

La demande sociale doit-elle piloter la recherche ?

Dans le numéro de janvier 2019 [1], l'évolution du soutien public à la recherche vers un support toujours plus déterminé par la « demande sociale » a été questionnée. Le premier ministre exhortait les scientifiques à contribuer au « grand débat » et une nouvelle loi de programmation de la recherche renforçant cette visée était annoncée avec une diminution du nombre d'embauches de jeunes chercheurs. Il est commun de penser que le passage de la découverte à l'application est un processus rapide, de plus en plus rapide. C'est ce postulat implicite qui est dans l'esprit des politiques et qui détermine l'orientation actuelle « du soutien à la recherche » vers le (très) court terme, en contradiction avec de nombreux exemples [2-3].

L'exemple de la voiture électrique

La pile à combustible H_2/O_2 a été inventée en 1839 par Sir William R. Grove et la voiture la plus rapide au XIX^e siècle – la *Jamais-Contente* (100 km/h) – était électrique. Cependant, les dernières générations de voitures électriques utilisant la pile à combustible H_2-O_2 commencent juste à être commercialisées et le nombre de voitures électriques n'est significatif que depuis quelques années.

Dans les années 1960, début de l'aventure spatiale américaine, le programme Gemini nécessitait une source d'électricité compacte en appui aux panneaux solaires. En outre, cette source d'énergie de faible poids pouvait fournir l'eau pure nécessaire aux astronautes. Une première membrane polymère avait été mise au point en 1959 dans les laboratoires de General Electric (une association polystyrène divinylbenzène sulfonique acide-fluorocarbène) [4]. Simultanément, une autre voie de production de batteries à hautes performances susceptibles de propulser des voitures était initiée par la publication en 1967 d'un brevet Ford sur les batteries Na/alumine bêta/ NaS_x où l'association d'électrodes liquides à large fenêtre électrochimique et d'une céramique autorisait les hautes performances nécessaires à un véhicule électrique. Une publication montrait aussi que les ions sodium peuvent être remplacés par beaucoup d'autres, comme le lithium (l'ion actuellement utilisé) et le proton (encore plus léger et *a priori* plus performant).

Notons que c'est plusieurs années avant que le Club de Rome ne demande au Massachusetts Institute of Technology (MIT) de réfléchir sur la finitude de la Terre et les possibles problèmes associés (le fameux pic maxi du pétrole prévu alors pour avant l'an 2000 !) avec le fameux rapport « *The limits to growth* », fondement de l'écologie politique en 1972 [5]. Il est d'ailleurs amusant de relire les *Sciences & Vie* et autres magazines de l'époque vulgarisant les positions du Club de Rome et leurs certitudes sur un futur bien différent de celui que l'on connaît, prédisant une glaciation.

La période « 1973, premier choc pétrolier-1979, révolution en Iran et second choc pétrolier-1985, retour à un bas prix du pétrole » (voir *figure*) permit le financement de travaux sur les matériaux pour batteries et piles à combustible [6].



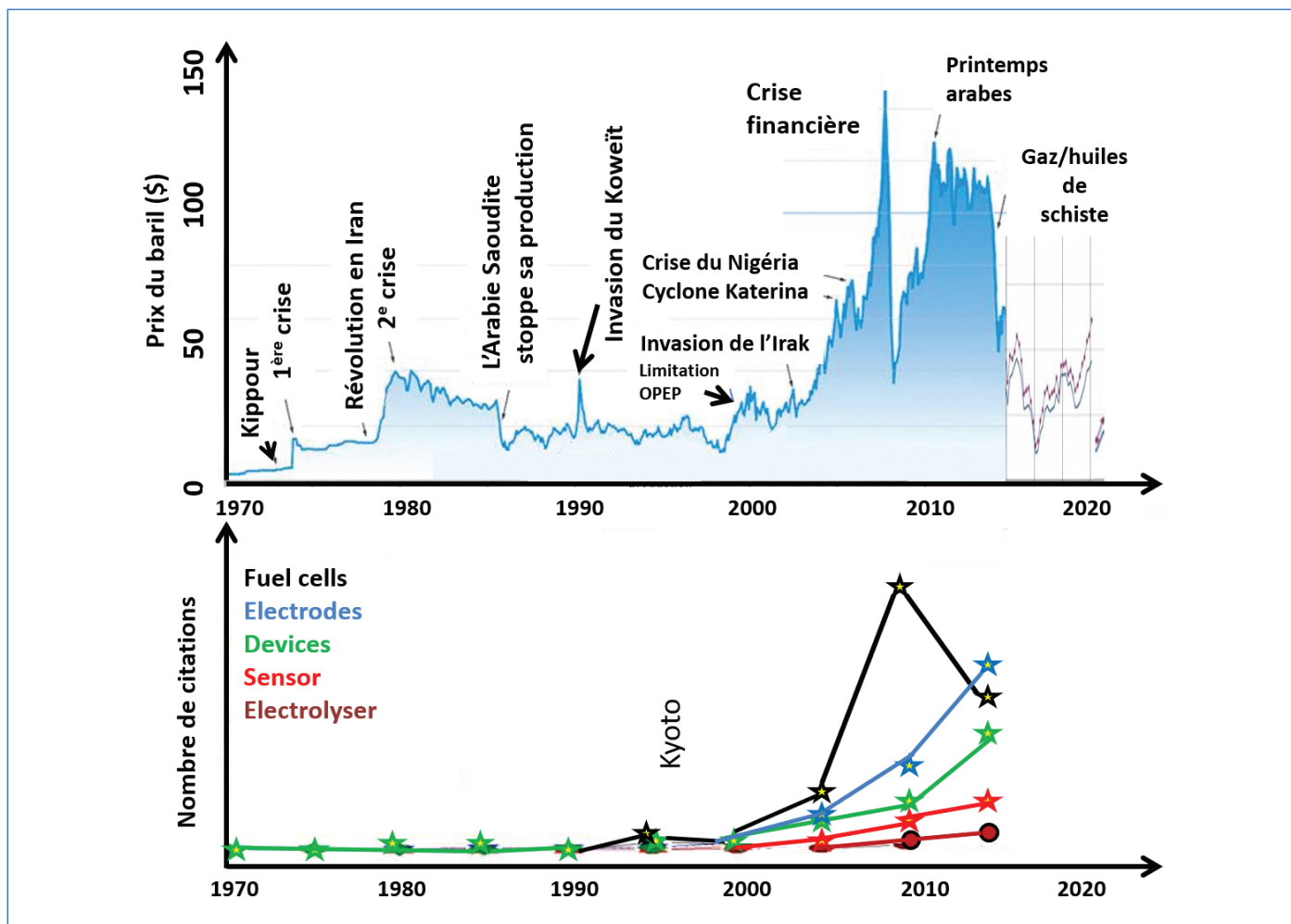
En 1899, la *Jamais-Contente*, voiture électrique, fut le premier véhicule à franchir 100 km/h (photo : reproduction présentée au Mondial de l'Automobile de Paris 2014, CC BY-SA 3.0).

Ce financement cessa dès la chute du prix du pétrole (l'Arabie saoudite augmenta fortement sa production) et seuls les Japonais continuèrent à développer les batteries Na/alumine bêta/ NaS_x pour des applications stationnaires de puissance : plus de 500 MW d'unités de stockage d'électricité couplées à des sources intermittentes (renouvelables) sont installées aujourd'hui [7].

Première conclusion

L'innovation n'est pas liée à la demande sociale mais à un contexte innovant et à des grands projets. Elle demande du temps, des applications de niches pour se perfectionner et n'aboutit que si les acteurs persévèrent.

L'action majeure pour le développement de la pile à combustible H_2/O_2 fut le programme lunaire américain Apollo des années 1960, avec la mise au point par DuPont de Nemours du Nafion[®], une membrane polymère développée initialement pour l'électrolyse du chlore, en simplifiant un Teflon[®] avec des greffons HSO_4^- permettant de réaliser une « éponge nanométrique » d'acide alliant bonnes performances mécaniques, stabilité électrochimique et haute conductivité protonique [4, 8-9]. Alunissage en 1969 et fin du programme en 1976. La société canadienne Ballard paria alors sur l'intérêt de propulser des véhicules par des piles à combustible $H_2/Nafion^{\circ}/O_2$ [8], en particulier pour les conditions canadiennes (large production d'électricité à bas coût, basses températures nécessitant de stocker les véhicules à moteur thermique dans des lieux chauffés, etc.) ; le premier véhicule circule en 1983 et l'intérêt de pressuriser la pile est démontré en 1986. Simultanément, l'intérêt pour la motorisation par batterie renait. Dix ans plus tard, les bus Ballard sont mis en service commercial, soit près de 150 ans après la pile de Grove, 40 ans après Gemini et 30 ans après Apollo et sa pile au Nafion[®] ! Dans les années 2000, le brevet étant tombé, différentes variantes du Nafion[®] sont disponibles (Aquivion[®], Dow[®], Flemion[®]...) ; la très forte réduction des quantités de platine nécessaires



Comparaison de l'évolution du prix du baril de pétrole en dollars et du nombre de citations Web of Science® (Clarivate Analytics) pour les mots-clés proton & conductivity + fuel cells, électrodes, devices, sensor ou électrolyser (d'après [2]). Noter l'augmentation significative de l'activité pile à combustible après l'invasion du Koweït et avant le protocole de Kyoto (1997), puis sa chute avec la crise financière de 2008. L'activité électrode liée au développement industriel est régulière. Les travaux sur les électrolyseurs restent marginaux.

permet aux premiers véhicules à hydrogène d'être commercialisés : des bus Ballard effectuent des millions de kilomètres au Canada, en Europe et en Australie [10]. La première voiture, la Toyota Mirai, est commercialisée en 2005 et la voiture à hydrogène apparaît dans les radars des grands médias. La plupart des constructeurs en proposent ou en testent aujourd'hui ; ses principaux avantages sont sa très grande autonomie, bien supérieure à celle des batteries au lithium, sa propreté, mais elle reste près de deux fois plus chère que les véhicules électriques, eux-mêmes deux fois plus chers que les thermiques.

L'année 2005 correspond au début de l'augmentation du prix du baril de pétrole, qui va passer de 40 \$ (en 1980 après le premier choc) à 120-150 \$ du fait de la succession d'événements (Iraq, Nigeria, crise financière, Printemps arabe), avant de s'effondrer à 40 \$ ou même moins en 2014 avec le boom des gaz et huiles de schiste, et de remonter récemment au-dessus de 60 \$ en moyenne. En France, un léger soutien de la thématique vecteur hydrogène apparaît dans les années 1980 puis disparaît ; il revient dans les années 2000 (GdR) avec des hauts et des bas encore très récemment, focalisé sur la quête de matériaux nouveaux (avec un succès très limité) et des perfectionnements technologiques [2]. Pas de réelles incitations à travailler sur la physique et la chimie des mécanismes fondamentaux. Est-ce une des raisons de l'absence de découverte de nouveaux matériaux, ou est-ce dû à l'absence de continuité, les financements suivant bien le prix du pétrole ou

des droits carbone ? Le lithium disponible ne permettant pas une généralisation des batteries, l'intérêt pour les systèmes au sodium est de nouveau fort en recherche.

Deuxième conclusion

La mise en évidence du découplage entre demande sociale, politique et innovation. Comme le soulignait Pierre-Gilles de Gennes dans ses interventions où il citait la phrase attribuée à Niels Bohr, « *Ce n'est pas en améliorant la bougie qu'on a inventé l'électricité* », la mise au point d'innovations importantes n'est en rien reliée à des considérations finalisées de court terme. Notre ministre de la Recherche, Frédérique Vidal, cite l'exemple de l'enzyme thermostable découverte dans les geysers et aujourd'hui à la base des réactions en chaîne par polymérase (PCR) d'ADN, montrant l'importance des fertilités croisées entre disciplines. Les exemples discutés montrent l'importance d'initiatives particulières (les responsables de la recherche de Ford dans les années 1960), des grands défis avec un soutien public comme l'aventure spatiale, des projets militaires (l'importance de la guerre des étoiles de Ronald Reagan pour le développement de l'électronique et des télécom) et de la continuité. Par contre, les finalisations technologiques (couteuses et multidisciplinaires) dépendent bien sûr des applications potentielles identifiées et de l'effort d'investissement, mais ces développements s'arrêtent très vite si le contexte change : le financement des recherches sur les électrolyseurs, indispensable

pour produire « écologiquement » H₂ pur à bas coût nécessaire aux piles à combustible et les convertisseurs H₂ + CO₂ donnant des produits valorisables pour remplacer le pétrole ou du syngaz, est directement couplé au cours de l'énergie et du carbone.

Questionner les financements de recherche par projet

C'est très bien pour un perfectionnement, la réussite d'une application étant contrôlée par le niveau de performance du maillon le plus faible. Cela justifie les financements par projet de l'Agence nationale de la recherche (ANR) finalisés en lien avec un projet industriel. Ce n'est certainement pas le moyen d'aller de l'avant dans la compréhension, le système conduisant à ce que les projets « blancs » copient la démarche industrielle avec « planning », « jalons », « délivrables », toutes choses sans peu de sens, voire aucun, pour des avancées de concepts, de compréhension. Ces financements par projet imposent aux chercheurs confirmés de réduire leur temps de recherche créative, expérimentale, et de le déléguer aux débutants.

La nouveauté se dissimule dans les comportements anormaux se produisant lors d'expériences « ratées » ou dans les effets associés, non prévisibles, faits dont l'importance échappera aux débutants qui voudront atteindre le « bon » objectif et censureront l'information pour plaire au superviseur ! L'équilibre entre court terme, recherche finalisée et recherche sur les authentiques fronts de la connaissance doit être repensé. Seul un soutien à l'activité scientifique peut

relancer l'avancement des connaissances et des découvertes. Malheureusement, l'air du temps veut exclure l'expertise scientifique des critères de jugement [11].

[1] D'une vision scientifique à une vision sociétale, *L'Act. Chim.*, **2019**, 436, p. 15.

[2] Colombari P., Proton conductors and their applications: a tentative historical overview of the early researches, *Solid State Ionics*, **2019**, 334, p. 125.

[3] Il faut des dizaines d'années pour concevoir un nouvel avion qui sera utilisé pendant 25 ans, sauf lorsque l'on transpose à une application civile tout ce qui a été mis au point pour une application militaire (exemple des premières versions d'Ariane).

[4] Perry M.L., Fuller T.F., A historical perspective of fuel cell technology in the 20th century, *J. Electrochem. Soc.*, **2002**, 149, p. S59.

[5] Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. III, *The limits to growth*, A Potomac Associates Book, Washington, **1972**, www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf

[6] Colombari P., Un point sur n° 41 : Les superconducteurs ioniques, *L'Act. Chim.*, **2016**, 408-409, p. 159.

[7] www.ngk.co.jp/nas

[8] Gruger A., Regis A., Schmatko T., Colombari P., Nanostructure of Nafion membranes at different states of hydration: an IR and Raman study, *Vib. Spectrosc.*, **2001**, 26, p. 215.

[9] *Proton conductors. Solids, membranes and gels – Materials and devices*, P. Colombari (ed.), Cambridge University Press, **1992**.

[10] <http://ballard.com/about-ballard/our-history>

[11] Bernier J.-C., La vérité scientifique devient-elle inaudible ?, *L'Act. Chim.*, **2018**, 425, p. 5.

Philippe COLOMBAN,

Directeur de recherche émérite au CNRS, Laboratoire MONARIS (UMR 8233), Sorbonne Université, Paris.

* philippe.colombari@sorbonne-universite.fr



Groupe Français d'Etude des Composés d'Insertion
Le Croisic – 16-19 Mars 2020