

Séance Publique de l'Académie des Sciences Morales et Politiques
11 septembre 2023
Denis Ranque, président de l'Académie des technologies

REFLEXIONS DE NOTRE ACADEMIE SUR L'ENERGIE

Introduction

Je vous **remercie** pour votre invitation à m'exprimer, au nom de l'Académie des technologies, devant votre Académie des sciences morales et politiques ; le sujet, l'énergie, est tout à fait approprié car il concerne au premier chef nos deux académies. Les technologies y sont au cœur, mais aussi la morale et la politique.

Je ne suis naturellement pas le plus compétent, dans notre académie, pour traiter d'un tel sujet, mais je m'appuierai sur les **travaux collectifs** que nous avons réalisés et plusieurs confrères sont ici avec moi pour répondre aux questions pointues que vous ne manquerez pas de poser. Sauf précision contraire, je me situe dans le contexte français.

L'académie des technologies

Notre académie est **jeune**, née en fin 2000 ; elle est la fille, aujourd'hui adulte, de l'Académie des sciences, qui en avait préfiguré l'existence dans un Comité pour l'Application des Sciences au cours des vingt années précédentes ; nos fondateurs et le Gouvernement ont jugé à cette époque que les technologies, dont l'importance dans la vie des citoyens n'est pas à démontrer, justifiaient **une académie de plein exercice**.

Nous sommes structurés, non pas par discipline technique (mécanique, chimie, électronique comme l'Académie des sciences...), mais autour de quelques **finalités** essentielles, qui sont en fait autant de **défis** : l'alimentation, la santé, l'industrie, l'habitat et les mobilités, mais aussi l'environnement, la culture... avec une forte prise en compte des dimensions économiques mais aussi sociales.

C'est ainsi que notre devise n'est pas « Vive la techno ! », mais bien « Pour un Progrès, raisonné, choisi et partagé » ; nous accordons en effet beaucoup d'attention aux interactions entre les technologies et la Société. Dans le contexte actuel où l'expertise est mise en question, où les fausses nouvelles ont plus d'impact que les vraies, nous visons à devenir un « tiers de confiance » sur les technologies, nous exprimant en toute **indépendance** et ne recherchant que **l'intérêt général**, ce qui est un positionnement tout à fait unique dans notre pays, dans notre champ de compétences.

Ainsi avons-nous surpris les observateurs en publiant en mai dernier un document sur la « Sobriété », soulignant que, si les technologies sont bien indispensables pour relever le défi climatique, elles n'y suffiront pas et doivent être complétées par un changement des comportements, voire des valeurs, individuels et collectifs, dans le sens de la « satisfaction du juste besoin ». J'y reviendrai.

Pourquoi une transition énergétique

L'énergie occupe dans notre académie une place particulière, car elle conditionne l'activité économique et le bien être humain ; mais elle contribue aussi largement aux émissions de gaz à effet de serre, et donc au changement climatique. Nous y consacrons, directement et indirectement, de l'ordre d'un tiers de nos travaux. Et je me réjouis que vous nous ayez convié à cette séance pour évoquer ces questions.

L'humanité a vécu de multiples transitions énergétiques : nous sommes passés successivement de la seule force humaine, puis animale, aux moulins à eau et à vent ; à la vapeur puis l'électricité ; le charbon, les hydrocarbures, le nucléaire... Ces transitions ont été lentes, progressives, avec des chevauchements de technologies. Il n'y a pas eu, ou très peu, de retours en arrière (à l'exception

notable du nucléaire dans quelques pays). Et nous avons observé une relative uniformité entre les régions du monde, avec seulement des décalages dans le temps.

La transition actuellement nécessaire est un formidable défi, le plus grand de tous les temps, car elle se doit d'être **extrêmement rapide** et en principe **universelle et coordonnée**. Il a fallu respectivement un et deux siècles pour devenir dépendants du pétrole et du charbon ; il nous faut apprendre à nous en passer en à peine un quart de siècle.

Cette transition concerne les moyens de production mais aussi tous les usages : c'est en fait une **révolution** ; dont les grandes composantes sont technologiques, économiques et sociales ; mais aussi morales et politiques, ce qui vous concerne au premier chef.

Une révolution technologique

- En Europe, plus de 80 % des émissions de GES résultent de la production et la consommation d'énergie : production d'électricité, chauffage, transports et industrie. Et bien sûr ces émissions sont issues de la combustion de combustibles fossiles. Atteindre Net zéro en 2050, **c'est sortir quasi intégralement des énergies fossiles**. S'il reste un solde incompressible, il devra être compensé par de la captation et du stockage du CO₂, dont le potentiel est par nature limité.
- Pour remplacer les énergies fossiles dans leurs différents usages, il n'y a en pratique que deux voies :
 - la **biomasse**, qui émet du CO₂ mais elle l'a préalablement capté par la photosynthèse. Elle est donc « neutre en carbone » mais elle est en quantité limitée et en conflits d'usages.
 - L'**électricité décarbonée** (renouvelable et nucléaire), assurera donc le gros de la conversion. En effet les sources d'énergie primaire que sont les renouvelables (éolien, hydraulique et solaire) et le nucléaire ne sont utilisables qu'après leur conversion en électricité, si on excepte quelques usages limités sous forme de chaleur directe (chauffe-eau solaire, petits réacteurs nucléaires calo-gènes). La chaleur d'origine géothermique, également renouvelable, peut jouer un rôle pour les applications de chauffage résidentiel et tertiaire.
 - **Bien sûr il reste le retour à l'énergie musculaire, humaine ou animale, mais elle est** en quantité tellement limitée que leur généralisation ne pourrait se faire qu'au prix d'une régression économique et sociale absolument inacceptable et, de plus, incompatible avec la population actuelle de la planète.
 - Donc en pratique deux vecteurs seulement.
- La **biomasse** :
 - Elle est en **quantité limitée**, surtout sous nos latitudes tempérées. La ressource est hétérogène, de composition et de qualité variable, multipliant et compliquant les process et techniques d'utilisation.
 - Dans la trajectoire de décarbonation, de nombreux secteurs économiques devront se tourner vers le **biogaz**. Garder la flexibilité d'usage du biogaz deviendra important et stratégique. Les usages qui pourront demain valoriser le biogaz sont le transport (une partie du transport routier lourd et maritime), la compensation de l'intermittence dans le système électrique, la chimie pour la production d'hydrogène, de méthanol, d'ammoniac.
 - Sa **distribution géographique** est par nature très dispersée, imposant soit des usages eux même dispersés et limités, soit des transports coûteux en émissions.

Par exemple son utilisation pour fabriquer des biocarburants requiert une chaîne logistique complexe.

- Enfin la biomasse est source de **conflits d'usage**, d'une part entre secteurs économiques (ex compétition entre carburant pour l'aviation, bois de chauffage ou de construction) et d'autre part avec l'alimentation et la biodiversité.
- Bref une contribution limitée ; difficile de donner une limite exacte, qui dépend des pays, des climats et des modes de vie, et qui évoluera avec le changement climatique. Dans tous les cas la biomasse énergie ne sera pas suffisante pour assurer une décarbonation profonde des économies, ce qui nécessite donc le développement d'autres filières.

- **L'électricité décarbonée (renouvelable et nucléaire)**

- Depuis plusieurs années notre académie a régulièrement souligné que **notre pays sous-estimait systématiquement et dangereusement les besoins d'électricité à l'horizon 2030 et plus encore 2050**. On en connaît bien la raison, toute politique : il fallait démontrer que l'on n'avait plus besoin de nucléaire. Aujourd'hui les yeux s'ouvrent et il devient évident que le vecteur électrique sera le moyen de décarbonation le plus important :
 - Soit directement dans les applications où le problème du stockage ne se pose pas, tels que le chauffage des bâtiments (PAC) ou une partie des usages industriels, ou peut être résolu relativement simplement, tels que les véhicules électriques,
 - Soit indirectement en transformant l'électricité en combustibles et carburants de synthèse : hydrogène, SAF, méthanol, ammoniac... pour les transports (aériens, maritimes et routiers lourds) et les autres usages industriels.
- **L'hydrogène** est un vecteur énergétique d'avenir ; notre académie a appelé l'attention sur les enjeux de disponibilité, de coût et de sécurité associés ; nous pensons qu'il doit être réservé aux usages où les alternatives n'existent pas ou sont encore plus coûteuses. Ainsi, sauf cas très particuliers, injecter l'hydrogène dans le réseau gazier est un non-sens ; l'utiliser pour stocker l'électricité et la régénérer ensuite est fortement pénalisant en rendement, et le mix électrique doit être dimensionné pour éviter cette option (nucléaire, renouvelables hydraulique, PV, éolien, biogaz). De même les circulations terrestres (véhicules légers et même poids lourds peuvent grâce au progrès des batteries être assurées par une utilisation directe d'électricité. La transformation d'électricité en hydrogène pour ensuite alimenter des piles à combustible qui vont, à bord du véhicule, produire de l'électricité, est trois fois moins efficace. La priorité sera d'utiliser l'hydrogène décarboné pour son pouvoir chimique réducteur plutôt que pour le brûler : d'abord pour remplacer l'H₂ actuellement utilisé dans l'industrie et les raffineries, aujourd'hui produit par reformage de gaz naturel, procédé fortement émetteur de CO₂. Puis en remplacement d'autres molécules réductrices carbonées, tel que le coke pour la fabrication de l'acier ; l'hydrogène sera la brique élémentaire pour produire les molécules énergétiques pour la fabrication d'engrais et de carburants durables.
- Nous nous sommes penchés cette année sur la **décarbonation des transports aériens et maritimes**, dans un rapport sur les carburants aériens durables, complété très prochainement par une feuille de route pour leur mise en œuvre dans ces deux secteurs, qui représentent environ chacun 3% des émissions mondiales. Nous montrons la faisabilité technique de ces carburants,

identifions les technologies disponibles et celles dont le développement doit encore être poursuivi, et les conditions de réussite. Parmi celles-ci, la plus importante est la disponibilité de grandes quantités d'électricité décarbonée. L'UE a déjà fixé des objectifs chiffrés pour ces deux secteurs aux échéances 2030 et 2050. Pour la France seule, cet objectif 2050 nécessite la production d'une centaine de TWh annuels (soit l'équivalent de un peu moins de 10 EPR supplémentaires), à mettre en regard d'une consommation électrique d'environ 800 TWh, soit près du double de la consommation actuelle, nécessaire pour atteindre le Net Zéro carbone en 2050.

Une autre conclusion en est que ces productions devront se faire dans de grandes unités industrielles, combinant la production d'H2 par électrolyse, la captation du CO2 qui fournit le composant carbone, et la synthèse chimique des carburants, non seulement pour supprimer le coût des transports intermédiaires, mais aussi pour optimiser le rendement énergétique.

- **Le nucléaire** Notre académie a parfois été qualifiée de nucléophile voire nucléocrate ; il est vrai qu'elle a fait partie des quelques institutions qui ont osé rappeler régulièrement, pendant les années de doute et de flottement dans notre pays, l'importance de cette source d'énergie aux plans économique, stratégique et environnemental. Mais elle a toujours pris garde à ne pas l'opposer aux énergies renouvelables, elles aussi indispensables pour réussir la décarbonation. Les positions extrêmes de l'un et l'autre camp n'ont eu comme résultat que de différer les investissements dans les deux voies. Nous avons eu l'occasion d'exprimer notre avis sur le nucléaire dans le cadre de nos travaux sur France 2030 ; en résumé, les grands enjeux ont les suivants :
 - Conserver l'avantage procuré par notre parc actuel en prolongeant sa durée de vie dans les conditions optimales de sûreté
 - Réussir la mise en service des EPR actuels et la construction des EPR2
 - Rétablir la compétitivité et la cohérence de toute la filière, mise à mal par les années d'incertitude
 - Fermer le cycle du combustible, en développant une filière de réacteurs capable d'utiliser le plutonium issu du retraitement, et de fissionner l'ensemble des atomes d'uranium. Les réacteurs à neutrons rapides ont cette capacité ; ils n'ont pas vocation à se substituer aux REP, mais à les compléter en fermant le cycle. Ces réacteurs, dont la température est sensiblement plus élevée que les réacteurs à eau légère peuvent également contribuer à la production de chaleur industrielle décarbonée et d'hydrogène. Un choix de technologie est à faire parmi plusieurs voies possibles pour le refroidissement (sodium, métal fondu, sels fondus), après des études en parallèle pendant quelques années.
 - Compléter l'offre française de gros réacteurs par le développement de nouveaux concepts de petite taille, permettant de simplifier la conception et de bénéficier d'un effet de série (SMR). Au nombre desquels Nuward, associant les acteurs historiques de la filière, mais aussi d'autres projets en cours d'examen dans le cadre de France 2030.

Et une mutation économique et sociale

- On mesure ainsi le **besoin colossal d'investissement** pour tenir les objectifs fixés. (Conversion de la demande, et production de l'offre nouvelle).

- En effet on croît parfois, à tort, qu'il suffit de produire de l'électricité décarbonée, en construisant des éoliennes, des centrales nucléaires et en posant des panneaux solaires. Encore faut-il que la **demande** d'énergie se convertisse elle-même en demande d'électricité, ce qui est bien plus difficile car dépend de décisions individuelles et diffuses.
- Curieusement ce n'est que récemment que la question **des investissements** a émergé dans le débat national et les chiffres restent un peu incertains. Plusieurs milliers de milliards d'euros en trente ans (selon la Cour des comptes européenne : 11.000 milliards d'euros pour l'Europe en 30 ans ; plus de 100 milliards d'euros par an pour la France
- Le **système** de production et de consommation énergétique est extrêmement **complexe**. Le « bouclage » et la cohérence des objectifs est très difficile car chaque secteur et chaque vecteur interagit avec les autres. Plus difficile encore est la mise en cohérence des objectifs et des moyens, tant le sujet est vaste et systémique. Malgré de bonnes intentions, notre Gouvernement en fait l'expérience, et la situation est bien plus confuse encore dans les autres pays.
- Il est clair que le fonctionnement normal de **l'économie de marché** ne permettra pas une telle révolution, surtout à la vitesse nécessaire. Les **mécanismes correcteurs** de marché à mettre en œuvre par la collectivité publique restent toutefois difficiles à concevoir, à mettre en place et à dimensionner. Qu'il s'agisse des champs réglementaire, normatif, fiscal, incitatif... leur mise en cohérence est difficile.
- En positif, ces investissements sont aussi l'opportunité de lancer de **nouvelles industries** : en particulier nous devons préserver et développer notre compétitivité dans l'éolien off shore flottant, le nucléaire, l'hydrogène bas carbone, le CCUS (carbone capture usage et stockage) et la production de carburants durables. Il faut également développer et industrialiser les technologies avancées du solaire photovoltaïque (technologies tandem et couches minces), car aujourd'hui la production des composants du PV vient de Chine à 80%
- Et cependant **la technologie ne peut pas tout. La sobriété est essentielle** (objectif : au moins 40 % de réduction des consommations).
 - Il faut à la fois de l'efficacité énergétique et des changements de comportement
 - Des changements individuels et collectifs, voire systémiques
 - Qui eux-mêmes seront aidés par la technologie : procédés plus efficaces ; optimisation des consommations par le numérique etc.
- L'adhésion sociale est **tout sauf acquise et pourtant essentielle** (voir les réactions, par exemple en Allemagne au refus des limitations de vitesse ou à la poursuite de la vente des véhicules thermiques. Ou en France les gilets jaunes)

La révolution énergétique est en effet porteuse de **conflits de valeur** entre l'objectif climatique et le bien-être d'aujourd'hui : c'est une question éminemment politique et géopolitique, objet de ma dernière partie.

De multiples interrogations d'ordre éthique et géopolitique

- **L'arbitrage pays riches/pays pauvres.** Ce sont les économies développées qui ont émis le CO₂ provoquant le réchauffement en cours : peut-on priver de ce développement les pays

non encore développés, ou leur en renchérir le coût ? Faut-il les « indemniser » et comment ? Faut-il que la tonne de CO₂ émise ait le même prix pour tous les pays ? Faut-il faire la course seuls, en leur donnant le temps de nous rejoindre, alors qu'évidemment ce CO₂ franchit les frontières et que seule compte la réduction globale ?

- Comment traiter **la Chine et l'Inde**, déjà émetteurs majeurs mais non considérés comme développés ?
- **L'Europe** se donne des objectifs très ambitieux (ZEN en 2050 ce qui est bien au-delà de l'accord de Paris). Quid si d'autres pays (« passagers clandestins ») en profitent pour ne pas faire d'efforts ou les différer notablement ?
- Et **l'égalité intergénérationnelle**. C'est la génération active qui va payer la transition en acceptant d'investir plus et de consommer moins. Ce ne sont pas les générations qui ont produit les émissions passées et stockées dans l'atmosphère qui payent. Et ce sont les générations suivantes qui en bénéficieront : elles auront le double bénéfice d'une maîtrise du CO₂ dans l'atmosphère, au moins partielle, et d'une richesse accrue ou au moins préservée.
- **Le choix européen est celui de l'exemplarité**, mais va-t-il tenir dans la durée, si les autres régions ne suivent pas ? Et ce choix est-il optimal et soutenable ? Ce sera l'objet de mon dernier point

Le contexte européen : la France et l'Europe

- Par **le traité de Lisbonne**, la France a transféré à l'Europe (dans le régime de la majorité qualifiée) les règles de la politique énergétique, mais sous certaines conditions :
 - Assurer la sécurité d'approvisionnement
 - Maîtriser les prix par le jeu du marché
 - Laisser à chaque pays le choix de son mix énergétique

Cependant aucun de ces objectifs n'a été atteint ; la guerre en Ukraine a montré que la sécurité d'approvisionnement n'était pas bien assurée. Les prix et particulièrement ceux de l'électricité n'ont fait que monter. Et par toutes sortes de réglementation directes et indirectes, l'union européenne impose ses choix, qui sont aussi des choix allemands, de mix énergétique : « tout renouvelable », sortie du nucléaire.

- Et comble, la France – un des pays européens les moins émetteurs de CO₂ (chaque français émet deux fois moins de CO₂ que son ami allemand) est qualifiée de mauvais élève et subit des pénalités et des sanctions pour non-respect du mix énergétique imposé.
- La politique suivie, qui impose de facto un mix énergétique, en imposant les moyens de décarbonation et pas seulement les objectifs, et qui ne fixe aucun objectif de sécurité d'approvisionnement, n'est pas conforme aux intérêts de notre pays, ni d'ailleurs aux traités.
- Jusqu'à quel point peut-on (doit-on) contester la politique européenne qui, conduisant à des importations considérables d'énergie (hydrogène) n'est pas conforme aux intérêts nationaux ? Ou simplement l'aménager pour la rendre compatible avec nos propres objectifs ?
- Pour assurer notre réindustrialisation, absolument nécessaire pour des raisons d'équilibres économiques, de cohésion sociale, et surtout de souveraineté, il faut une énergie décarbonée, abondante et compétitive. Comment faire dans un continent où l'énergie est chère et les « fuites de carbone » non maîtrisées, faute d'un mécanisme cohérent et efficace

d'ajustement carbone aux frontières de l'Union ? Et face à des continents appliquant des règles de soutien différentes (IRA, Chine) ?

Et en conclusion j'espère vous avoir convaincus, s'il en était besoin, que la transition énergétique est loin d'être un sujet pour notre seule académie des technologies ; nous serions ravis que votre académie s'associe à la nôtre pour aider notre pays et notre Europe à répondre aux multiples questions qu'elle pose.