient à douter du concept de croissance, de sa permanence dans un monde fini, de l'affecter du terme de durable, ou mieux de soutenable, ce qui est presque un oxymore pour notre petite planète ? C'est sur cette interrogation que notre conférencier terminait son exposé sous les applaudissements de la salle

0000000000000000000000

A l'issue de la séance, mon compagnon m'invita à discuter à la terrasse d'un café voisin, d'où l'on pouvait admirer la plongée du soleil derrière les collines qui au loin bordent la Seine.

La conversation revint naturellement sur le thème de la conférence, et je ne puis m'empêcher d'émettre quelques doutes tant sur notre pouvoir d'agir sur le climat de la fin du siècle, que sur les chances de succès des mesures contraignantes à mettre en œuvre d'ici 2020, l'émission de gaz à effet de serre ayant tendance à repartir à la hausse avec une reprise économique par ailleurs recherchée.

D'une façon générale, me répondit mon aimable confrère, nous avons, et tout particulièrement les géoscientistes et autres chercheurs, une double mission pour mener à bien cette transition énergétique inéluctable :

- poursuivre activement la recherche et la mise en production de ressources fossiles, loin d'être encore épuisées, ne pouvant ignorer que le pétrole, le gaz, et nombres de terres et minéraux rares ou radioactifs resteront indispensables pendant plusieurs générations, notamment pour alimenter les centrales nucléaires

- tout en contribuant aussi activement à la conception et au développement de ces nouvelles énergies, appelées à prendre progressivement le relais des sources fossiles.

Malgré toutes ses tribulations apparentes, notre époque n'a sans doute rien d'exceptionnel au regard de l'histoire. Cette situation ne doit surtout pas altérer notre confiance dans l'avenir. Je pense que nos ancêtres ont surmonté bien des difficultés, et il n'y a pas de raison pour que l'esprit inventif de nos prédécesseurs ne se manifeste pas chez nos descendants ; certains pensent même qu'ils seront plus intelligents, ce qui reste à confirmer....

Certes la nature, comme le rappelait notre conférencier en commençant, continuera à nous imposer ses lois, et même quelques sévères caprices dont elle garde jalousement le calendrier. Mais, comme l'exprimera si bien le grand Antoine de Saint Exupéry dans quelques lustres :

« Chaque progrès nous a chassé un peu plus loin, hors de nos habitudes à peine acquises »

Sur ces nobles paroles, la nuit étant venue, nous prîmes congé l'un de l'autre pour regagner nos gîtes respectifs.

Alain Perrodon. Rica, le 1^{er} de la Lune de Rabah
Publié <Bull AREP

Le « peak oil » fait le grand écart.

« Nous vivons dans un monde qui est complexe et nous nous heurtons effectivement à des finitudes ; c'est vrai que les ressources sont finies, mais il y a une certaine élasticité dans le concept même de ressource ». Erik Orsenna

Depuis ses premières découvertes significatives, l'industrie du pétrole s'inquiète de son avenir, ne disposant le plus souvent que d'une trentaine d'années de production devant elle, suivant une formule bien inappropriée, une marge de sécurité relativement constante que la production frôlât les 200 Mt comme dans les années 1930 ou les 4 Gt comme aujourd'hui.

Les géologues et ingénieurs de production avaient en tête les profils de production d'un gisement, et il devait leur sembler tout naturel, en l'absence d'autres informations, de traduire, faute de mieux, le montant des réserves restantes en années d'exploitation. Ce faisant, ils présentaient ainsi une illustration simple, sinon simpliste, d'un état des lieux rapidement généralisé dans l'opinion. Cette vue, apparemment réaliste et à court terme n'entravait en rien l'optimisme à plus long terme des pétroliers, qui poursuivaient leur campagne de forage.

En 1956, le géophysicien King Hubbert entreprit une analyse originale du bloc continental des 48 « Etats » des USA. Il y avait là, au point de vue géopétrolier, un ensemble cohérent de bassins sédimentaires diversifiés, relativement bien connus par une exploration déjà assez mature. L'auteur disposait de données homogènes et précises. Il prenait par ailleurs bien soin d'exclure toute action politique ou économique, et il n'était question que de brut « conventionnel ». C'était là un cas un peu idéal qui pouvait servir de modèle dans un pays qui n'en pas pour autant constitué un cas particulier. Il fallut sans doute une certaine ouverture d'esprit et une fine connaissance des caractéristiques géopétrolières, pour ne pas dire un flair certain, pour extrapoler des données relativement ponctuelles à un ensemble géologique, peut être voisin, mais inconnu, à part quelques analogies plus ou moins nettes, et esquisser du même coup une courbe de production totalisant celles d'un ensemble de champs tout au long d'une histoire à imaginer.

Hubbert montra que la production dessinait une courbe en cloche régulière dont le sommet allait être qualifié un peu plus tard par Colin Campbell de « peak oil ». Ce « top » représentait ainsi, à travers la convention de courbe en cloche, la limite entre les deux moitiés des réserves ultimes. Hubbert annonçait alors le déclin de la production américaine dès 1969, ce qui se manifestât effectivement l'année suivante. Pour un coup d'essai, c'était un coup de maître ! Comment alors ne pas appliquer cette méthode à des ensembles plus vastes, et pourquoi pas à l'échelle mondiale, en dépit des difficultés auxquelles on pouvait s'attendre.

Un quart de siècle plus tard, en 1998, Colin Campbell et Jean Laherrère appliquèrent audacieusement la méthode à l'ensemble du monde, se limitant cependant au pétrole bon marché. Constatant que les « découvertes mondiales ont été maximales au début des années 1960 et que « 80% du pétrole produit aujourd'hui-en 1998-provenait de gisements découverts avant 1973 », il leur semblait que la méthode de Hubbert pouvait s'appliquer à l'échelle mondiale. Les auteurs complétèrent cette courbe de la production annuelle par celle de la production cumulée, qui donnait une bonne approche du montant des réserves ultimes (réf : La fin du pétrole bon marché. Pour la Science. Mai 1998).

La contrainte économique : le pétrole bon marché-renfermait un facteur d'imprécision en ces temps d'instabilité politique. Dans une enveloppe de réserves ultimes de 2000Gbl, ils en concluaient que le déclin commencerait avant 2010 : c'était bien là, pour l'essentiel, le destin du pétrole bon marché. Il est fréquent aujourd'hui de lire ou d'entendre que les tenants du « peak oil » se sont lourdement trompés, alors qu'en fait ils ont eu largement raison ! Regardons de plus près ce paradoxe.

Les aléas des marchés d'un côté, les avancées des nouvelles technologies de l'autre, brouillèrent peu à peu les distinctions entre les différentes familles de pétrole et de gaz. Le champ des investigations n'a cessé de s'étendre tant du point de vue géographique que dans le domaine conceptuel. Les « offshore » profonds, plus précisément les zones des talus continentaux et des mers fermées ou anciennement fermées révélaient la présence d'importants bassins sédimentaires au potentiel pétrolier insoupçonné, notamment dans les océans Atlantique et Indien, ainsi qu'en Méditerranée orientale.

Au plan conceptuel, l'application systématique de technologies connues et maîtrisées, comme le forage horizontal et la fracturation hydraulique, à de nouveaux objectifs géologiques ouvrait des horizons inédits à l'exploration-production. Ainsi, aux USA, la prospection de roches mères matures assurait-elle un sérieux relais à une exploration conventionnelle sur le déclin. C'était déjà les puits horizontaux qui avaient permis, une vingtaine d'années auparavant, la mise en production des pétroles ultralourds de la ceinture de l'Orénoque et des horizons de sables bitumineux de l'Athabasca trop profonds pour permettre une production par voie minière

C'est là, peut-on croire, avec la mise en production d'autres réservoirs compacts, un complément significatif à la production pétrolière mondiale à moyen et long terme, même s'il ne concerne que les roches-mères les plus prolifiques.

Cet apport à des découvertes conventionnelles plus ou moins probables est-il en mesure de répondre à une demande bien fluctuante, écartelée entre les vues quelque peu utopiques des tenants des énergies renouvelables et les scénarios apparemment plus réalistes des pétroliers, et des experts de l'AIE et de l'EIA ? Nul n'est sans doute en mesure d'apporter à ce jour une réponse sérieuse. Mais il est clair que dans un tel contexte toute prévision s'inspirant du modèle de Hubbert paraît de plus en plus fragile. Ce qui ne doit en rien nous amener à baisser la garde en matière d'exploration-production. L'assurance d'un potentiel de production de pétrole et de gaz, en plus de centrales nucléaires, reste de mise face à une demande d'énergie qui ne faiblit pas : l'accès à l'eau potable, à une nourriture suffisante, à la santé, à l'électricité, à la mobilité pour l'ensemble de l'humanité apparaît désirable, mais tout cela demandera des quantités croissantes d'énergie tout au long de ce siècle.

Les plateaux actuels de la production mondiale de gaz et de pétrole ont ainsi toutes chances de se prolonger sur une ou plusieurs décennies avant d'entamer un inéluctable déclin ; une perspective qui amène le « peak oil » à faire le grand écart, sans pour autant se rompre. Ce n'est pas la fin du pétrole comme certains le proclament. Seulement un changement de décor de la scène !

avec la participation de Pierre-René Bauquis et Paul Alba.

Publié Ingénieurs Géologues juin 2017

Le roman de l'exploration pétrolière.

En moins de deux siècles, après s'être satisfaits pendant des millénaires d'énergies renouvelables, nous sommes en voie d'épuiser des ressources fossiles accumulées au cours de millions d'années.

Les premières exploitations des ressources pétrolières virent le jour en occident au milieu du XIXème siècle avec des puits effectués au voisinage immédiat des suintements de surface. Ce n'était là qu'un prélude.

Le recours à des disciplines scientifiques, géologiques en l'occurrence, et la maîtrise de techniques adaptées ouvrirent la voie à d'importantes découvertes. C'était là une approche indirecte, où le concept de piège s'avéra très vite incontournable. Ce fut, au milieu du XXème siècle l'apogée de l'exploration production, l'EP !

Les perspectives d'un pic de la production et d'un déclin, doublé d'une active chasse aux pollutions, une pratique nouvelle de techniques bien maîtrisées amorcent un retour aux sources avec l'exploitation de pétrole et de gaz de roches-mères, en ce début du XXIème siècle, que les brumes de l'aube rendent encore incertain.

Belle escalade conquérant, au rythme du progrès des techniques et es concepts, des pics toujours plus difficiles, et susceptibles d'en cacher de nouveaux.

Une ligne directe.

La méthode la plus évidente était, bien sûr, de faire des puits au voisinage des suintements de pétrole, ou de bitume, à l'instar des pratiques minières de l'époque. Une approche directe, qui fut à l'origine de belles découvertes, comme à Bakou, en Azerbaïdjan, ou à Maracaibo, au Venezuela. Levorsen, estimait, dans sa « Geology of Petroleum » que la moitié des découvertes effectuées avant 1950, soit une dizaine de milliards de tonne, avaient été découverts de la sorte, ce qui était un progrès par rapport aux forages implantés au hasard.... et cependant parfois productifs !

Mais le tour de ces sites productifs fut assez vite fait. Les prospecteurs, gens pragmatiques, au tempérament un peu joueur, devaient laisser la place à des scientifiques, plus précisément à des géologues.

La révolution géologique.

Faute de propriétés spécifiques permettant de le détecter en profondeur directement-le pétrole cherche plutôt à se cacher- le prospecteur en est réduit, sauf cas particulier, à rechercher les coins du sous-sol où il aurait pu se faire piéger. Une approche indirecte, toujours d'actualité, qui s'est révélée particulièrement fructueuse, le piège devenait un concept incontournable.

Dès les années 1860, des prospecteurs attentifs et sans doute un peu géologues observèrent que les puits implantés auprès des suintements situés sur des dômes ou des anticlinaux, se révélaient les plus productifs. Certains audacieux prirent même le risque de forer sur de telles structures dépourvues de tout indice de pétrole en surface. Les succès se succédèrent notamment, aux USA dans les bassins des Montagnes Rocheuses, en Californie, en Pennsylvanie, mais aussi en Europe

C'était le triomphe de la géologie, l'éclosion de ce qui va être connu comme la « Théorie anticlinale », dénomination attribuée au géologue I.C.White, en 1885, après diverses publications sur le sujet.

Dans son ouvrage encyclopédique « *Trek of the oil finders* », (1975) E.W.Owen notait que la moitié des découvertes faites aux USA au cours de la décennie 1910-1920, soit quelque 1350 Mt, était le résultat d'une campagne de terrain.

Cette théorie était une confirmation du concept de piège, le précisait, mais son application se limitait aux zones d'affleurements. Elle ne garantissait pas non plus la similitude des formes de surface en profondeur. C'est la géophysique, et plus précisément la sismique réflexion, qui allait permettre de déchiffrer l'architecture profonde des bassins, en donnant une véritable radiographie.

C'est ainsi, et par les résultats des forages, que l'attention fut attirée par l'importance des phénomènes sédimentaires, biseaux ou constructions récifales notamment, capables de constituer des barrières aux migrations des hydrocarbures. Nouvelle variété de pièges, qualifiée de stratigraphique, et cause de découvertes majeures, comme celle de « *Spindletop* », au Texas.

L'extension et le progrès des méthodes sismiques, couplées à ceux des diagraphies des sondages (technique apparue à la fin des années 1920, inventée par les frères Schlumberger), conduisirent l'« EP » à son apogée à la mi-temps du XXème siècle. En déconnectant la recherche des pièges des observations de surface, les prospections s'étendirent aux bassins cachés sous des écrans de surface, sur terre, puis en mer, découvrant notamment de vastes bassins de plateformes, hôtes de champs géants, en Arabie, en Russie, au Sahara, sans oublier la mer du Nord. Dans ces années glorieuses, 1950-1980, les découvertes annuelles culminaient de 6 à 8 Gt, pour une production annuelle dépassant les 3 Gt.

Si l'exploration des plateaux continentaux, ne permit que des résultats assez modestes, les bassins ignorés des talus continentaux révélèrent des ensembles pétroliers complexes aux gisements nombreux à défaut d'être géants. Par contre, les rifts à l'initiative des océans de type Atlantique cachaient sous d'épaisses couvertures salines, des champs géants

Tout au long de cette « success-story », les progrès technologiques ont porté essentiellement, comme on leur demandait et avec les résultats que l'on connaît, sur la fiabilité de la reproduction, sur la précision de l'image de l'architecture profonde, et non sur l'enchaînement des événements géopétroliers et la logique de leur succession.

Dans leurs affrontements permanents, les plaques donnent naissance à différents types de bassins sédimentaires. Ces transformations se traduisent par des zones ou des périodes de subsidence, de surrection, d'extension ou de plissements qui affectent les fluides et en particulier les hydrocarbures qu'ils abritent.

Déjà, dans les années 50, Levorsen avait attiré l'attention sur le rôle des aquifères dans le piégeage ou la fuite du pétrole, formulant à cette occasion une nouvelle entité, le piège hydrodynamique.

Dans le nouveau contexte de la tectonique des plaques, le piège, tout en restant l'unique objet de nos implantations, perd de sa superbe pour jouer le rôle de soupape soumise aux aléas des déformations du bassin, chaque rejeu de la subsidence pouvant fournir un complément d'hydrocarbures, chaque surrection un risque de dismigration.

Avec les progrès des différentes disciplines, en particulier géophysiques et géochimiques, le gisement devenait l'aboutissement d'un enchaînement logique de phénomènes géopétroliers, constituant un **système pétrolier**.

C'était là une incontestable avancée de connaissances qui e pouvait que propulser l'exploration vers de nouveaux pics. Pour la première fois on dépassait le stade d l'observation pour celui d'une nouvelle logique, ouvrant ainsi au nouveau monde du numérique la voie à toutes sortes de modélisations. Dans le même temps, les technologies, notamment en matière de sismique, de forage et de production, repoussaient la frontière de l'EP, en particulier du côté des mers profondes.

Ces progrès, tant des concepts que des outils, ne réussirent pas pour autant à redresser une courbe de découverte restant dominée par celle de la production. Il fallut une autre voie pour assurer le relais.

Un retour aux sources

Ce changement de cap résulte en grande partie de la convergence de deux ordres de réflexions.

Les connaissances acquises progressivement par les ayant permis d'évaluer plus précisément le rendement des systèmes pétroliers, les géologues furent fort dépités de leur faibles valeurs, stagnant à quelques pour-cents, à peine une dizaine dans les meilleurs cas. Ceci signifiait que la plus grande part de l'huile générée par la roche-mère, sans négliger l'importance des pertes en ligne, en était demeurée prisonnière.

De leur côté, les ingénieurs spécialisés dans la production des gisements ne se résignaient pas à abandonner autour de 70% de l'huile contenue dans les roches- réservoirs.

Certains champs avaient retenus l'attention par la divergence du montant de leur production et celui de leurs réserves, le « réservoir » se révélant être la roche-mère, une formation du nom de Bazhenov, particulièrement riche.

Le problème était posé. Sa solution attendra plusieurs années, le temps que des opérateurs américains aient l'idée, pour le résoudre, d'utiliser des outils bien connus, le forage horizontal et la fracturation hydraulique.

Ce faisant, ils abandonnaient l'objectif de piège, pour concentrer leur recherche sur une couche particulière, pouvant s'étendre sur une grande part de la province pétrolière. Les dimensions ou superficie d'un tel objectif impliquant changements de faciès et autres discontinuités, le géologue se devait alors de circonscrire les zones les plus favorables tant du point de vue de la richesse en hydrocarbures que des propriétés de fracturabilité.

Ces pétroles de roche-mère se révélant d'excellentes qualités et en quantité considérables, les très faibles taux de récupération étant compensés par l'étendue des objectifs.

Le concept de piège était ainsi dépassé, sans être pour autant déchu. Le système pétrolier était court-circuité, mais non abandonné. Les différences entre produits, conventionnels ou non, obscurcies, le « peak-oil » repoussé, tout en restant inévitable.

Comment avoir une idée de nos ressources dans ce contexte en perpétuels changements ?

« Si l'on ne peut prédire l'avenir, on peut l'inventer »

Dès son premier âge, l'industrie pétrolière n'eut cesse de savoir combien de temps la fête allait encore durer. Les géologues, rendus prudents par les risques du métier, se basaient pour l'essentiel sur les profils de production des gisements connus, exploités selon les techniques en vigueur.

Ces prévisions à court terme, souvent qualifiées de pessimistes étaient régulièrement dépassées par de nouvelles découvertes ou des révisions de production, la prudence des projections n'arrêtant pas l'optimisme des acteurs.

Estimées à une dizaine d'années au début des années 1920, alors que la production annuelle atteignait pour la première fois les 100 Mt, les prévisions dépassaient les 40 ans au cours des années 1980, la production ayant bondi à plus de 3000 Mt !

Emportés par cette vague de progrès, certains, non géologues, n'hésitèrent plus à extrapoler la courbe, sans autre justification que leur imagination, alors que chacun sait que

nous sommes dans un monde fini : une méthode d'estimation des ressources ultimes s'imposait de toute évidence.

C'est le géophysicien King Hubert, qui, le premier, en 1956, propose une approche plus rationnelle. Il prit pour exemple les 48 Etats contigus de la bannière étoilée. Il avait là un ensemble de provinces pétrolières diversifiées, bien connues par une exploration déjà assez mature. Il montra que la production allait prendre la forme d'une « courbe en cloche » dont le proche sommet, qualifié par la suite de « peak oil » par Colin Campbell, annonçait, avec l'amorce du déclin, l'extraction de la moitié des réserves ultimes : c'est ce qui se vérifia (quant à la date du sommet), à un an près.

Forts de ce succès, Colin Campbell et Jean Laherrère appliquèrent, en 1998, la méthode à l'ensemble du monde jugé suffisamment connu. Se limitant, sagement, au pétrole bon marché, ce qui évacuait les aléas économiques, ils proposèrent une estimation des réserves ultimes de 2000 Gb, et l'amorce du déclin au début des années 2010.

C'était sans doute encore une fois un peu pessimiste. De nouveaux bassins pétroliers allaient être découverts dans les offshore profonds ou dans quelques rifts africains, de nouvelles technologies ouvrir de nouveaux horizons inconnus, sans oublier des huiles non conventionnelles, en particulier de roches-mères, non concernées par leur étude.

Bref, la date du « peak oil » ne pouvait qu'être repoussée dans un monde où la notion de conventionnel tend à s'estomper au gré du progrès technique. Repoussé, mais non aux calendes grecques, et toujours inévitable, quelque soient les politiques et les façons de vivre. Non plus un « peak », mais un plateau bosselé.

Ayons confiance. La demande mondiale de pétrole et de gaz ne va pas s'effondrer brutalement et il faudra la satisfaire. Des terres -et des océans- restent à explorer. Nous avons souvent de la peine à envisager ce que nous sommes capable d'imaginer et de réaliser.

Ecoutons cet appel du grand naturaliste Théodore Monod : « soyez réalistes, demandez l'impossible », ou, plus pragmatique, le militant italien Antonio Gramsci : « pessimiste dans la conception, mais optimiste dans l'action ».

Publié Géochronique Sept 2017

Rituelle complainte pour la défense du pauvre mètre.

Diversión.

Dans sa vaillante campagne scientifique d’Egypte, Bonaparte veillait scrupuleusement à l’application des règles et unités qui venaient d’être promulguées à Paris. ,

Aujourd’hui, de grandes sociétés, en particulier dans ce qu’il est convenu d’appeler le nouveau monde, persistent à utiliser, et font prospérer, des unités datant du Moyen-Age avec de minimes différences, histoire, sans doute, de faire autrement ?

Dans le domaine des **longueurs**, par exemple, le **mile**, (statute mile) avec ses 1609 mètres continue à concurrencer le mile nautique (nautical mile) de 1802 mètres. Les anglo-saxons en sont toujours au **pied** (0,3048m) et à la main, plus exactement au **pouce** (0,0268m). Rappelons que l’on est ici dans le système sexagésimal, conçu par les Sumériens il a quelques millénaires, avec 12 pouces (mais des pouces de 0,02769m) dans un pied.

Dans le secteur des **surfaces**, nos amis d’outre atlantique apprécient toujours l’**acre** (0,4047 hectare), que nous leur avons apporté avec l’arpent ordinaire (0,4220 hectare), qui valait 100 perches-mais qui s’en souvient-chez nos ancêtres les Gaulois, à ne pas confondre avec l’arpent de Paris, deux fois plus petit.

Avec 3 dimensions, les choses se corsent. Le **baril**, avec ses 0,1589 m3, règne en maître. Les vigneron, maîtres des tonneaux, et les hydrauliciens, chantres des grands volumes, ont cru plus simple de passer au litre et au mètre cube. Le baril contient 42 **gallons** de 3,785 litres, gallon à ne pas confondre avec le **gallon impérial** et british, de 4,5460 litres, pour s’en tenir là.

Pour les gaz, surgit le **pied cube** de 0,0283 m3, ce qui est vraiment mince pour l’usage que l’on en fait. Cette unité n’a pas de visage, aucune représentation, pas la moindre relation avec les familles voisines : un intrus !

Très curieusement, quand le gaz est liquéfié, ce qui est de plus en plus courant, il se retrouve en tonnes. Etrange logique.

Faut-il voir dans ces archaïsmes les relents sournois d’un certain révisionnisme ? Tout changement serait-il taxé de crime es Rockfeller ? Je n’irai pas jusque-là, mais je trouve que le système international n’était pas inutile.

Je sais que, tel Don Quichotte, je me bats contre des moulins à vent, et il en existe de plus perfectionné, mais leur message à eux s’inscrit en S.I !

Incantades dans l'espace et dans le temps.

« Avant la naissance du Monde, avant..... Avocat, passons au Déluge ». Racine. Les Plaideurs

Omniprésents et invisibles, l'espace et le temps nous accompagnent tout au long de notre existence, sans jamais nous dévoiler leurs véritables identités.

Frères jumeaux par leur naissance conjointes à l'origine de l'univers, ils ne cesseront de lier d'étroites relations, Einstein allant jusqu'à faire du temps la quatrième dimension de l'espace, et les astrophysiciens une mesure de longueur, avec l'année lumière.

Les géologues, plus terre à terre, remontent patiemment l'échelle d'un temps matérialisé par une superposition de roches et de dépôts, les glaciologues se limitant à celle des glaces.

L'homme pressé d'aujourd'hui court après le temps, dans un fugitif présent saturé d'ondes et de réseaux de communication.

Il n'y a là, certes, rien de bien nouveau, seulement un essai de prise de conscience de phénomènes que nous ne faisons, le plus souvent, que survoler hâtivement.

Ce bon vieux temps.

Loin de cette expression familière, le temps mérite bien de retenir un instant notre attention. Pour le « Petit Robert » : « le temps est un milieu indéfini où paraissent se dérouler irrésistiblement les existences dans leur changement, les événements et les phénomènes dans leur succession » ! Belle présentation qui, pour être complète, n'en reste pas moins assez vague.

Les chinois sont plus concis, sans être plus précis en définissant le temps comme « un flux cosmique de souffle et d'énergie ».

Jean d'Ormesson, orfèvre des mots, s'interroge. Le temps ? « on se demande d'où il sort (...), il n'est pas l'éternité (...) il a commencé (...) il finira » (Guide des égarés ; 2014).

Comme chacun sait, sans le dire aussi joliment que l'auteur de « comme un chant d'espérance-2014 », le temps se présente, si l'on peut dire, en trois temps: « l'avenir est nulle part. Le passé n'est plus mais il a été, et, d'une certaine façon, il est partout encore (...). Le présent est une sorte d'éternité (...), sans cesse pressé de passer, et pourtant toujours là ».

De façon plus triviale, nous n'hésitons pas à qualifier le temps des adjectifs les plus variés, prétendant qu'il est libre, qu'il s'envole, qu'on en gagne, et qu'on en perd, quand on ne le menace pas de le tuer.

Tout ceci n'est que littérature. L'important était d'établir des repères dans cet invisible flux, de mesurer ce temps, d'une certaine façon de le maîtriser et de le mettre à notre service.

Il ne pouvait échapper à nos plus lointains ancêtres que la révolution de la Terre autour du Soleil, de la Lune autour de la Terre, et de celle-ci sur elle-même, permettaient de définir les années, les mois et les jours, au moins en première approximation.

Au XVI^{ème} siècle, en effet, le Pape Grégoire XIII, maître du ciel comme des cieux, décréta, à la demande de ses savants, que l'on passerait directement du 4 au 15 Octobre 1582, pour se mettre à jour, si l'on peut dire. Aujourd'hui, la vigilance des astronomes se traduit par l'ajout d'une seconde de temps en temps, comme au 1er Janvier 2017.

Pour découper la journée, les hommes de l'art de l'époque s'en remirent au système sexagésimal, conçu par Sumer au III^{ème} millénaire, avec les heures, les minutes et les secondes, charge aux générations suivantes de concevoir des instruments de mesure de plus en plus précis et fiable, partant du cadran solaire et des clepsydras pour arriver aux horloges et aux chronomètres ; de l'énergie gravitaire aux réactions atomiques.

En dehors de cette tranche de temps, historiens, géologues, astrophysiciens ont utilisé le système décimal, les premiers ajoutant les termes du siècle et du millénaire. Dans l'infiniment bref, les physiciens se contentent d'affecter à l'unité seconde des préfixes milli, nano, pico ...

Forts de ces datations, géologues et astronomes ont commencé à écrire les histoires de la Terre et de l'Univers. Cette dernière put ainsi être reconstituée jusqu'à 14 milliards d'année, date du Big Bang, impossible à outre passer, se heurtant au fameux et mystérieux mur de Planck, au-delà duquel il n'y aurait, ce qui laisse à penser, rien que le néant, ce qui correspond assez bien au terme de création. Pour les savants, comme l'écrit Stephen Hawking dans « Une brève histoire du temps » : « le concept de temps n'a aucun sens avant la naissance de l'Univers ».

L'histoire de la Terre ne « remonte » qu'à 4 ou 5 milliards d'années, l'explosion de la diversité géologique et biologique peu avant 500 millions. Les premiers profils d'hominidés seraient apparus autour de 10 millions d'années, homo sapiens, l'Africain, entre 300 000 et 250 000 ans. Il rencontrera en Europe l'homme de Neandertal qui a occupé le terrain pendant 300 à 400 000 ans, avant de disparaître, assez mystérieusement aux alentours de 40 000 ans.

Longtemps après la maîtrise du feu, circa 500 000 ans, et la première expression du langage, vers 180 000 ans, le Néolithique, il y a quelque 20 000 ans, marque avec la pratique de l'élevage et de la culture, l'entrée dans le monde moderne. La première pyramide d'Égypte, date de 2500 avant notre ère.

On a de la peine à prendre vraiment conscience des durées de ces périodes lointaines, où l'âge moyen de l'homme ne devait guère dépasser la quarantaine. L'âge de « pierre », pense-t-on, aurait duré entre 300 et 500 000 ans. Il se serait écoulé 18 000 ans, de 32 000 à 18 000 ans, entre les décorations des grottes Chauvet et Lascaux.

Les découvertes majeures de la préhistoire, comme la roue, la houe, la poterie, la maîtrise du métal, se succédaient à l'échelle des siècles.

A partir de la Renaissance, il y a quelque 5 siècles, après les Etés des Grecs et des Romains au crépuscule du premier millénaire avant notre ère, le rythme des découvertes et des inventions s'emballe, porté, ces deux derniers siècles, par l'exploitation des ressources fossiles.

La croissance de la consommation, indispensable, à l'amélioration des populations toujours plus nombreuses, est devenue un paradigme associé au concept de progrès, sans pour autant concevoir sa poursuite indéfinie, dans notre monde fini.

La problématique est aujourd'hui de concevoir et de réaliser l'objectif d'un développement durable à l'échelle de la planète. Déjà des voix et des réactions s'élèvent pour mettre fin à cette course folle, certains allant jusqu'à remettre en cause des pans les mieux établis de notre savoir et de nos sciences. Mais le temps n'a pas de marche arrière, le fleuve ne remonte pas à sa source.

Le temps, « cette unique possession que nous ait départi la nature » disait déjà Sénèque, le temps demeure, indifférent aux technologies les plus sophistiquées. Il demeure, mais les réalisations de nos cerveaux les plus créatifs révolutionnent l'espace, et par contrecoup une certaine conception du temps.

L'espace présent

L'espace est pour nous la dimension horizontale de notre monde, complément indissociable de la flèche du temps. C'est ainsi le siècle du présent, terrain privilégié de nos communications et de nos activités.

Pour Jean d'Ormesson, « son origine a quelque chose de fabuleux (...). Il sort du néant (...) entrant par une petite porte, à pas mesurés, dans une phase d'expansion qui se poursuit aujourd'hui » (Guide des égarés.2017)

Pour nous, plus prosaïquement, c'est d'abord notre bien à tous. Nous le voyons parfois vert, mais toujours vital. On ne peut cependant que constater que la brusque expansion des technologies de l'information et de la communication lui donne de nouvelles dimensions, qui transforment rapidement nos comportements.

L'immédiateté et l'universalité, souvent retrouvées dans des expressions à la mode « en même temps » et « en marche », constituent un avantage nouveau au présent et à son corollaire le mouvement.

Un exemple est donné par le retour aux énergies renouvelables, appelées, de gré ou de force, à assurer à long terme le relais des combustibles fossiles.

L'innovation devient avec le court terme, maître du jeu : on ne construit ni ne fabrique plus pour durer, mais pour faire plus efficace, plus sophistiqué. Il devient dès lors inutile de transmettre l'information de génération en génération, d'écrire l'histoire, et a fortiori, de l'enseigner : il suffit de communiquer, ce que Régis Debray traduit en signe d'une nouvelle civilisation. (Civilisation 2017).

C'est bien ce qu'exprimait récemment Laurence de la Ferrière, la grande exploratrice, dans la presse : « le grand changement, c'est la communication (...) Nous ne sommes plus dans le même genre d'aventure ». La communication est devenue un métier. Elle a même droit à une agence officielle. Le faire savoir prend le pas sur le savoir-faire. Qu'importe le volume des données : des algorithmes de plus en plus intelligents sont là pour les traiter.

Cette multiplication des informations, source et cause de réseaux de plus en plus complexes et ramifiés, transforme la mondialisation en planétarisation sans pour autant en faire une civilisation nous dit Robert Redeker (Le Progrès ? point final-2017).

En effet, ce pouvoir de chaque individu incite à un certain repli sur soi, qui touche parfois à l'hédonisme, avec une sensation de liberté qui n'est qu'illusion, vu la multiplicité des connections de tout genre : à un niveau plus intellectuel, ce nouvel âge de la communication pourrait engendrer un néostoïcisme.

Ce retour à un certain individualisme sonne le glas des mémoires et encyclopédies comme des associations, partiellement sauvées par l'esprit caritatif de certaines bonnes âmes. Cette révolution numérique ouvre par contre la porte à un nouveau capitalisme immatériel où de nouveaux géants des services profitent à plein de cet espace sans limites. Preuve, s'il en était besoin, de la permanence et de la vigueur de notre créativité.

Ce qui n'en laisse pas moins d'éternelles interrogations sans réponse, et d'abord à propos de cet espace dont nous ne cessons d'étendre la conquête. Cet espace, sorte d'enveloppe d'un immense univers en expansion croissante, est délimité par définition, mais séparé de quoi ? de quel au-delà ?

Mais, arrivés à cette frontière, les savants ne peuvent que passer la main aux poètes.

L'espace s'envole et

« Le temps s'en va, Le temps s'en va, ma Dame »

« Las, le temps ? Non. Nous nous en allons »

Comme le disait si bien Pierre de Ronsard, il y a quelque 500 ans.

Transition énergétique et développement durable, sous la coupe de Dame Nature.

L'énergie est, à l'image des aliments pour tout être vivant, le principal carburant de nos diverses activités industrielles, quotidiennes ou de service. Le progrès et la diversité de nos technologies n'y changent pas grand-chose.

Au cours des deux derniers siècles, et plus particulièrement durant les « Trente Glorieuses » de l'immédiat après-guerre, la maîtrise des énergies fossiles, charbon et pétrole pour l'essentiel, a permis de répondre, quand elle ne l'incitait pas, à une demande sans cesse croissante, au point d'en devenir source d'interrogations tant en termes d'offre que d'incertitude de la demande. Toute croissance un peu rapide est généralement suivie d'un plafonnement, sinon d'un pic, avant un déclin plus ou moins lointain, chez toute entité vivante ou s'y apparentant.

Si une telle évolution nous ramène, avec un arsenal technologique entièrement nouveau, à un certain retour au passé, la transition énergétique qu'elle entraîne, sans être une réplique symétrique de l'entrée en scène du charbon et du pétrole, n'en risque pas moins d'affecter sérieusement nos comportements et nos modes de vie.

Avec les **énergies fossiles** (EF), nous exploitons un concentré d'énergie que les avatars de la géologie ont patiemment accumulé durant des millions d'années. D'une certaine manière, nous faisons disparaître un capital, aux dépens des générations suivantes. Il convient, cependant, de nuancer cette image. Si le capital est finalement asséché, dame Nature a réparti ses biens en divers lots pour répondre à la curiosité et au savoir-faire des explorateurs et assurer un temps le renouvellement des capitaux.

Avec les **énergies renouvelables** (ENR), nous exploitons non plus un capital, mais des flux qui sont en quelque sorte des manifestations extérieures des « revenus du capital Terre ». Ces flux, déplacements de particules d'air ou d'eau, dépendent très largement du Soleil, soit directement, soit par délégation de variations de pressions atmosphérique. Ils sont gratuits, mais difficilement maîtrisables et pour la plupart intermittents, de façon cyclique aussi bien qu'aléatoire, à l'exception de la gravité.

L'énergie géothermique exclusivité de notre Terre, ne présente pas cette particularité désagréable de l'intermittence, mais reste l'apanage de configurations géologiques précises.

Quant aux bioénergies, plus ou moins en concurrence avec la production alimentaire ou forestière, elles ont dépendantes d'un sol, capital fragile, tout en restant contraintes par les cycles de la nature. Seuls les déchets ménagers constituent une source d'énergie capable de croître en fonction de la consommation.

Les caractéristiques propres des deux grandes familles énergétiques se répercutent inévitablement dans la façon dont nous cherchons à les utiliser, ou, mieux, à les valoriser.

Les EF nous laissent une assez grande liberté d'utilisation, permettant à l'offre de répondre grosso modo aux exigences de la demande, au moins jusqu'à maintenant.

Avec les ENR, nous sommes en permanence sous la dépendance de phénomènes naturels actuels, dont la marche se déroule, en toute indépendance, résolument insouciante de la demande. De plus leur intermittence implique la disposition de sources d'énergies plus dociles, répondant à nos besoins, en l'occurrence des énergies fossiles ou nucléaires. Une contrainte qui nous oblige à maintenir une activité d'exploration et d'exploitation de gaz et de pétrole si nous ne voulons pas courir le risque d'une disette d'énergie, sans négliger le fait que

ces hydrocarbures constituent par ailleurs des matières premières essentielles, tant pour les routes que pour la chimie.

De façon plus littéraire, on peut considérer qu'avec les EF, la nature met à notre disposition un certain nombre de trésors cachés qu'elle nous laisse le soin et la liberté de découvrir et d'exploiter en fonction de nos besoins.

Avec les ENR, elle met à notre service quelque uns de ses agents dont elle garde le contrôle, nous laissant faire notre affaire de les maîtriser dans le cadre strict de ses lois.

Dans tous le cas, dame Nature nous impose un certain nombre de bornes que nos technologies les plus sophistiquées sont dans l'impossibilité d'outre passer ou de contourner ce que l'on gagne en disponibilité avec les ENR, on le perd en liberté d'action. Au fond la transition énergétique se traduit par le resserrement de la mainmise de la Nature sur nos activités. C'est elle, en fin de compte, qui va nous imposer un développement durable.

(simple contribution à des études plus savantes).

Exploration pétrolière et recherche scientifique, même approche.

Les méthodes d'exploration pétrolière depuis un peu plus d'un siècle présentent d'étroites analogies avec celles, très générales, de la recherche scientifique, en vigueur sensiblement depuis la Renaissance.

Dans les deux cas, tout commence par l'observation, vite complétée par des mesures quantitatives et l'acquisition de données. L'étape suivante est consacrée au traitement de ces données pour établir des relations entre elles et concevoir un ensemble cohérent, l'homme cherchant toujours à comprendre, à établir une logique pouvant constituer un modèle. La troisième étape consiste, par un effort d'imagination à sortir du résultat obtenu et à s'aventurer en terre inconnue, souvent au limite du rationnel et du raisonnable, poussé par une soif insatiable de savoir et de pouvoir. Ces trois étapes qui, dans l'une comme dans l'autre recherche se sont succédées dans le temps constituent in fine les trois piliers fondamentaux de notre actuelle méthodologie.

Pour revenir au domaine pétrolier, on se rappelle que le premier âge est basé essentiellement sur l'observation : observation des suintements et autres indices de bitume et de pétrole ; observation, dans un deuxième temps, des structures géologiques et plus précisément la recherche de dômes et anticlinaux de surface, depuis qu'une relation avait été suspectée entre anticlinal et accumulation pétrolière. Observation enfin des illustrations de l'architecture profonde des bassins par l'échographie sismique. Ces différentes observations, qui ont menées au concept de piège, ont longtemps constitué, avec le succès que l'on sait, l'unique argument d'implantations des sondages d'exploration.

Le traitement des données obtenues par ces observations, et quantifiées ensuite, constitue le deuxième temps historique de l'exploration pétrolière. Non content de simplement voir, le géologue cherche rapidement à comprendre les relations entre les différents phénomènes géologiques et pétroliers amenant les hydrocarbures expulsés de leur roche mère à cheminer vers les barrières les amenant à s'accumuler au gré d'une géodynamique incessante du bassin sédimentaire. Recherches qui aboutissent à la notion de système pétrolier, dans un contexte logique permettant la modélisation et dans une certaine mesure, de prévoir.

Le projet d'implantation de nouveaux forages résulte ainsi d'un raisonnement scientifique. Le risque d'échec, sans être annulé, s'en trouve sensiblement diminué, ce qui 'est pas négligeable alors que le rendement de l'exploration s'essouffle.

Ce succès ne saurait pour autant constituer la fin de l'histoire. L'exploitation d'un gisement mène inéluctablement à l'épuisement de son contenu, le renouvellement des réserves implique de nouvelles découvertes, autrement dit la recherche de nouveaux terrains géologiques, techniques et conceptuels.

Plus que jamais l'imagination doit prendre le pouvoir, sans cesser de s'appuyer sur l'observation et la réflexion avec quelque fois un discret coup de main du hasard ?

Rappelons quelques exemples pour être concret :

-Au départ, on note souvent une anomalie, une vue sous un angle différent, une innovation technologique.

A la vue d'un gisement de pétrole en l'absence de toute déformation structurale, des géologues prennent en considération des critères sédimentaires et conçoivent le conseil de piège stratigraphique, une anomalie dans la définition initiale du piège.

-Avec les progrès des performances de la sismique, traversant les couches de sel les plus épaisses de certains fonds océaniques, des géologues retrouvent les berceaux de certains océans avec leur propre potentiel pétrolier.

-Des ingénieurs de production, cherchant à exploiter toutes les possibilités et les profits des forages horizontaux ont pris l'initiative d'y effectuer des fracturations hydrauliques, ce qui débouche sur la production d'hydrocarbures de roches mères.

-L'attrait des zones deltaïques de quelques grands fleuves a occulté par contre l'intérêt des marges voisines des grands estuaires, dont les matériaux sédimentaires en transit allaient enrichir les talus continentaux alentour.

Cette liste est loin d'être exhaustive, mais les exemples les plus emblématiques relèvent sans doute de la recherche de nouvelles provinces pétrolières en terre le plus souvent inconnue.

-Il fallut certainement autant d'imagination que de détermination aux géologues de la Standard oil of California, en 1933, pour concevoir l'intérêt de la plateforme arabe, dépourvue d'indices et de structures, condamnée sans appel par deux rapports d'éminents géologues, fascinés par l'attrait de la zone iranienne, n'hésitant pas à déposer sur le champ une caution de 30 000 livres or au frêle royaume d'Arabie

-De son côté, le Sahara, qualifié, dans la revue annuelle de l'AAPG (American Association of Petroleum Geologists: la grande publication des géologues pétroliers américains jusqu'au milieu des années 40), de zone sans intérêt pétrolier, confirmée par le retrait d'une mission de la Standard oil of New Jersey, voyait débarquer les premières campagnes de terrain du BRP. Le challenge était considérable, car, en dehors de la partie sud, bien isolée, on ignorait jusqu'à l'existence d'un bassin sédimentaire important et ce n'est qu'après l'exécution d'une vingtaine de forage secs qu'un géant apparut.

-De même, quelques années plus tard, pour la Mer du Nord encadrée de pays peu encourageants du point de vue pétrolier. D'ailleurs les sceptiques ne manquaient pas et les premiers résultats semblaient leur donner raison, BP ayant abandonné la plupart de ses permis. Les premières découvertes n'apportèrent que du gaz de peu d'intérêt à l'époque, et le cours du brut bien peu rémunérateurs. Le succès n'intervint qu'en 1970, dix ans après les premiers puits off-shore de Shell, avec la découverte d'Ekofisk, tête de liste d'une longue série de gisements. Les puits secs de ces audacieuses compagnies, réels échecs au point de vue pétrolier immédiat furent pour l'explorateur source d'informations géologiques propres à alimenter et conforter l'imagination et la foi des géologues. Leurs raisonnements sur la possibilité de systèmes pétroliers se sont vérifiés peu à peu pour aboutir, après des succès et des échecs, à la découverte de champs géants et de riches provinces pétrolières.

Ces quelques exemples nous montrent qu'une règle ou une loi considérée comme acquise n'est souvent qu'une première approximation d'une réalité plus complexe et plus riche qu'on ne l'imaginait, qu'un modèle à la fiabilité reconnue risque de n'être qu'une simple cage.

Ils nous font apparaître aussi que l'imagination ne doit pas hésiter à s'aventurer aux confins du raisonnable, sinon du rationnel pour détecter une ouverture inédite, l'irrationnel d'un jour pouvant devenir l'irrationnel du lendemain. « Il faut sortir des habitudes pour entrer dans l'inconnu », nous le rappelait récemment Bertrand Piccard. Si notre monde nous révèle progressivement ses limites, notamment en matière de ressources, la créativité de l'esprit humain n'a pas encore dévoilé les siennes et sur ce point prend l'avantage sur la recherche des ressources fossiles.