

A S S E M B L É E N A T I O N A L E

X V ^e L É G I S L A T U R E

Compte rendu

Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

- **Examen** de la note scientifique sur le stockage de l'électricité (Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure) ; 2
- **Communication** d'Anne Genetet, députée, sur l'intégrité scientifique..... 13

Jeudi 7 février 2019

Séance de 9 h 00

Compte rendu n° 35

SESSION ORDINAIRE DE 2018-2019

**Présidence
de M. Gérard Longuet,
*président***



Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Jeudi 7 février 2019

Présidence de M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office

La séance est ouverte à 9 h 15

Examen de la note scientifique sur le stockage de l'électricité (Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure)

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – Après la présentation d'une note scientifique sur le stockage de l'électricité et une communication sur l'intégrité scientifique, nous évoquerons le bilan, dix ans après sa parution, du rapport de Roland Courteau au nom de l'Office sur la prévention et l'alerte du risque de tsunami sur les côtes françaises. Celles-ci, grâce aux outre-mer, sont très étendues. La France est d'ailleurs le deuxième espace océanique mondial, après les États-Unis.

Le stockage de l'électricité est une sorte de pierre philosophale. L'Union européenne veut absolument voir émerger un marché où s'équilibrent une offre et une demande dans une transparence parfaite. Or l'électricité a la particularité de ne pas se stocker et de se transporter assez mal.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – On dit depuis longtemps que, le jour où l'on parviendra à stocker l'électricité de façon efficace et réactive, bien des maux de l'humanité seront résolus. Où en sommes-nous ?

Mme Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure. – Le stockage de l'électricité constitue un sujet très important. Le Président de la République l'a d'ailleurs évoqué lors de son déplacement d'il y a quelques jours à Souillac.

À l'échelon mondial, le stockage de l'électricité est appelé à se développer dans un contexte de fort essor des énergies renouvelables variables. Les simulations montrent toutefois que les besoins de stockage stationnaire resteront limités dans le cas de la France, du fait de la flexibilité très importante de notre système électrique et de son interconnexion au système européen. C'est seulement après 2035, si devait se mettre en place un *mix* électrique composé quasi exclusivement de moyens de production renouvelables, que des besoins de stockage significatifs, notamment intersaisonniers, pourraient apparaître.

Par ailleurs, le stockage de l'électricité se trouve au cœur de l'essor de formes de mobilité durable, dès maintenant pour la mobilité électrique, à plus long terme pour ce qui concerne une mobilité de masse à l'hydrogène.

Stocker l'électricité, c'est convertir l'énergie électrique en une autre forme d'énergie, puis transformer cette dernière en électricité.

Il existe de nombreux modes de stockage, qui peuvent être classés en fonction du vecteur énergétique utilisé, de paramètres comme l'énergie, la puissance, le temps de réponse, le rendement énergétique ou encore la durée de vie. Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), les batteries et l'hydrogène composent les modes de stockage stratégiques.

Les STEP permettent un stockage de masse de l'énergie électrique, offrent une puissance élevée et un très bon rendement, de l'ordre de 70 % à 85 %. Elles constituent le principal mode de stockage de l'électricité dans le monde. Leur principe de fonctionnement est d'utiliser de l'électricité quand celle-ci est peu chère pour pomper de l'eau qui se trouve dans un bassin inférieur pour la remonter dans un bassin supérieur. Du fait de sa position en hauteur, l'eau présente dans le bassin supérieur possède une énergie mécanique potentielle. Quand la demande d'électricité est forte, on libère l'eau du bassin supérieur. Dans sa chute, elle produit de l'électricité en actionnant un groupe turbo-alternateur. La France compte six STEP de forte puissance, principalement en moyenne montagne ou en montagne. Le Japon en a installé en bord de mer, près de falaises.

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables et de la programmation pluriannuelle de l'énergie, un besoin de 2 gigawatts de STEP supplémentaires est identifié. Il s'agit d'ouvrages d'art robustes, qui ne posent pas d'autres difficultés que des problèmes d'environnement et d'acceptabilité, dans la mesure où cela met en cause les paysages. À l'avenir, il faudrait installer davantage de STEP en France.

Les batteries constituent un autre moyen de stockage qui se développe fortement. Elles convertissent l'énergie électrique en énergie chimique et réciproquement. On en distingue plusieurs familles, mais toutes fonctionnent sur des couples d'oxydoréduction. Les batteries Lithium-ion ont constitué à partir des années 1990 une rupture technologique permettant d'envisager des applications allant du stockage stationnaire à l'alimentation des appareils électroniques, en passant par la mobilité. Ces batteries offrent des performances croissantes en termes de densité énergétique, ainsi qu'un très bon rendement (de 90 % à 95 %), des coûts de revient en baisse et un niveau de sécurité qui s'améliore. Les axes de recherche portent à la fois sur la sécurité, l'augmentation de la densité énergétique, la cyclabilité et la diminution de la consommation en métaux critiques. On attend, à partir de 2022 ou de 2023, l'arrivée sur le marché des batteries « tout solide », qui permettront de nouveaux gains de sécurité et de densité.

L'hydrogène est le troisième vecteur stratégique de stockage de l'électricité. Il s'agit de convertir l'électricité en hydrogène, par électrolyse de l'eau. Ce procédé est scientifiquement bien connu, mais il faut en améliorer le rendement. Les voies de progrès concernent principalement les techniques d'électrolyseurs, avec l'objectif de faire baisser fortement le coût de l'hydrogène électrolytique.

Quel rôle ces différents modes de stockage de l'électricité peuvent-ils jouer dans la transition énergétique ? Le développement des énergies renouvelables variables entraînera une hausse forte des besoins de flexibilité du système électrique. Le stockage de l'électricité, parce qu'il permet de décorrélérer dans le temps la production et la consommation d'électricité, constitue donc un levier de flexibilité qu'il pourrait être pertinent de mobiliser. En même temps, le stockage de l'électricité n'est jamais qu'un levier de flexibilité parmi d'autres. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de la France, qui possède déjà un système électrique très flexible. Notre pays dispose en effet d'un réseau de transport et de distribution d'électricité de grande qualité, interconnecté à l'échelle européenne. Reliant l'ensemble des zones de production et de consommation continentales, il offre des possibilités de foisonnement qui

permettent de réduire la demande résiduelle européenne. La flexibilité du système électrique français repose également sur le pilotage de la consommation par effacement des pointes ou déplacement dans le temps de la consommation. On peut évoquer ici les 11 millions de ballons d'eau chaude domestiques, d'une capacité totale de 9 gigawatts, qui permettent de déplacer près de 20 gigawatts-heure de consommation par jour vers les heures de faible consommation. Cet outil de lissage, éprouvé, simple, peu coûteux et efficace, pourrait, grâce à un pilotage plus dynamique, jouer un rôle majeur dans l'exploitation des pics de production renouvelables. Enfin, le stockage hydraulique est particulièrement développé en France et offre des solutions de flexibilité à tous les horizons temporels. Les autres techniques de stockage, notamment les batteries, occupent en revanche aujourd'hui une place marginale dans le *mix* de flexibilité.

Pour déterminer le rôle exact que pourrait jouer le stockage de l'électricité dans la gestion du système électrique, il faut tenter de quantifier précisément les besoins de flexibilité et de stockage. Des travaux sont conduits par RTE, Réseau de transport d'électricité, et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), pour définir les adaptations à apporter au *mix* de flexibilité actuel dans un contexte de transition énergétique. Ces simulations prospectives extrêmement complexes prennent en compte des paramètres techniques et économiques à la fois nombreux et encore incertains à ce stade, concernant notamment le niveau futur de la consommation d'électricité, l'ampleur de la diversification du *mix* de production, le prix du carbone ou encore les progrès et la baisse de coût du stockage. En raison du grand nombre d'inconnues, ces études définissent de multiples scénarios d'évolution, eux-mêmes déclinés en de nombreuses variantes, le tout finissant par dresser une carte des avènements probables qui permet de dégager quelques prévisions robustes en matière de besoins de flexibilité et de stockage.

En 2017, RTE a élaboré quatre scénarios à l'horizon 2035. Ces simulations confirment que les besoins de flexibilité augmenteront fortement dans tous les cas de figure, mais sans pour autant induire un développement significatif des besoins de stockage. Ainsi, dans le scénario Ampère, pourtant ambitieux pour les énergies renouvelables, l'essentiel des besoins de flexibilité serait satisfait à moindre coût par l'hydraulique, les interconnexions et, dans une moindre mesure, la mobilisation des gisements d'effacement. C'est seulement dans le scénario Watt, scénario de rupture basé sur un déclassement rapide du parc nucléaire et des énergies renouvelables atteignant 70 % du *mix* de production, que pourrait apparaître un espace marchand pour le stockage de l'électricité en 2035. Le fort développement de l'éolien et du solaire conduirait en effet à des périodes d'abondance de production à bas coûts, propices à la rentabilité des activités de stockage. Par ailleurs, le maintien de la sécurité d'approvisionnement appellerait alors une mobilisation forte de tous les leviers de flexibilité en sus d'un développement des centrales au gaz. Toutefois, et c'est la conclusion importante, même dans un tel scénario, les besoins en matière de stockage de l'électricité resteraient limités.

Cette conclusion, qui nuance fortement le potentiel de développement du stockage stationnaire en France d'ici à quinze ans, fait l'objet d'un consensus des experts consultés. La diversification du *mix* électrique français n'implique ni changement d'échelle ni rupture technologique dans le domaine du stockage jusqu'au milieu des années 2030. Le maintien d'une part non négligeable de moyens de production pilotables à cet horizon de temps, accompagné d'un accroissement modéré des capacités d'effacement et de stockage par STEP, ainsi que d'investissements sur le réseau pour le rendre plus agile et plus robuste, seront suffisants pour équilibrer l'offre et la demande à tous les horizons de temps.

L'Ademe a exploré des scénarios encore plus ambitieux pour le développement des énergies renouvelables à l'horizon 2050-2060, avec des taux de pénétration de ces énergies allant de 80 % à 100 % du mix de production. Le bouclage technico-économique de ces scénarios confirme que le renforcement significatif des capacités de stockage devient indispensable pour équilibrer l'offre et la demande d'électricité à chaque heure de l'année seulement quand on atteint ces taux considérables. Le stockage de court terme se développe dès le scénario à 80 % d'énergies renouvelables, tandis que des besoins de stockage intersaisonnier mobilisant les technologies *Power to gas* et *Gas to power* apparaissent à partir d'un mix à 90 ou 95 % d'énergies renouvelables.

Dans ces scénarios, la possibilité de boucler le modèle repose donc sur le postulat de disponibilité de certaines ruptures technologiques. Les progrès techniques nécessaires devraient concerner deux problématiques.

D'une part, il faudrait apporter une réponse à la perte d'inertie du système électrique. La stabilité du système actuel repose en effet, dans les premiers instants d'un aléa, sur l'inertie des masses tournantes raccordées au réseau. Ces masses sont celles des turbines des centrales de production, dont la vitesse de rotation est synchronisée avec la fréquence du courant électrique. En cas de chute de cette fréquence, le premier correctif est aujourd'hui celui qu'exerce spontanément cette inertie. À l'avenir, si les énergies renouvelables variables devaient représenter une part très élevée, garantir la stabilité du réseau obligerait à compenser la disparition de cette inertie. Des solutions se dessinent cependant déjà, par exemple les projets européens *Migrate* et *Osmose*, dont l'idée directrice est de donner à certaines centrales de production photovoltaïque ou éolienne le rôle de chef d'orchestre du réseau.

D'autre part, il faudrait aussi développer des moyens de stockage adaptés à la régulation saisonnière du système électrique. En cas de très forte pénétration des énergies renouvelables, le passage de l'hiver implique en effet le transfert de l'énergie solaire produite en été pour l'utiliser à la saison froide. Les besoins annuels de stockage intersaisonnier sont évalués par l'Ademe à une quarantaine de térawatts-heure. Cette solution implique l'arrivée à maturité des technologies *Power to gas to power*. En été, par le photovoltaïque, on fait du *Power to gas* ; en hiver, on utilise ce gaz pour refaire de l'électricité. Là encore cependant, le problème de l'urgence ne se pose pas, puisque la question du stockage intersaisonnier n'interviendra pas avant 2035.

Après avoir présenté les liens entre stockage stationnaire de l'électricité et transition énergétique, j'en viens maintenant au second grand enjeu du stockage : celui de la mobilité. Les batteries et l'hydrogène sont en effet au cœur de formes émergentes de mobilité.

En raison des gains d'autonomie des batteries Lithium-ion et de la chute de leur coût de fabrication, l'industrie s'est engagée dans un développement massif du marché de la voiture électrique. Cette évolution s'inscrit par ailleurs pleinement dans les politiques publiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cela pose cependant plusieurs enjeux pour les pouvoirs publics.

Sont d'abord visées les conditions d'extraction des métaux critiques dans les pays producteurs et leurs impacts humains et environnementaux. Il est indispensable d'imposer aux fabricants de batteries des critères exigeants de RSE – responsabilité sociale des entreprises – et de traçabilité des matériaux. Il faut également se pencher sur la question de la sécurité d'approvisionnement des métaux critiques, singulièrement du cobalt et dans une moindre

mesure du lithium ou du nickel. Enfin, se pose l'enjeu de la valorisation des batteries tout au long de leur cycle de vie et de leur recyclage.

Sur le plan économique, le sujet stratégique est celui de la place des industriels français et européens dans le secteur des batteries. Aujourd'hui, les dix premiers fabricants de cellules de batteries Lithium-ion sont asiatiques. L'alliance entre SAFT, entreprise française, Siemens, Manz et Solvay offre cependant l'opportunité d'un retour des Européens sur le marché, notamment avec l'arrivée des batteries « tout solide » dans les années à venir.

Enfin, il faut relever deux défis : celui de la mise en place d'un réseau de recharge électrique capable d'irriguer tout le territoire avec des bornes non propriétaires et celui de la gestion intelligente des impacts d'une mobilité électrique de masse sur le fonctionnement du système électrique pour transformer une contrainte potentielle en un levier de flexibilité.

L'hydrogène pourrait également jouer un rôle clef dans les mobilités futures. Le bilan carbone de la mobilité à l'hydrogène peut être excellent si l'on utilise une électricité décarbonée pour l'électrolyse de l'eau. Techniquement possible, l'essor de la mobilité à l'hydrogène se heurte cependant à des obstacles économiques dans un avenir proche.

Le premier est le coût de l'hydrogène électrolytique. Pour que la mobilité à l'hydrogène soit compétitive par rapport à la mobilité électrique ou hybride, deux conditions doivent être réunies. D'une part, il faut disposer d'une électricité à bas coût pour alimenter des électrolyseurs pendant des durées relativement longues. Cela suppose qu'un très fort taux de pénétration de l'éolien et du photovoltaïque génère de longues périodes de production électrique abondante. D'autre part, il faut augmenter le rendement et la durée de vie des électrolyseurs.

Même si l'on parvient demain à produire un hydrogène électrolytique bon marché, un second obstacle se dresse, celui des investissements nécessaires au déploiement et à l'entretien d'infrastructures de stockage et de distribution de l'hydrogène. Il faut créer un réseau énergétique supplémentaire, en plus des réseaux existants ou en cours de déploiement. Si les recherches doivent se poursuivre pour préparer l'émergence possible d'une mobilité de masse à base d'hydrogène dans la seconde moitié du siècle, à plus court terme, il faut sans doute plutôt encourager des solutions de mobilité à l'hydrogène plus ciblées, par exemple la mobilité des poids-lourds, des flottes de transport des collectivités ou encore des trains.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – Ce travail a l'immense mérite de dresser un état de la situation à ce jour.

Il est important en effet de bien distinguer le réseau et la mobilité, qui sont deux problèmes assez différents. Il faut également distinguer électricité et chaleur.

Les grands acteurs de l'effacement, qui sont les électro-intensifs qui utilisent l'électricité notamment pour la métallurgie ou la chimie, peuvent déplacer leurs activités avec souplesse sur les 8 400 heures annuelles de travail.

La question du stockage de l'électricité pose des problèmes de sécurité et de prix. Ces derniers peuvent se révéler totalement aberrants pour des moments extrêmement courts dans l'année. Il serait d'ailleurs intéressant que tout le monde sache combien le mégawatt coûte en fonction de ces différents moments. En cas de surproduction de l'éolien allemand, il ne coûte rien, alors que, pendant des périodes extrêmement courtes, il peut dépasser les

400 euros. Le marché de l'électricité présente cette singularité que l'intermédiaire, qui a une fonction de stockage, a aussi une fonction de régulation du marché. En cette matière, l'aspect économique est important.

Il faut évoquer la flexibilité du nucléaire. J'ai vécu avec l'idée que le nucléaire était une économie de ruban, qui se caractérisait par la stabilité de la production continue d'une puissance constante toute l'année. Apparemment, le nucléaire connaît aujourd'hui, pour des raisons qui m'échappent, une flexibilité.

Les énergies renouvelables sont toutes intermittentes, mais certaines sont aléatoires. Ainsi, le photovoltaïque est intermittent, alors que l'éolien est intermittent et aléatoire.

Je poserai une question de béotien : pourquoi l'électricité ne se stocke-t-elle pas ?

Par ailleurs, il n'a pas été question du stockage par l'énergie cinétique, alors que cela constitue une réponse intermédiaire et de transition. En effet, le stockage par inertie permet de restituer immédiatement un courant d'une certaine fréquence.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Sur les différentes formes de stockage de l'électricité, peut-on dresser un bilan des différentes marges de progression dans le parc français ? En ce qui concerne les STEP, toutes les opportunités géographiques ont-elles été saisies ? Qu'en est-il dans le reste de l'Europe et dans le reste du monde ?

L'alliance industrielle SAFT, Siemens, Manz et Solvay permettrait un retour de l'Union européenne sur le marché, alors que le barycentre se trouve aujourd'hui en Asie. Quelles actions politiques pourraient être menées à cette fin, au lendemain de la déconvenue de la fusion Alstom-Siemens, refusée par la Commission européenne ?

La rentabilité de l'hydrogène soulève des enjeux économiques importants. Se déclinent-ils à l'échelon européen ou uniquement à l'échelon français ?

En matière de politiques de pilotage, comment aider le secteur et à quelle échelle pertinente ?

M. Stéphane Piednoir, sénateur. – Ce travail rejoint la mission que je mène avec ma collègue Huguette Tiegna au nom de l'Office sur la fin de la commercialisation des véhicules émettant des gaz à effet de serre à l'horizon 2040. La mobilité électrique fait partie de nos questionnements.

Le stockage de l'électricité par batterie permet le rendement le plus élevé, de l'ordre de 90 %. Avec l'entrée en masse des voitures électriques sur le marché de l'automobile, dans quelques années, les batteries seront utilisables. Dans la mesure où elles ne pourront plus charger au-delà de 80 % de leur capacité, elles pourraient avoir une seconde vie pour du stockage. De ce point de vue, le stockage par batteries assemblées est un secteur émergent.

Par ailleurs, décharger sa batterie sur les bornes de recharge pendant les heures de pointe soulève aujourd'hui des problèmes réglementaires. Le législateur a un rôle à jouer en la matière. On pourrait ainsi envisager des avantages fiscaux pour les propriétaires de véhicules électriques acceptant de décharger tout ou partie de leurs batteries durant la nuit.

Mme Anne Genetet, députée. – Quelle étendue géographique faut-il pour installer une STEP ? Il a été question d'impact sur l'environnement et d'acceptabilité par les populations. Un tel ouvrage a-t-il la dimension d'un barrage ? Y a-t-il une retenue hydraulique ?

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – C'est en quelque sorte la question du barrage de Sivens !

Mme Anne Genetet, députée. – Trois solutions ont été exposées. Quelle est leur empreinte carbone sur leur durée de vie totale ?

La fabrication de batteries nécessite le recours à des métaux critiques. Or un récent ouvrage fait référence à notre dépendance à ces métaux. Dans ces conditions, est-il raisonnable de pousser dans cette voie ?

Mme Catherine Procaccia, sénateur, vice-présidente. – L'Office a rendu un rapport sur les terres rares.

Mme Huguette Tiegna, députée. – La question du stockage par inertie ayant été évoquée, je précise que, dans le Lot, une entreprise fabrique des volants d'inertie.

La mobilité électrique ne sera possible que par l'évolution des moyens de stockage, puisque cela concerne les sources d'énergie propre qui sont intermittentes. Cela concerne également l'hydraulique. Or, à l'échelon européen, les concessions ne sont pas si simples à obtenir, car la question de la concurrence se pose. Ne risque-t-on pas de rencontrer le même problème avec les STEP ?

Des préconisations seraient bienvenues à la fin de cette note, pour savoir comment améliorer les trois types de stockage mentionnés.

M. Jean-Luc Fugit, député. – Comme scientifique et comme citoyen engagé dans la transition écologique, je crois beaucoup à l'hydrogène, qui est, non pas une énergie, mais un vecteur énergétique, à condition de le produire avec une électricité propre et de ne surtout pas le réutiliser avec du CO₂ pour produire du méthane. En effet, dans sa phase de combustion, le méthane générera du CO₂.

Je souhaite insister sur les aspects économiques de ce sujet. Sur les énergies renouvelables, comme l'éolien ou le photovoltaïque, la France, l'Europe en général, a raté un investissement économique majeur et n'a pas réussi à créer un champion européen dans ce secteur sur le modèle d'Airbus. Nous avons peut-être l'opportunité de le faire avec l'hydrogène, il ne faudrait pas manquer cette occasion.

Une filiale de Michelin, Imeca, travaille sur ces sujets dans le sud de Lyon. Or il n'existe pas de fabricant français de piles à combustible, alors qu'elles sont nécessaires pour réutiliser l'hydrogène dans les véhicules. L'Union européenne balbutie, pendant que les Asiatiques investissent massivement dans le secteur. Ne devrait-on pas envisager d'avoir un champion européen autour de l'hydrogène ? Une telle filière permettrait de lutter non seulement contre les problèmes de CO₂, qui ont un impact sur le climat, mais aussi contre la pollution de proximité, à savoir les oxydes d'azote et les particules fines, qui ont un impact sanitaire direct.

Des facteurs de progression extrêmement importants sont possibles grâce aux véhicules électriques, qui ne sont pas des véhicules propres, mais qui sont les moins mauvais.

Ne faudrait-il pas envisager une programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) européenne ?

Enfin, une fois de plus, je voudrais insister sur la nécessité de mieux faire connaître nos travaux, en particulier au sein de nos assemblées.

M. Jérôme Bignon, sénateur. – Voilà quinze jours, France Stratégie a organisé un après-midi passionnant sur le thème des métaux critiques. Y ont été évoquées des questions complexes : marché, secret défense...

Le CEA développe un procédé au potentiel fantastique d'électrolyse de l'eau à très haute température pour produire de l'hydrogène. Cela paraît très prometteur. Une échéance est-elle prévue ?

Je suis étonné que la France ne compte que six STEP, compte tenu de son relief et de ses capacités en hydroélectricité. Il n'est qu'à voir les conduites forcées en Isère. La France occupe d'ailleurs une place majeure en courantologie, grâce au CNRS.

Je pense au barrage de Tignes. Pourquoi ce réservoir ne peut-il pas servir à des allers et retours ? J'ai bien compris qu'on envisageait une surélévation des barrages, mais, compte tenu des besoins, pourquoi n'explore-t-on pas d'autres ressources ? Je trouve que l'on devrait développer davantage l'hydroélectricité en France. Je m'occupe du canal Seine-Nord Europe. Voies navigables de France (VNF) a évoqué la capacité des canaux à produire de l'électricité. Ce pourrait être une richesse complémentaire stockée dans différents endroits du territoire.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – VNF a concédé la reconstruction des écluses de la Meuse, dans les départements de la Meuse et des Ardennes, à un exploitant qui les rénove en contrepartie de leur production électrique.

La première grande STEP est en Lorraine. C'est celle du lac Noir et du lac Blanc. Exploitée à partir des années 1930, l'hydroélectricité du Rhin est produite au fil de l'eau et disponible quand elle n'est pas nécessaire. Aussi, nos anciens l'utilisaient pour pomper l'eau du lac Noir vers le lac Blanc. Cette infrastructure a été abandonnée par EDF qui la juge inutile. Si quelqu'un veut l'acheter, elle est à vendre.

Mme Annie Delmont-Koropoulos, sénatrice. – Je voudrais citer les usines marémotrices. Celle de la Rance, qui a cinquante ans, subit les dommages de la vase mais il en existe d'autres en Ecosse. Elles ne demandent pas d'énergie de pompage.

Mme Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure. – La technologie des batteries est en forte évolution, afin de réduire le besoin de métaux dont l'approvisionnement pose problème, tel le cobalt. À plus long terme, on travaille sur des technologies de batteries qui ne posent pas de problème de dépendance dans les matériaux critiques, par exemple la technologie zinc-air.

Le fabricant français SAFT est en attente de contractualisation avec les constructeurs automobiles français.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – SAFT appartient à Total, ce qui est rassurant quant à ses capacités financières.

Mme Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure. – Mon interlocuteur chez SAFT a insisté sur le nécessaire respect des conventions de l'Organisation internationale du travail (OIT) dans les pays asiatiques. On pourrait s'appuyer sur ce levier pour que les batteries françaises soient prioritaires. Les critères environnementaux peuvent aussi constituer un moyen légal de soutenir l'industrie des batteries européennes. La fabrication des batteries est en effet très énergivore, et à ce titre elle induit plus d'émissions de CO₂ en Asie qu'en Europe, car le mix électrique asiatique est beaucoup plus carboné.

Outre le cobalt, extrait notamment en République démocratique du Congo, le lithium fait l'objet de tensions. Les nouvelles technologies s'orientent vers une moindre utilisation de ces métaux.

Avec les futures bornes de recharge bidirectionnelles, il sera possible de gérer très finement la participation des batteries électriques des voitures au fonctionnement du système électrique. Non seulement on pourra limiter les appels de puissance et donc l'effet déstabilisateur d'une recharge massive au moment où le réseau fait face à un pic de demande, mais on pourra aussi utiliser en partie l'énergie stockée dans les batteries des voitures pour répondre à la consommation d'électricité ou pour assurer certains services système. C'est ce qu'on appelle les applications *Vehicle-To-Grid*. C'est en plein développement.

On a certainement la possibilité de construire de nouveaux barrages en France. Nous pouvons défendre ce dossier au niveau législatif en exonérant de taxation les nouvelles constructions de STEP. Je l'ai fait lors de l'examen du projet de loi de finances.

En effet, produire du méthane à partir de dihydrogène n'est pas forcément la meilleure solution.

Il n'existe pas de fabricant français de pile à combustible. Il faudrait envisager de créer un champion européen. J'ai rencontré des membres du CEA-Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux (Liten) de Grenoble qui travaillent sur l'hydrogène. Ils ont évoqué Air Liquide comme l'un des acteurs historiques du secteur.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – Air Liquide produit son hydrogène à partir de pétrole.

Mme Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure. – Le Liten espère une industrialisation de son procédé d'électrolyse à haute température d'ici cinq ans, avec l'aide du plan hydrogène.

Pourquoi pas une PPE européenne, puisque nous sommes en réseau ? Elle serait nécessaire pour répondre au grand foisonnement européen. Les possibilités de partage sont énormes et favorisent l'entrée sans heurt des énergies renouvelables dans le réseau. Il est vrai que la production électrique française est jusqu'à présent issue à 75 % du nucléaire, qui est pilotable. Le changement qui se produira est important mais même si le taux d'énergie renouvelable progresse, la France conservera le nucléaire, c'est-à-dire la capacité de piloter la production.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – L'économie du stockage de l'électricité est une question majeure. De très grands acteurs industriels aux intérêts matériels évidents s'y intéressent. SAFT, qui appartient à Total, n'est pour l'instant pas présent sur le

marché des batteries d'automobiles mais est plutôt spécialisé dans celles de l'aéronautique. Le soutien de Total est important.

Jean-Luc Fugit a évoqué Michelin, qui s'investit beaucoup dans la chaîne de motricité du véhicule. Il reste de grands progrès technologiques à faire sur les piles à combustible.

Nous n'avons pas réussi l'industrialisation du photovoltaïque et de l'éolien en Europe parce qu'on a fait le choix de soutenir la consommation. Les grands opérateurs dont EDF se sont assez peu impliqués, estimant qu'ils avaient déjà des capacités considérables. En tant que libéral, je ne peux pas condamner le comportement des installateurs d'éoliennes et de panneaux photovoltaïques mais en tant que Français, je rappelle qu'il faut en accepter les conséquences. Ceux qui ont investi tirent profit d'une rente garantie par l'État. Ils ont été les complices objectifs de l'importation de produits, sans compter le probable *dumping* de la part des producteurs chinois.

Quant aux producteurs français d'éoliennes, s'ils sont bons dans la construction de moteurs, ils délaissent les pâles, dont la technologie est pourtant assez simple, et les fûts en acier, alors que si un pays sait faire de l'acier, c'est bien la France. Cette économie a été tirée par une rente de situation. La vraie bataille n'était pas sur la technologie mais sur les autorisations administratives.

Assurer la notoriété des travaux de l'Office est le rôle du président et du premier vice-président. Nous traitons les sujets avec beaucoup de courage ; citons l'exemple de l'huile de palme. En n'étant pas dans l'actualité, nous sommes protégés et les idées justes s'insinuent peu à peu. Il serait très facile d'acquérir de la notoriété : il suffirait de dire ce que l'on pense et de créer la polémique en critiquant ceux qui ne sont pas d'accord. L'intérêt de l'Office est plutôt de publier des notes scientifiques et que ses membres, dans leurs commissions respectives, les mettent en avant en donnant l'état de l'art. N'agaçons pas les présidents de commission. Nous avons la liberté de dire ce que nous pensons, ce qui doit s'accompagner d'une certaine modestie. En revanche, quand nous avons adopté un rapport, nous devons vraiment en défendre les conclusions.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Je suis d'accord avec Jean-Luc Fugit et Gérard Longuet. Nous devons gagner en visibilité tout en évitant d'être perçus comme empiétant sur le domaine des commissions ou des missions d'information. Nous pouvons en revanche faire savoir que nous sommes prêts à éclairer leurs travaux, par exemple pour la discussion du projet de loi d'orientation des mobilités.

Je propose, sous le contrôle du président, que nous réalisons un recueil de nos notes, lorsque nous en aurons une douzaine, et que nous le distribuons à nos collègues, en disant que nous sommes à leur disposition. Ce serait un moyen de faire connaître notre activité tout en conservant un profil modeste.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – C'est une bonne idée.

L'aspect technique de la note de Mme Prévile est clair. Si l'on veut intéresser davantage nos collègues, il faut aller plus loin en dégageant une problématique politique sur les terres et les métaux rares ou sur l'empreinte durable de la mobilité électrique. Ces questions de société donnent à l'analyse scientifique son importance politique.

Le sujet de l'hydrogène est un peu différent parce qu'il y a plutôt un problème de calendrier. Toutefois, on peut se demander si ce n'est pas l'occasion pour l'Europe de regagner du terrain. Les questions de la PPE et du mix énergétique européen sont profondément sociétales, liées à des convictions.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Je propose de vous faire prochainement une présentation de thèses et ouvrages académiques anglo-saxons sur le statut du conseil scientifique en politique, en particulier le livre de Roger Pielke, *The Honest Broker: Making Sense of Science in Policy and Politics*. Il explique qu'il existe quatre positionnements pour un scientifique qui veut contribuer à la politique : soit il répond à une commande du politique ; soit il pose de grands principes vers lesquels il faut tendre ; soit il émet une recommandation sur un sujet précis ; soit il propose un éventail de possibilités cohérentes. Le choix entre ces quatre attitudes dépend du contexte et du niveau d'incertitude et de consensus. Cette présentation pourra éclairer l'attitude de l'Office.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – À l'occasion de la présentation de la douzième note courte, nous pourrions organiser une audition ouverte à tous pour savoir quelle est la pente naturelle des Français, parmi ces quatre positionnements. Ce sujet est absolument passionnant. Je suis terrifié par l'éloignement croissant des populations vis-à-vis des scientifiques alors qu'ils n'ont jamais été aussi nombreux, compétents, raisonnables, responsables. On a suivi des générations de savants fous comme des moutons bêlants et maintenant, alors que les scientifiques appartiennent à un système transparent et dialectique, on écoute les vaticinations d'ahuris qui réinventent l'eau tiède. On pourrait poser la question de ce qu'attend la France de ses scientifiques.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – La réflexion du monde anglo-saxon est plus avancée. Je pourrais aussi citer Sir Peter Gluckman, scientifique néo-zélandais, reconnu comme un expert des dispositifs de conseil scientifique au politique. Nous pourrions poser le débat en termes internationaux.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – Ne parlons pas de l'Office comme outil mais plutôt de la science et de la politique.

Autorisons-nous la publication de la note ?

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Il est peut-être temps d'ajouter M. Bernard Salha, qui supervise la recherche-développement chez EDF, à la liste déjà bien fournie des personnes consultées, afin d'établir avec lui un contact plus avancé.

Mme Angèle Prévile, sénatrice, rapporteure. – J'ai interrogé Mmes Louise Vilain et Véronique Loy d'EDF.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Il est bon de disposer de divers relais dans cette grande maison. Je connais M. Salha, ayant été membre du conseil scientifique d'EDF ; en outre, le grand centre de Saclay est dans ma circonscription. Ce serait l'occasion de renforcer les liens avec des personnes précieuses pour l'avenir.

L'Office autorise la publication de la note scientifique n° 11 sur le stockage de l'électricité.

Communication d'Anne Genetet, députée, sur l'intégrité scientifique

Mme Anne Genetet, députée, rapporteure. – Je commencerai ce point d'étape de ma réflexion sur l'intégrité scientifique par quelques exemples de méconduite. En 1998, le chirurgien britannique Andrew Wakefield a publié dans la revue *The Lancet* une étude établissant un lien entre le vaccin contre la rougeole et la rubéole et l'autisme, qui s'est révélée ensuite être une tromperie. En septembre 2014, le Français Olivier Voinnet a fait l'objet d'un signalement sur le site *PubPeer* par une structure extérieure. En septembre 2017, Catherine Jessus, directrice de l'Institut des sciences biologiques du CNRS a fait l'objet d'allégations de tromperie qui ont eu des conséquences sur sa vie professionnelle et personnelle, même si elle a été blanchie. En novembre 2017, Anne Peyroche, chercheuse du Commissariat à l'énergie atomique, a été mise en cause. L'affaire, relatée dans la presse, n'est toujours pas tranchée.

On estime que les publications prédatrices, c'est-à-dire douteuses, sont environ 8 000 dans le monde et que le nombre d'articles suspects a été multiplié par huit en quatre ans, pour atteindre un total de 400 000, sur un flux annuel d'un million environ. La proportion de fraudeurs serait de 2 %, soit 140 000 chercheurs. Les sciences de la vie sont les plus affectées par le phénomène.

Il est nécessaire d'établir une distinction très claire entre éthique, intégrité scientifique et déontologie. Je vous livre les définitions de l'Office français de l'intégrité scientifique (OFIS). L'éthique assure à chaque citoyen que la science et les technologies n'empruntent pas des voies humainement ou socialement hasardeuses. L'intégrité scientifique garantit la fiabilité des résultats de la recherche et assure que chaque production scientifique est établie selon les meilleurs standards. La déontologie, elle, assure que les travaux des chercheurs ne font pas l'objet de conflit d'intérêts.

Les manquements sont de plusieurs sortes. Ce peut-être une erreur qui n'a rien de volontaire, une faute, qui est faite sciemment, ou une fraude, qui est intentionnelle. Aucune nomenclature internationale n'existe en la matière. Il est important de les distinguer et de répondre à la question : comment répondre à des manquements non intentionnels ? L'erreur est humaine et un proverbe chinois dit bien que c'est en tombant que l'on apprend à se relever. En recherche, l'erreur ou l'absence de résultats peuvent être une source de progrès. Or ce n'est pas du tout valorisé.

L'une des personnes que j'ai interrogées m'a raconté qu'en 2007, l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE) était très réticente sur ce sujet, en raison du principe qui veut que « quand on construit un thermomètre, alors on va mesurer la température ».

En 2009, l'Agence nationale de la recherche a publié une charte de déontologie et d'intégrité scientifique.

En 2010, le professeur Jean-Pierre Alix, chercheur au CNRS, a publié un rapport intitulé *Renforcer l'intégrité de la recherche en France* qui formulait huit recommandations auxquelles il n'a pas été donné suite.

En juillet 2010, la déclaration de Singapour a défini l'intégrité scientifique. En 2014, l'Agence nationale de la recherche a supprimé ses comités d'intégrité scientifique. Seul l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) a pris le problème à bras le corps. En janvier 2015, une charte de déontologie des métiers de la recherche a été publiée, mais tous les établissements n'en sont pas signataires.

En juin 2016, Pierre Corvol a signé un rapport intitulé *Bilan et propositions de mise en œuvre de la charte nationale d'intégrité scientifique* dans lequel il note que la fraude est difficile à déceler et que les décisions et sanctions pour fraude sont très rares. Il souligne l'importance de former à l'intégrité scientifique dans les écoles doctorales. Il propose que la responsabilité du chef d'établissement soit engagée et pas seulement celle de l'auteur de l'étude. Il déplore l'absence de cadre juridique pour traiter les manquements. Il souligne la nécessité de mener des recherches sur l'éthique et l'intégrité et recommande la création d'une structure dédiée. La même année, le CNRS a publié un guide sur la pratique d'une recherche intègre et responsable. En 2017, le professeur Corvol a publié un vade-mecum de l'intégrité scientifique. Enfin, en mars 2017, le Gouvernement s'est emparé du sujet et le secrétaire d'État à la recherche a publié une lettre circulaire.

Des postes de référents à l'intégrité scientifique ont été créés, qui évaluent à 11 % le taux de falsification des publications.

Aujourd'hui, 36 établissements de recherche sont signataires de la charte de déontologie des métiers de la recherche et l'on dénombre 83 référents à l'intégrité scientifique, au sein de ces établissements mais pas seulement.

Le président-directeur général du CNRS, Antoine Petit, a commandé un rapport à Olivier Le Gall, président de l'OFIS, sur ce que devrait être un référent à l'intégrité scientifique au CNRS.

L'OFIS a été créé en mars 2017 en tant que département du Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres). Il bénéficie de conditions propres à garantir son indépendance dans l'exercice de ses missions. Il est composé d'une équipe opérationnelle et d'un conseil de douze experts. Ses missions sont l'expertise, l'observation et l'animation. Il ne s'agit pour l'OFIS ni d'instruire ni de sanctionner. Ses moyens humains sont limités puisque l'équipe permanente est constituée d'une directrice, d'un chargé de mission à temps plein et d'un conseiller scientifique. Deux autres postes pourraient être pourvus à l'avenir. L'OFIS dispose de 50 mètres carrés de locaux au sein du Hcéres. Il n'a pas de budget propre ; ses frais sont pris en charge par le Hcéres. Il n'a pas de site mais une page sur le site du Hcéres.

On nous a indiqué que le Hcéres effectuait une démarche pour acquérir le statut de personnalité morale afin de jouir d'une autonomie accrue.

J'en viens aux actions de l'OFIS : l'édition d'un guide, sous l'impulsion du référent intégrité scientifique du CEA, pour le recueil et le traitement des signalements ; l'élaboration d'une feuille de route pour 2020 qui détaille 18 actions inspirées du rapport Corvol pour harmoniser les procédures de signalement, d'instruction et d'appel, mutualiser les retours d'expérience, former, promouvoir et mieux intégrer les enjeux ; la mise en place de cycles de séminaires ; des actions de pédagogie et d'information ; un rapprochement avec les instances européennes.

Quelle est la situation à l'étranger ? Aux États-Unis, il existe l'*Office of Research Integrity* (ORI), qui traite exclusivement des cas de fraude dans le cadre des organismes recevant des fonds publics, qu'il s'attache à prévenir, identifier et sanctionner. En Allemagne, le médiateur de la recherche ne dispose pas de cadre légal et n'impose pas de sanctions. Les cas de fraude sont instruits directement par les universités et les instituts de recherche. Au Royaume-Uni, l'Office d'intégrité de la recherche est un organe sans but lucratif qui propose un soutien au public, aux chercheurs et aux organisations pour promouvoir les bonnes pratiques, sans aucun pouvoir légal.

L'OFIS demande un budget individualisé et indépendant ; une mission explicitement intégrée dans celles du Hcéres ; davantage de moyens que les 100 000 euros de 2017 et les 50 000 euros de 2018 ; peut également se poser la question de ce qu'il adviendra en cas de changement de présidence du Hcéres, dont le premier mandat s'achève cette année.

Je n'ai pas eu de réponse du ministère de la recherche, bien que j'aie parlé du sujet à la ministre, Mme Vidal.

Il n'existe aucune harmonisation ni structure en charge de suivre l'ensemble des cas d'allégations de méconduite. La plateforme américaine *PubPeer* publie des commentaires anonymes sur des dizaines de milliers d'articles scientifiques. La plateforme reçoit 25 000 visites individuelles et un millier de nouveaux commentaires par mois. L'information apportée par le commentaire doit être factuelle et vérifiée, publiée par une tierce personne. Mais quelle en est la fiabilité ? Des accusations retentissantes de méconduite ont d'abord été publiées sur *PubPeer*, mais moins de 10 % des commentaires critiques donnent lieu à une commission d'enquête. C'est à la limite de la diffamation, puisqu'aucune structure n'aide le chercheur visé, qui ne peut se défendre.

Quelle articulation entre l'OFIS et le collège de déontologie ? L'intégrité scientifique est un enjeu capital et urgent. Face au développement des *fake news* et à la défiance du grand public vis-à-vis des sciences, il n'y a pas de temps à perdre. Tout retard à traiter une allégation de manquement nuit à l'image de la science.

L'existence, en France, de trois acteurs – l'OFIS, le Hcéres et l'Agence nationale de la recherche – est source de confusion, de chevauchement et d'inefficacité. En quoi ces acteurs peuvent-ils constituer des autorités morales ? Quel est leur poids réel sur la communauté de la recherche ? Il n'existe aucun cadre ni aucune structure procédurale nationale. Le chercheur accusé est dans une solitude totale.

Comment permettre le droit à l'erreur ? Celle-ci peut être une source d'enrichissement. Selon la circulaire Mandon, « la responsabilité individuelle du chercheur est pleinement engagée mais le garant intégrité scientifique est le responsable exécutif de l'opérateur de recherche ».

Les situations sont toujours complexes. En outre, comment garantir l'indépendance du référent de l'intégrité scientifique, qui appartient à la même structure que le chercheur dont il est saisi ? La question du recours à une instance extérieure se pose. En outre, la recherche privée doit elle aussi répondre à des standards.

Je pense que la formation à l'intégrité scientifique doit être très précoce, dès le secondaire.

Que doit faire le législateur ? Certaines personnes que j'ai interrogées lors de mes auditions ne souhaitent surtout pas son intervention. La responsabilité peut-elle être laissée aux établissements, la loi définissant le cadre de responsabilité de ces établissements ? On pourrait dresser une analogie avec la lutte antidopage, dont chaque fédération sportive est chargée pour ses ressortissants, mais sous le contrôle d'une agence publique indépendante.

Un problème sémantique se pose : délégué à la déontologie, délégué à la déontologie scientifique, lanceur d'alerte à la santé et à l'environnement, référent sur les données personnelles, référent intégrité scientifique... Ce n'est pas lisible.

Notons aussi l'absence de coordination européenne en la matière. Pourtant, l'adoption du Règlement général sur la protection des données (RGPD) montre que l'Union européenne peut imposer ses standards lorsqu'elle est unie.

Enfin, je vous soumetts cette question philosophique, posée par une personne que j'ai interrogée : « Définir le manquement, c'est entraver la liberté de chercher. Si le législateur s'en mêle, la liberté de chercher risque d'être entravée. »

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – Je suis très impressionné par ce travail. J'ai une foi naïve dans la science. Je souscris aussi complètement au droit à l'erreur.

Le problème me semble celui de la société de l'hyper-information, du numérique absolu et de la prise à partie déstructurée, sans aucune mesure, réserve ni pudeur. Je ne voudrais pas que les scientifiques en soient victimes. Soyons vigilants à ne pas entraver la liberté de la recherche au motif qu'il existe des fraudeurs.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Il s'agit effectivement d'un sujet multiforme et vital, présentant des difficultés culturelles importantes. J'y ai moi-même travaillé à plusieurs reprises, et Claude Huriot, auteur d'une loi à ce sujet, était au cœur d'un groupe de scientifiques intéressés par ce thème qui se réunissait à l'Institut Poincaré. L'OFIS a d'ailleurs été créé sur ses recommandations, même si sa forme n'est pas, selon lui, à la hauteur des enjeux.

J'ai discuté de cette question avec plusieurs personnalités, en particulier avec le journaliste Sylvestre Huet, réputé pour sa forte intégrité, son intransigeance, sur ces questions ; c'est un observateur intéressant et extérieur de ce sujet.

Les méconduites scientifiques peuvent relever de l'éthique – les questionnements que peut avoir un chercheur sur des pratiques légales mais discutables – ou de la loi – les comportements condamnables, comme la falsification ayant des conséquences néfastes pour la société ou entraînant un mauvais usage de fonds publics.

Il y a quelques ouvrages sur le sujet, surtout issus du monde anglo-saxon. On observe une grande variété de méconduites. Il peut s'agir de plagiats plus ou moins avérés et importants – de l'emprunt à moitié inconscient à la reproduction systématique –, d'implications de découvertes scientifiques dans certaines situations – Michel Rocard parlait de crime contre l'humanité pour qualifier les travaux des chercheurs en mathématiques financières dont les formules se sont retrouvées impliquées dans la crise financière de 2008 –, d'affaires tragiques – je pense à celle qui a mené au suicide d'un grand scientifique japonais à propos d'une affaire où c'était une personne de son équipe et non lui qui était en faute –,

d'affaires grossières, voire cocasses, comme celle du chercheur ayant dessiné des pois sur une souris pour faire croire à sa mutation – « la souris truquée » –, ou de cas – comme, d'après ce que j'en comprends, avec l'affaire Peyroche – dans lesquels il y a clairement eu falsification mais dont les conclusions ne sont pas mauvaises et font avancer la recherche dans le bon sens.

La question de l'intégrité scientifique n'était pas absente de l'affaire Dreyfus, avec l'analyse graphologique menée par Bertillon, lequel expliquait qu'il s'agissait d'un autoplégat, Dreyfus ayant fait semblant, selon lui, d'imiter sa propre écriture.

Dans certains cas, les problèmes posés par l'expertise scientifique sont plus subtils. On peut ainsi penser aux scientifiques de bonne foi invités à des conférences sur le changement climatique aux États-Unis et qui font part, par honnêteté, de leurs incertitudes, sans se rendre compte que cette honnêteté est instrumentalisée pour discréditer la thèse du réchauffement climatique ; bien entendu, toute recherche a sa part d'incertitude et la notion de consensus est très délicate en sciences.

Parmi quelques autres affaires célèbres, il y a eu la fraude subtile au *referee*, démasquée par Springer Publishing, dans laquelle des auteurs avaient mis sur pied un anneau permettant à chacun d'être le *referee* examinant les conclusions de son complice, de sorte que tous jugeaient positivement les recherches de leurs collègues. Dans un monde où la recherche en biologie est devenue très compliquée et où les éditeurs, ne sachant plus qui solliciter, suivent les recommandations de l'auteur lui-même, c'était difficile à détecter.

Il y a aussi de nouvelles méconduites provenant des transformations économiques du monde de la publication scientifique, avec le modèle auteur-payeur. Cela a parfois conduit à des situations incroyables, comme cet article écrit par un algorithme aléatoire et soumis avec succès à une revue à auteur-payeur. Un chercheur a même fait publier la phrase « *Get me off this fucking mailing liste* », que je vous cite telle quelle, répétée d'un bout à l'autre de son article. Dès lors que l'on paie, on peut faire publier n'importe quoi dans certaines revues. Les scientifiques connaissent la gradation des revues, mais un œil non expert peut être impressionné par le curriculum de quelqu'un qui aura publié de nombreux articles, alors qu'il suffit de payer pour être publié.

Une étude menée en 2010 auprès des chercheurs estime qu'environ un tiers des chercheurs avaient commis, à un moment ou à un autre de leur carrière, des actes qu'ils estimaient non conformes à la déontologie et à l'intégrité. Ce n'est donc pas du tout marginal, et, dans un contexte où les tensions économiques, politiques s'accroissent et où l'incitation à la publication est de plus en plus forte, ce phénomène s'accroît.

Le milieu scientifique a du mal à s'emparer de ce sujet. Le réflexe a longtemps été : « pas de vague ! » ; si l'on règle ces problèmes publiquement, cela aura des répercussions négatives sur toute la recherche. Je pense au contraire que, dans le monde actuel, où rien ne peut être durablement caché, le fait de traiter ces cas avec le bon niveau de réponse permettra de maintenir la confiance du public à l'égard de la science.

Un premier colloque a été organisé, en 2012, par Claude Huriet et Claudie Haigneré. On y a échangé des statistiques et des recommandations, et l'on a évoqué diverses initiatives – la déclaration de Singapour, une tentative de charte ou de serment, la nécessité d'instruire les jeunes docteurs en la matière.

La mise en place institutionnelle est difficile. Le ministère de la recherche a du mal à se saisir de ce sujet, d'autant qu'il n'est pas l'acteur qui bénéficie le plus de la confiance du monde scientifique. Il faut aller, me semble-t-il, vers un système de référents opérationnels au sein des institutions – les universités, les laboratoires de recherche, les agences –, avec un organisme indépendant pouvant édicter des règles et des mécanismes.

Il faudrait aussi un mécanisme d'appel, qui connaisse des cas dans lesquels l'institution n'a pas répondu à la frustration. J'ai été saisi, informellement, de plusieurs cas de plagiat de thèse au cours des dernières années. En général, un morceau plus ou moins important de thèse a été intégralement repris par un autre doctorant, le directeur de thèse ne voulant pas voir sa réputation entachée et le président de l'université ne souhaitant pas ébruiter l'affaire ; bref, rien n'est réglé, même lorsque le plagiat est évident. Il faut donc travailler à ce mécanisme d'appel auprès d'autorités ayant un poids moral et une certaine indépendance.

En outre, certaines institutions ont du mal à conduire l'instruction. Dans les affaires Voinnet et Peyroche, l'instruction s'est chaque fois mal passée : soit l'affaire a été instruite trop rapidement et trop durement, sans que le scientifique mis en cause puisse se défendre, soit elle l'a été trop lentement et en n'étant pas à la hauteur, et c'est la presse qui a, *in fine*, levé le lièvre. On le voit, l'institution ne sait pas encore se saisir de ces cas, et ce n'est pas à l'OFIS de les instruire.

M. Pierre Ouzoulias, sénateur. – Merci de ce travail complet et intéressant. Les sciences humaines et sociales ne sont pas exemptes de ces travers. Je vous en donnerai deux exemples.

D'abord, j'ai un jour confié un travail à un étudiant, qui m'a rendu un plagiat à 80 % de l'un de mes articles sur la bière en Gaule. Mon travail avait été traduit en anglais sur un site chinois, sans aucune référence, mon étudiant l'a trouvé sur Google et l'a traduit...

Ensuite, j'ai assisté à un séminaire sur l'intégrité scientifique, au cours duquel un collègue, ayant repris toutes les données de l'expérience de Stanford, qui montre que le comportement d'un individu est lié à son milieu, a montré que les conclusions étaient préalables à la réalisation et ne découlaient pas de l'expérience. Ainsi, cette expérience fondatrice de toute une école de sociologie est remise en cause, quarante ans plus tard.

On le sait, de plus en plus de travaux universitaires en sociologie sont aujourd'hui réalisés sur des cohortes purement fictives.

Il y a donc une très grande souffrance, celle des scientifiques accusés à tort, et celle des personnes qui éprouvent des difficultés à dénoncer des faits d'inconduite, à faire valoir leur point de vue. La représentation nationale doit apporter une réponse. Contrairement à ce qui a pu être dit tout à l'heure, je crois que nombre de scientifiques attendent une intervention du politique.

La commission de la culture du Sénat travaille depuis longtemps sur des sujets connexes – fausses nouvelles, libertés individuelles, identité numérique – et sa présidente souhaitait confier à ma collègue Colette Mélot et à moi-même un travail portant sur l'intégrité scientifique. Cela ne doit pas entrer en concurrence avec votre travail, madame la députée, ce doit être complémentaire. Ce sujet peut montrer que l'Office peut travailler de façon intéressante et complémentaire avec une commission permanente. L'approche juridique ne

doit pas être négligée et relève plutôt, selon moi, d'une commission parlementaire que de l'Office. En outre, la commission parlementaire peut convoquer des personnes à huis clos, de façon anonyme.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Nous devons en discuter. La commission homologue de la vôtre à l'Assemblée nationale pourrait être intéressée également. Trouvons le moyen de faire travailler ensemble l'Office et les commissions permanentes, discutons-en entre nous ; je suis ouvert à toutes les solutions. Un tel thème aura beaucoup d'écho, je pense.

Je suis d'accord avec vous, monsieur Ouzoulias, le phénomène est également important en sciences humaines et sociales, en particulier avec le plagiat, qui peut être plus ou moins évident.

Il y a aussi une histoire savoureuse en mathématiques. Un scientifique italien s'était fait une spécialité de traduire des articles de mathématiques publiés en anglais dans des revues internationales et de les publier dans des revues locales. Un jour, l'un de ces articles a atterri sur le bureau de son auteur d'origine, à qui l'on demandait une évaluation pour les *Mathematical Reviews*. Le plagiaire ne s'est pas démonté, il a fait le tour des universités italiennes pour arracher la page correspondante dans les revues. Cela a été révélé quand un scientifique s'est demandé pourquoi cette page manquait dans plusieurs universités...

Mme Catherine Procaccia, sénateur, vice-présidente. – Dans quelle catégorie faut-il intégrer la recherche de Gilles-Éric Séralini ?

Je ne suis pas spécialiste du sujet, mais j'ai tendance à penser que, s'il ne passionne pas les parlementaires, il intéressera au moins les scientifiques.

M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office. – Dans le cas de Gilles-Éric Séralini, sans me prononcer sur le fond, la forme du débat n'a pas été respectée. Par exemple, quand il a refusé de communiquer ses données, cela a provoqué des réactions de l'autre camp qui n'étaient pas non plus raisonnables, et qui l'attaquaient sur ses convictions personnelles. Il y a donc eu une perte d'intégrité dans l'ensemble du processus.

Je veux croire qu'il était de bonne foi et je pense que la rétractation de son article fut une erreur. Des articles faux, il s'en publie beaucoup, et le taux de reproductibilité en sciences humaines et sociales ou en biologie est très faible, cela a été démontré. Il faut donc être prudent ; des erreurs méthodologiques, avérées dans ce cas, ne justifient pas l'infamie de la rétractation. Du reste, l'affaire n'est sans doute pas terminée...

J'ai travaillé à une autre affaire, celle de la mémoire de l'eau. Ce cas, plus complexe qu'on ne le dit souvent, est fascinant à bien des égards. Il mêle la question de la reproductibilité, celle de l'expertise indépendante, le rapport à la presse, le rôle des statistiques, les conflits de chapelle, la déontologie des revues – quand le rédacteur en chef d'une revue parmi les plus prestigieuses du monde affirme quasiment « j'étais sûr que c'était faux, donc j'ai décidé de publier », on peut s'inquiéter... J'ai rédigé une note de synthèse sur ce thème, je vous la communiquerai. Pour en avoir discuté avec des collaborateurs du Dr Benveniste, je pense que l'on n'a pas encore tout éclairci.

On a peu parlé de l'indépendance des experts et de nos institutions. La France a traité durement les questions de conflits d'intérêts, et on a maintenant des alertes selon lesquelles cela aboutit à des pertes d'expertise, dans le domaine des médicaments, par exemple, où le poids des industries est très fort. Un laboratoire pharmaceutique m'a saisi récemment pour me demander pourquoi la France était le seul pays, avec la Corée du Nord, à refuser d'accorder un agrément à son médicament, et j'ai réalisé, après enquête, que l'on avait perdu beaucoup d'expertise dans le domaine considéré en raison de règles trop strictes sur les conflits d'intérêts. Il faut examiner cela avec beaucoup de doigté.

Mme Anne Genetet, députée. – Et il ne faut pas confondre le conflit d'intérêts avec le lien d'intérêt, qui peut être enrichissant.

M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office. – Merci. Votre communication sera publiée dans le compte rendu de notre réunion. Ces travaux démontrent une fois encore les apports du Parlement au monde scientifique.

Notre collègue sénatrice Mme Annie Delmont-Koropoulis m'a fait savoir qu'elle souhaiterait préparer *une note scientifique sur les perspectives des réseaux locaux des smart-cities.*

Il en est ainsi décidé.

La réunion, suspendue à 11 h 25, est reprise à 11 h 30.

Membres présents ou excusés

Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Réunion du jeudi 7 février 2019 à 9 heures

Députés

Présents. - M. Jean-Luc Fugit, Mme Anne Genetet, Mme Huguette Tiegna, M. Cédric Villani

Excusés. - M. Christophe Bouillon, M. Claude de Ganay, M. Antoine Herth

Sénateurs

Présents. - M. Jérôme Bignon, Mme Annie Delmont-Koropoulis, M. Gérard Longuet, M. Pierre Ouzoulias, M. Stéphane Piednoir, Mme Angèle Prévile, Mme Catherine Procaccia

Excusés. - Mme Laure Darcos, M. Rachel Mazuir, M. Pierre Médevielle, M. Bruno Sido