

Investir dans la connaissance pour plus de liberté ?

Nathalie Popiolek*

Il y a dix ans, dans son numéro 599 de janvier-février 2011, La Revue de l'Énergie publiait l'article intitulé «La dépense de R&D en quelques chiffres clé, avec un éclairage particulier sur le secteur énergétique». Nous souhaitons aujourd'hui mettre cet article en perspective à la lumière des crises actuelles au premier rang desquelles se situe la pandémie mondiale à coronavirus 2019 (Covid-19) qui a privé — et prive toujours à l'heure où nous écrivons — le monde entier de liberté et qui vient renforcer, tant dans l'opinion publique que dans l'action des gouvernements, la prise en compte de ce que les Anglo-Saxons appellent le «global change».

La crise sanitaire d'ampleur inédite provoquée par la propagation de la Covid-19 à l'échelle de la planète marque le point de bascule entre le monde d'avant et le monde d'après. Cependant, malgré son incidence sur l'ensemble des économies et des populations mondiales, elle n'a pas relégué au second plan la crise climatique. Au contraire, les mesures publiques qui, en Europe comme aux États-Unis, sont mises en place pour relancer l'économie, vont plutôt conforter les politiques environnementales et climatiques. Cela revient en quelque sorte à synchroniser les horloges entre les exigences d'une pandémie qui demandent d'agir à court terme, «quel qu'en soit le prix», et celles du développement durable qui sont davantage une affaire de long terme.

C'est dans un tel contexte, où les échelles de temps se superposent, que nous souhaitons montrer comment la R&D est susceptible d'ouvrir le champ des possibles vers l'objectif de neutralité carbone à l'horizon du milieu du siècle, tout en favorisant une économie et une société plus résilientes à la survenue de crises inattendues. En d'autres termes, on se propose

de s'interroger sur les liens entre la connaissance — qui est alimentée par les activités de R&D, et la propension des sociétés à vivre plus libres. Cela appelle à un véritable débat science-société que nous aborderons ici très modestement en soulevant quelques questions qui nous semblent importantes. Mais au préalable, nous posons un cadre concret au débat en resituant, par rapport à notre précédente publication, les efforts consentis aujourd'hui à l'échelle mondiale en faveur de la R&D, avec une attention particulière portée au secteur très carboné qui est celui de l'énergie.

Quel poids représente la R&D dans l'économie mondiale ?

Comme le montre la Figure 1, la dépense dans la recherche a augmenté ces dix dernières années en Europe, en Asie et dans le monde où elle est passée d'un peu moins de 1 100 milliards de USD₂₀₁₀ en 2008 à près de 1 400 en 2018. L'investissement dans la connaissance est incontestablement un atout incontournable tant pour la compétitivité des nations que pour celles des entreprises, et l'on peut mesurer le bond spectaculaire en la matière de la Chine qui

* Adæquate consulting (cf. biographies p. 83-84).

IL Y A DIX ANS DANS LA REVUE

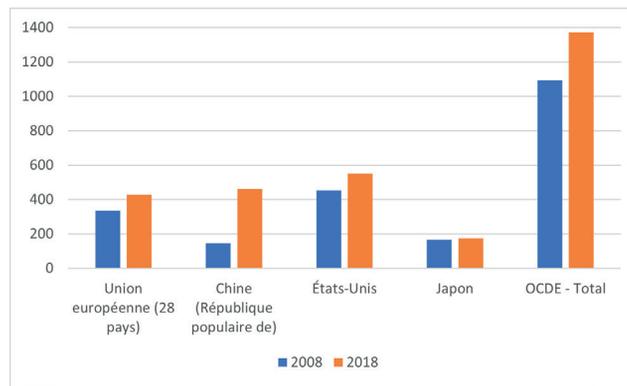


Figure 1. Dépenses intérieures brutes de R&D en milliards de USD₂₀₁₀

Source : OCDE (2021)

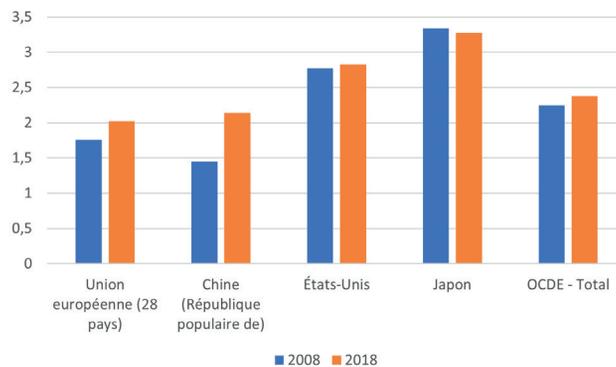


Figure 2. Dépenses intérieures brutes de R&D en pourcentage du PIB

Source : OCDE (2021)

souhaite ainsi rivaliser avec les États-Unis. L'excellence scientifique est devenue aujourd'hui une véritable industrie et les grandes universités mondiales se mettent toutes en ordre de bataille pour figurer en haut du classement de Shanghai qui est publié chaque année depuis 2003 sur la base de critères académiques.

Toutefois, il est intéressant de relativiser ces dépenses de R&D par rapport au produit intérieur brut (PIB) des pays ou zones géographiques considérées. La Figure 2 révèle ainsi la position dominante du Japon en 2008 comme en 2018 d'ailleurs. Elle souligne dans le même temps la difficulté pour l'Europe d'atteindre l'objectif qu'elle s'était fixé en avril 2000 à Lisbonne de devenir en dix ans « l'économie de la connaissance la plus compétitive et la plus dynamique du monde » avec 3 % du PIB dédié

France	2,20
Allemagne	3,09
UE-28	2,18
États-Unis	2,84

Tableau 1. Dépenses en R&D en pourcentage du PIB pour l'année 2018

Source : OCDE (2021)

Les dépenses intérieures brutes de R&D désignent la dépense totale (courante et en capital) afférente aux travaux de R&D exécutés par l'ensemble des entreprises, instituts de recherche, laboratoires universitaires et publics, etc., résidents d'un pays. Cette dépense intègre la R&D financée à l'aide de fonds provenant de l'étranger, mais exclut le financement d'activités de R&D exécutées à l'étranger. L'indicateur est mesuré en prix constants en USD en utilisant 2010 comme année de référence et les parités de pouvoir d'achat (PPA).

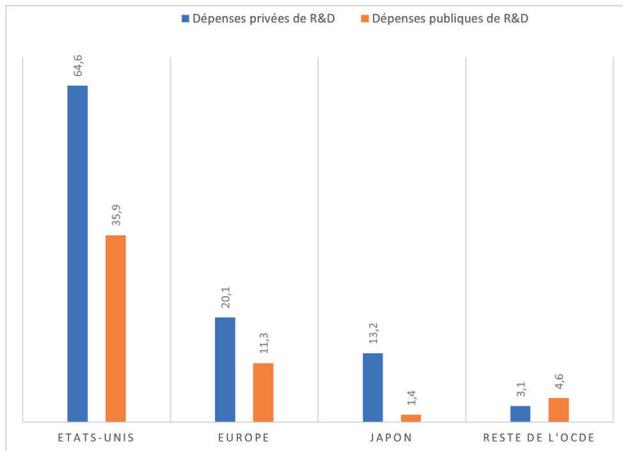


Figure 3. Dépenses de R&D dans le secteur pharmaceutique en 2016 en Md\$

Source : OCDE (2019)

au financement de la R&D. Force est de constater que l'objectif n'est toujours pas atteint vingt ans plus tard (voir le Tableau 1).

D'ailleurs dans le contexte actuel, nous serions tentés de mettre ce budget relatif en corrélation avec la perte de vitesse de l'Europe dans la course aux vaccins contre la Covid-19. Les Figures 3 et 4 montrent l'écart colossal — même en relatif par rapport au PIB — entre l'Europe et les États-Unis en matière de dépenses de R&D dans le secteur pharmaceutique. En sus de l'investissement dans la recherche, la politique et la stratégie industrielles constituent également une clé de réussite pour innover. Et malheureusement, excepté au Royaume-Uni, les groupes pharmaceutiques européens ne se sont pas avérés suffisamment créatifs pour relever à temps le défi face au virus. À l'heure où nous écrivons (février 2021), les trois seuls vaccins autorisés par l'Agence européenne des médicaments sont ceux de Pfizer et Moderna (États-Unis) et AstraZeneca (Royaume-Uni).

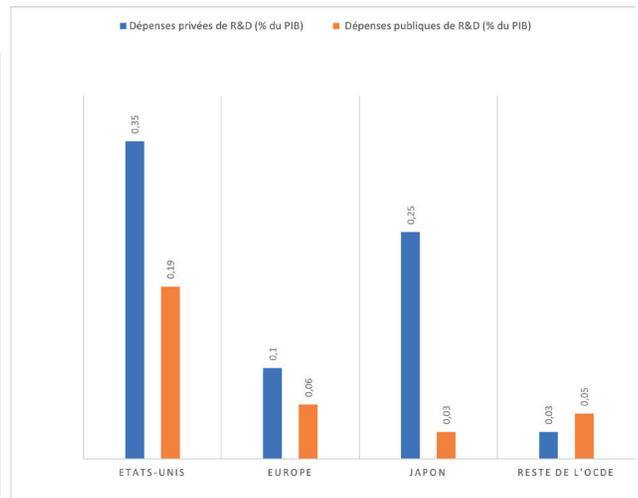


Figure 4. Dépenses de R&D dans le secteur pharmaceutique en 2016 en pourcentage du PIB

Source : OCDE (2019)

Quel poids représente à l'échelle des pays industrialisés le financement public de la R&D dans le champ énergétique ?

Nous parlions en introduction de la transition à opérer entre le monde d'avant et celui d'après plus respectueux de l'environnement et du climat. Quand on sait que les émissions mondiales de CO₂ sont issues à 88 % de la combustion d'énergies fossiles (39 % pour le charbon, 30 % pour le pétrole et 19 % pour le gaz naturel)¹, on est en mesure d'attendre un effort particulier dans le secteur énergétique pour substituer les technologies émettrices de gaz à effet de serre par des technologies neutres en carbone, mais aussi pour augmenter l'efficacité des systèmes énergétiques. Même si ce n'est pas le seul, l'investissement dans la recherche et l'innovation fait partie des instruments d'action publique à déployer pour effectuer cette transition. La question est complexe et les thématiques de recherche associées extrêmement larges, allant de la recherche fondamentale — notamment pour comprendre

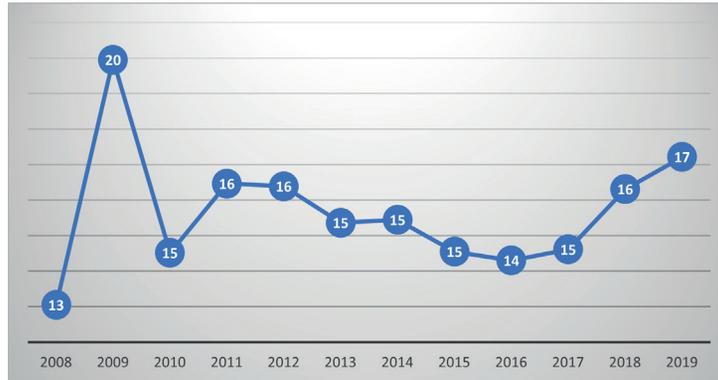


Figure 5. Dépenses publiques de R&D énergétique totale pour les pays du G7 en milliards USD₂₀₁₉

Source : Energy Technology RD&D Budgets (AIE),

<https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/energy-technology-rdd>

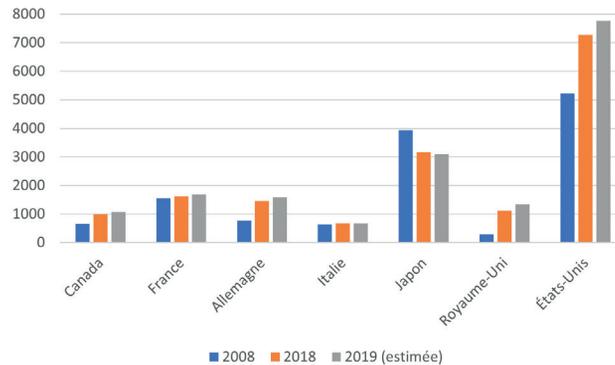


Figure 6. Dépenses publiques de R&D énergétique en millions de USD₂₀₁₉, ventilées par pays

Source : Energy Technology RD&D Budgets (AIE)

le cycle du carbone dans les océans, les sols et les forêts, à la recherche très appliquée — pour déployer les technologies décarbonées, en passant par des recherches en sciences humaines et sociales pour analyser la stratégie des acteurs, décrypter les usages, encourager la «sobriété carbone», favoriser les innovations organisationnelles vertueuses du point de vue climatique, promouvoir des sources de créativité, etc..

Malgré cette diversité, nous nous focalisons ici, comme nous l'avions fait il y a dix ans, sur les dépenses intérieures brutes publiques de R&D «dite énergétique» en suivant la typologie retenue par l'Agence Internationale de

l'Énergie (AIE)². Sur la Figure 5 qui concerne les pays industrialisés du G7, nous observons en 2009 une augmentation massive de ces dépenses que nous pouvons attribuer en grande partie au programme de relance américain après la crise financière [Leprince, Popiolek, 2016]. Nous constatons par ailleurs sur la période récente une croissance régulière des financements qui dépassent 17 Md\$ en 2019, les États-Unis étant largement en tête en absolu avec 7,8 Md\$, devant le Japon (3,1 Md\$) et la France (1,7 Md\$) proche de l'Allemagne (1,6 Md\$). Excepté pour le Japon, ces montants sont supérieurs à ceux de 2008 (cf. Figure 6).

Investir dans la connaissance pour plus de liberté ?

En relatif, les dépenses publiques de R&D énergétique des pays du G7 représentent, en 2019, 0,04 % de leurs PIB cumulés [Laghouati, 2020]. Elles portent la France qui investit à un niveau soutenu dans la recherche nucléaire, en troisième position (0,051 %) derrière le Canada (0,056 %) et le Japon (0,057 %) (sources AIE données 2019 estimées). La Figure 7 met en évidence que cette part relative a augmenté en particulier au Royaume-Uni, en Allemagne et aux États-Unis tandis qu'elle a diminué au Japon et plus modérément en France. Ces photographies ponctuelles des années 2008, 2018 et 2019 reflètent effectivement une tendance constatée sur l'ensemble de la période 2002-2019 [Laghouati, 2020].

Dans une analyse qui se réfère à la transition écologique, les dépenses de R&D fléchées vers les énergies fossiles devraient être considérées à part — à moins qu'elles ne soient liées à des projets de décarbonation de l'économie à l'instar des projets voués à la capture et la séquestration du CO₂ (voir leur part relative dans le budget total, Figure 8).

Globalement, pour l'ensemble des pays du G7, la tendance générale est à l'augmentation du poids relatif des nouvelles technologies de l'énergie³ qui constituent en 2019 le premier poste de dépense, à l'exception de la France où le nucléaire reste en tête (63 %

des dépenses de R&D énergétique) [Laghouati, 2020]. Nous constatons par ailleurs que les recherches transversales ont pris plus d'ampleur ces dernières années, la transition énergétique nécessitant comme nous l'avons déjà souligné des recherches pluridisciplinaires de portée systémique.

La place de la R&D dans les plans de relance

Nous venons de voir que les gouvernements des pays industrialisés investissent de plus en plus dans la R&D en faveur des technologies décarbonées. Cette évolution s'inscrit dans la mouvance des politiques environnementales impulsées par les négociations mondiales sur le climat. En Europe par exemple, le nouveau programme-cadre pour la recherche Horizon Europe (2021-2027) se décline au sein du pacte *European Green Deal* que la Commission a placé au cœur de son mandat au moment de la prise de ses nouvelles fonctions en décembre 2019 en amont de la 25^e session de la Conférence des Parties (COP25). Pour «faire de l'Europe le premier continent climatiquement neutre en 2050», la recherche et l'innovation sont mises à contribution et le programme Horizon Europe bénéficie d'un budget plus conséquent que le précédent H2020⁴.

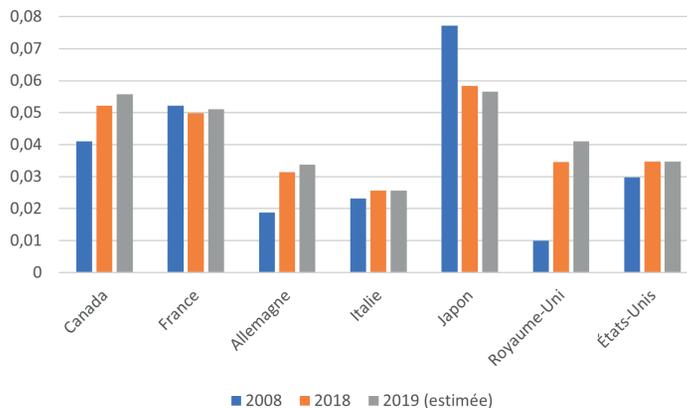


Figure 7. Dépenses publiques de R&D énergétique en pourcentage du PIB

Source : Energy Technology RD&D Budgets (AIE)

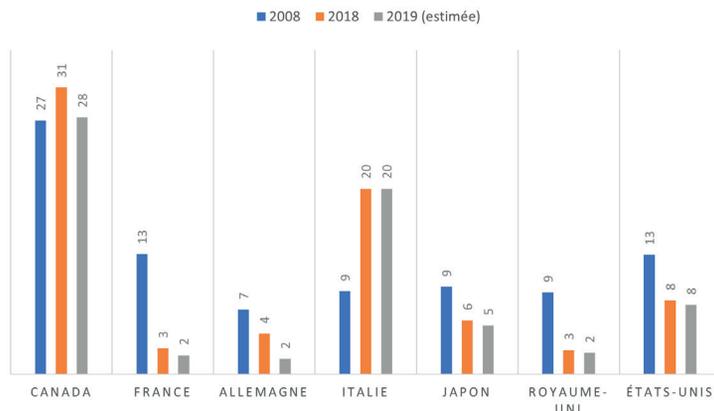


Figure 8. Dépenses publiques de R&D fossile en pourcentage de la R&D énergétique totale

Source : Energy Technology RD&D Budgets (AIE)

Revenons au contexte sanitaire actuel pour évoquer les mesures de relance que les puissances publiques ont impulsées pour juguler les effets de la crise et préparer dans le même temps le monde d'après. Il est intéressant de situer la place donnée à la recherche dont les fruits se récoltent plutôt à long terme — même si des impacts directs et indirects peuvent se faire sentir aussitôt (achats, emplois, etc.) [Taverdet-Popiolek, 2021]. Aux États-Unis par exemple, le président nouvellement élu Joe Biden compte dédier une part importante du plan de relance américain à la R&D notamment dans les domaines du numérique et de la santé. Les mesures de relance d'urgence — pour un budget de 1900 Md\$ (1573 Md€), seront suivies d'un plan d'investissements dans l'économie verte et l'innovation en faveur des technologies du futur comme la 5G, les véhicules autonomes ou l'intelligence artificielle (AFP, janvier 2021). En Europe, dans le paquet de relance pour la prochaine génération de la Commission — *The Commission's Next Generation EU* — doté de 750 Md€, 5,4 Md€ (prix courants) sont fléchés sur la recherche et l'innovation. Ce financement, relativement faible — moins de 1 % du budget de relance, vient toutefois compléter le budget du programme Horizon Europe qui avoisine ainsi les 95,5 Md€ sur la période 2021-2027 (30 % plus élevé que H2020)⁵.

En France, le gouvernement a également établi en septembre 2020 un plan de relance de l'économie d'un montant de 100 Md€ (4 % du PIB), avec le double objectif de pallier les conséquences économiques et sociales de la crise sanitaire et de « construire la France de 2030 ». Ce plan qui comprend trois volets principaux, l'écologie, la compétitivité et la cohésion sociale, se décline en 25 mesures qui pour certaines ont une dimension scientifique et technologique marquée [Papon, 2021]. L'écosystème de recherche, d'enseignement supérieur et d'innovation est d'ailleurs concerné par plusieurs actions (dont 2 au titre du plan d'investissements d'avenir) pour un montant total de plus de 6,5 Md€ sur 3 ans⁶.

Après ce tour d'horizon sur l'organisation de la recherche et les dépenses qui lui sont dédiées dans les pays industrialisés — avec une focalisation sur les dépenses publiques bien que le secteur privé ait une importance majeure dans le processus d'innovation, nous souhaitons prendre un peu de recul et réfléchir au rôle joué par la connaissance dans la transition.

Pourquoi et comment mobiliser la connaissance pour changer de monde ?

Les activités de recherche alimentent la connaissance qui constitue un stock assez particulier qui ne s'épuise pas quand on l'utilise et crée d'autant plus de richesse qu'on sait le valoriser correctement [Héraud, Popiolek, 2021]. Mais au fond, pour quoi faire ? En quoi la connaissance peut-elle nous aider à faire face à la crise et à être résolument optimistes pour l'avenir ? À quelles conditions ?

Une vision utilitariste de la science

Poser les questions ainsi suppose que la société attend un retour de l'investissement consenti dans la connaissance, que ce retour soit de nature économique, sociétal ou environnemental. Cela n'a pas toujours été le cas dans l'Histoire, la connaissance pouvant être considérée uniquement de façon intrinsèque, juste pour sa beauté. Que l'on se réfère par exemple à la Grèce antique qui séparait nettement la sphère des sciences et des arts de celle des applications... ce qui a changé ensuite avec la civilisation romaine beaucoup plus pragmatique [Héraud, Popiolek, 2021]. Aujourd'hui, même si le chercheur en sciences fondamentales est motivé par la découverte, indépendamment de son utilité pour l'économie ou la société — et c'est bien ainsi, on investit dans la recherche pour innover et relever les défis contemporains comme en témoigne d'ailleurs l'orientation donnée à Horizon Europe.

Connaissance, assurance et liberté

Faire progresser la connaissance nous donne les moyens d'agir sur le cours des événements de la même manière que la maîtrise des lois de la pesanteur nous a permis de construire les avions pour voler. De ce point de vue, le savoir permet de développer la liberté, celle de créer des options pour ne pas se laisser enfermer dans des dilemmes⁷ du type «taxe carbone ou paix sociale» ou bien «distanciation sociale ou Covid-19». Comme une assurance, il aide à surmonter les situations contraignantes en permettant par exemple la diffusion du véhicule

électrique ou la mise au point d'un vaccin efficace.

De la recherche en amont pour se donner des marges de manœuvre

On comprend que l'intégration des temporalités est clé pour se donner des marges de manœuvre. L'horloge de la science n'est pas calée sur celle de la gestion des crises dans l'urgence et il faut être à même de poser en avance les bonnes questions de recherche pour augmenter notre résilience future. La recherche fondamentale qui ne vise pas de résultat concret a priori a un rôle clé à jouer pour cela dans la mesure où elle met en évidence des phénomènes nouveaux pouvant servir plus tard. On n'aurait jamais pu imaginer une forme de vaccin contre la Covid-19 fondée sur l'acide ribonucléique (ARN), sans les avancées les plus pointues de la science. Dans le domaine énergétique, l'IFPEN a d'ailleurs su donner un rôle important à la recherche fondamentale en la structurant autour de neuf verrous scientifiques transverses. L'idée est d'identifier au plus tôt les défis scientifiques qui constituent un frein pour les innovations, et de préciser la stratégie de recherche adaptée.

La recherche fondamentale face aux défis de la transition écologique

On peut citer de nombreux exemples d'application des sciences fondamentales pour limiter les émissions de CO₂ ou augmenter l'efficacité des systèmes énergétiques, notamment en améliorant le fonctionnement des réseaux. Dans le domaine électrique, la question de l'équilibre entre l'offre et la demande sur un *microgrid* pourra sans doute être résolue par des algorithmes mathématiques d'intelligence artificielle (exemple : *Q-learning*, réseaux de neurones), ce qui limitera le recours aux énergies fossiles en *back-up* des renouvelables intermittentes⁸. Au cœur même des réseaux de neurones, les travaux sur la spintronique effectués par Albert Fert — prix Nobel de physique de 2007 pour la découverte de la magnétorésistance géante en 1988, servent aujourd'hui à l'élaboration de nano-oscillateurs magnétiques

permettant de diminuer la taille et la consommation énergétique des calculateurs embarqués dans les futurs véhicules autonomes⁹...

Définir où l'on veut aller

Investir dans la recherche pour amorcer la transition oui, mais à condition que l'on ait défini vers quel monde aller. En effet, si le savoir nous donne des ailes, son développement et sa valorisation sous forme de technologies utiles à quelque chose doivent être mis en perspective par rapport aux attentes de la société et à la vision qu'elle a du progrès. Le progrès rime-t-il avec la diffusion des innovations technologiques (high-tech) dont on a vu qu'elles pouvaient lever des contraintes notamment d'ordre climatique ou sanitaire? Ou bien se satisfait-il d'innovations low-tech impliquant davantage une modification des usages et des modes de vie avec de nouveaux modèles économiques (sobriété dans la consommation de biens et de services, recyclage, innovation dans les modèles de compétitivité... voire modification des règles pour le calcul du PIB)?

Influence de la culture

La réponse sera sûrement composée d'un mix de ces solutions reflétant les «goûts» et les valeurs de chacun. On comprend que ce choix de société — qui dépend fortement de la culture du pays considéré — influence le type de connaissance à mobiliser et par conséquent l'orientation et le financement des programmes de recherche. Elle dépend également de l'initiative des acteurs publics comme privés, de leur créativité, de leur culture de l'innovation et de l'entrepreneuriat, de leur aversion au risque, etc. Les Américains et les Européens inventeront sans doute des solutions très différentes.

Impact et éthique

Dans ce dialogue entre la science et la société, les réflexions éthiques prennent véritablement de l'importance. Il faut être à même d'apprécier l'impact environnemental, climatique, économique, sociétal, sanitaire... de l'utilisation qui peut être faite des découvertes. Toutefois,

la complexité des phénomènes est telle que cela nécessite de mener des programmes de recherche «en plus» avec une approche systématique, pluridisciplinaire et à long terme. Une telle analyse d'impact conduit à un conflit de calendrier entre les scientifiques qui n'ont pas eu le temps de vérifier toutes les hypothèses et le politique qui doit décider tout de suite... ou bien appliquer le principe de précaution.

Conclusion

Vis-à-vis des crises sanitaires ou climatiques qui marquent une rupture entre le monde d'avant et le monde d'après, il est important d'élargir le débat et de ne pas se laisser enfermer dans l'une ou l'autre des positions tranchées : d'un côté, la position prônée par ceux qui veulent que rien ne change et qui pensent au rétablissement du monde d'avant, comme s'il n'y avait pas de contraintes, et de l'autre, celle défendue par ceux qui prévoient l'effondrement et exigent de nos contemporains de lourds sacrifices.

Une troisième voie plus intéressante et prometteuse est sans doute possible : la voie de ceux qui pensent que l'avenir n'est pas figé et qui se donnent les moyens de prendre en main la situation pour la modeler. C'est la voie de la prospective et de la liberté et nous avons voulu montrer que la recherche pouvait y contribuer, pourvu qu'elle en ait les moyens.

Les moyens financiers d'abord, à la hauteur de la complexité des enjeux, que ce soit dans le domaine climatique, énergétique, environnemental, biologique ou sanitaire. Dans le cadre du Pacte vert (*Green Deal*), l'Europe a montré qu'elle comptait sur la recherche et l'innovation en accordant un budget relativement important au 9^e programme-cadre Horizon Europe. Cela sera-t-il suffisant pour lutter à long terme contre le «*global change*» et pour s'y adapter à moyen terme? Rappelons qu'en 2018, les pays de l'Union européenne consacrent à peine 2 % de leur PIB cumulé à la R&D alors que cette part s'élève à près de 3 % aux États-Unis.

À côté du financement, la recherche a besoin de temps, car répondre aux défis de la transition demande de débloquer des verrous scientifiques et nécessite des programmes de recherche fondamentale de longue haleine. Cela implique une organisation et des méthodes de valorisation adaptées pour être à même de préparer l'avenir tout en étant en capacité de réagir dans l'urgence comme la crise sanitaire l'a exigé. Dans le domaine climatique, on a besoin aussi du moyen terme pour prendre des décisions quant aux modalités d'adaptation au sein des territoires (villes, agriculture, forêt, etc.).

Enfin, la science a le «devoir» d'analyser les impacts des innovations qu'elle conduit à faire naître, tout en se référant aux aspirations des citoyens et au monde d'après dans lequel ils aimeraient vivre en harmonie.

RÉFÉRENCES

- CGDD/SDES (2021). *Chiffres clés du climat – France, Europe et Monde* – Édition 2021.
- Héraud J-A., Popiolek, N. (2021). *L'organisation et la valorisation de la science. Problématique européenne et étude comparée de la France et de l'Allemagne*, Peter Lang (à paraître).
- Laghouti, R. (2020). «Les dépenses publiques de R&D en énergie en 2019 : hausse des financements alloués au nucléaire», Data Lab, ministère de la Transition écologique, septembre.
- Le Masson, P. (2020). «Quels modèles pour une recherche à double impact?», in : Archambault, V. et Popiolek, N., (Dir.) (2020). *Histoires de sciences & entreprises*, Vol. 4 : *Séminaire «Favoriser l'impact de la recherche»*. Paris : Presses des Mines (47-79).
- OCDE (2021). *Dépenses intérieures brutes de R-D (indicateur)*. doi: 10.1787/49ef953e-fr (consulté le 18 février 2021).
- OCDE (2019). *Health at a Glance 2019: OECD Indicators*, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/4dd50c09-en>.
- Leprince P., Popiolek N. (2016). «La dépense de R&D, en quelques chiffres clé : éclairage particulier sur le secteur énergétique», *La Revue de l'Énergie* n° 632 – juillet-août.
- Papon, P. (2021). «Plan de relance français : des investissements d'avenir?», *Tribune, Futuribles* n° 440 – janvier-février.

- Taverdet-Popiolek N. (2011). «La dépense de R&D, en quelques chiffres clé : éclairage particulier sur le secteur énergétique», *La Revue de l'Énergie* n° 599 – janvier-février.
- Taverdet-Popiolek, N. (2021). "Economic Footprint of a Large French Research and Technology Organisation in Europe: Deciphering a Simplified Model and Appraising the Results". *Journal of the Knowledge Economy*. 10.1007/s13132-020-00709-2.

NOTES

1. CGDD / SDES (2021).
2. Voir le manuel sur les dépenses publiques de R&D et de démonstration sur l'énergie publié en 2011 par l'AIE.
3. Efficacité énergétique; énergies renouvelables; capture et séquestration du CO₂; hydrogène et piles à combustible; stockage de toute forme d'énergie; production, transformation et distribution d'électricité.
4. On attire l'attention sur le fait qu'au paragraphe précédent, les financements internationaux, notamment ceux de l'Union européenne, ne sont pas inclus dans les données issues des statistiques de l'AIE.
5. Sites officiels : https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_fr et <https://www.horizon-europe.gouv.fr/presentation-du-programme-horizon-europe-24104>.
6. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid153768/plan-de-relance-6-5-milliards-d-euros-pour-l-esri.html>.
7. En sciences de gestion, on parle de dilemmes décisionnels sacrificiels comme «le glyphosate ou la famine», «la transition énergétique ou la paix sociale». Or, il ne s'agit pas de trancher mais plutôt d'inventer des solutions alternatives conciliant plusieurs objectifs à la fois [Le Masson, 2020].
8. Voir les travaux menés au Laboratoire du Génie électrique et électronique de Paris.
9. Voir les travaux menés par l'équipe de Julie Grollier au sein de l'unité mixte de physique CNRS/Thales.