

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 « Les modes de production de l'hydrogène » (Gérard Longuet, sénateur, rapporteur)2
- **Communication** de Didier Baichère, député, sur son projet de PPL « Reconnaissance faciale et intelligence artificielle »14
- **Nomination** de trois membres du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire20

Jeudi 15 avril 2021

Séance de 10 heures

Compte rendu n° 106

SESSION ORDINAIRE DE 2020-2021

**Présidence
de M. Cédric Villani,
*président***



Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Jeudi 15 avril 2021

– Présidence de M. Cédric Villani, député, président de l'Office –

La réunion est ouverte à 10 h 10.

Examen de la note scientifique « Les modes de production de l'hydrogène » (Gérard Longuet, sénateur, rapporteur)

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Je souhaite la bienvenue à mes collègues. Nous avons un emploi du temps riche ce matin puisque nous consacrerons la réunion à l'hydrogène, à la reconnaissance faciale et à des nominations dans le contexte du nucléaire et de la recherche polaire. Nous finirons par une audition des rapporteurs de la mission Covid. Je laisse tout d'abord la parole au premier vice-président Gérard Longuet pour présenter la note scientifique n° 25 sur les modes de production de l'hydrogène.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – C'est la première fois que je travaille sur une note courte et je peux témoigner de la richesse de cette expérience, de l'intérêt d'aboutir rapidement à un résultat, mais aussi de la frustration qu'elle provoque : celle de ne pas approfondir davantage le sujet.

Le thème de la production d'hydrogène peut paraître assez défini mais il est en réalité majeur. Voici, en introduction, une perspective historique : la France a le sentiment d'avoir raté les révolutions énergétiques. Nous n'avions, en effet, pas de ressources massives de charbon ou de pétrole faciles à exploiter. Le nucléaire est une chance en balance, car ce secteur est à la fois très défendu et très critiqué. L'hydrogène, dans l'opinion publique, dans un contexte de crise et de volonté de relancer l'économie, apparaît comme une option qui pourrait ouvrir une ère nouvelle. La France et l'Union européenne pourraient ainsi rattraper le retard accumulé sur les énergies renouvelables, notamment en ce qui concerne l'éolien et le photovoltaïque, car la France est en bonne place sur l'hydraulique, mais son développement est limité. L'opinion est favorable à l'hydrogène depuis l'époque de Jules Verne, et il est actuellement associé à l'espérance de nouvelles énergies renouvelables. Ainsi toutes les conditions sont réunies pour un enthousiasme médiatique en faveur de l'hydrogène.

Le format de la note courte permet de se concentrer sur un aspect concret qui est ici celui des modes de production de l'hydrogène, mais il n'empêche pas d'évoquer d'autres aspects autour de cette source d'énergie.

L'hydrogène est une molécule dont les constituants sont très présents dans l'environnement, mais, et c'est là son drame, quasiment jamais seuls et l'immense majorité du temps associés : à l'oxygène dans l'eau ou au carbone dans le méthane, par exemple. Aussi, il faut préalablement casser une molécule plus complexe avant de pouvoir utiliser l'hydrogène. Les modes de production de l'hydrogène présentés dans la note consistent justement en cette opération.

Pour les appréhender, il faut distinguer trois temps : le temps médiatique, qui veut des réponses immédiates, dans le cadre duquel les espoirs seront nécessairement douchés ; le temps industriel, qui est plus prometteur mais qui soulève des problèmes majeurs liés, d'une part, à la production d'électricité et à la production d'hydrogène elle-même, d'autre part, à la décision politique de soutenir ou non une hausse continue de la taxe carbone sur le CO₂ ; enfin, le temps scientifique, qui est extraordinairement prometteur, mais dont les échéances ne sont pas maîtrisées.

La note écarte l'idée d'une révolution immédiate, en dépit des sommes considérables investies, tant par les gouvernements français qu'allemand, par exemple, au sein de l'Union européenne.

Nous devrions sélectionner nos objectifs en fonction du mode de production. Le premier de ceux-ci, écrasant en volume car il représente 95 à 99 % des 70 à 80 millions de tonnes d'hydrogène produites chaque année, repose sur les énergies fossiles. Je le rappelle, l'hydrogène pur n'existe pas, sauf marginalement, notamment au fond des océans ou encore en Afrique, où de l'hydrogène naturel a été capté. Ces énergies fossiles sont émettrices de CO₂ avec un facteur dix qui permet d'estimer la quantité de CO₂ libérée pour produire de l'hydrogène. Lorsque 80 millions de tonnes d'hydrogène sont produites, 800 millions de tonnes de CO₂ sont émises. Il convient naturellement de s'interroger sur la nécessité et la possibilité de remplacer, du jour au lendemain ou à échéance brève, le vaporeformage, consistant à casser la molécule de méthane ou de charbon par un traitement thermique trop émetteur de CO₂. La réponse est positive, car à cet hydrogène appelé gris peut être substitué de l'hydrogène dit bleu, pour lequel le CO₂ émis dans le processus de production est capté puis stocké.

Pourquoi est-ce possible ? Parce que la production industrielle d'hydrogène est essentiellement destinée aux raffineries de pétrole et à l'industrie chimique lourde, pour les engrais par exemple. Ces unités étant peu nombreuses et importantes, la possibilité de capter le CO₂ émis et de le stocker, en particulier dans des couches géologiques autrefois productrices de gaz ou de pétrole, est très sérieusement envisagée, voire mise en œuvre, notamment en mer du Nord, avec le soutien des pétroliers qui y opèrent.

Il faut bien comprendre que le vaporeformage du méthane a l'immense inconvénient d'émettre du CO₂, mais aussi l'immense avantage de ne pas coûter cher. Sans capture et stockage, le prix de l'hydrogène produit se situe autour de 1,60 euro le kilo, ce qui, comparé aux autres systèmes de production, apparaît extraordinairement avantageux.

La deuxième façon de produire l'hydrogène, qui laisse espérer une révolution et un hydrogène décarboné, est l'électrolyse de l'eau, procédé ancien puisqu'il est mis en œuvre depuis la fin du XVIII^e siècle. Il existe trois générations d'électrolyseurs.

La plus classique, dite alcaline, consiste à faire passer un courant dans de l'eau à laquelle on ajoute, en général, du chlorure de potassium ou de sodium. Ce système présente l'avantage de ne pas produire de CO₂ et l'inconvénient de consommer énormément d'électricité. Avec l'électrolyse, l'énergie consommée – à savoir l'électricité – représente à peu près 80 % des coûts d'exploitation (OPEX) de l'hydrogène, ce qui impacte l'amortissement des investissements (CAPEX), plus élevés pour l'électrolyse de l'eau que pour le vaporeformage. Il faut 55 à 60 kilowattheures pour produire un kilo d'hydrogène. On voit bien que la clé de la production d'hydrogène par électrolyse est le prix de l'électricité et ses conditions de génération.

À côté de l'électrolyse traditionnelle, il existe une nouvelle génération d'électrolyse à membrane, dite PEM, dans laquelle les courants passent à travers des membranes solides. C'est un système beaucoup plus concentré, plus maîtrisé et plus réactif. Il consomme toujours beaucoup d'électricité : le gain par rapport à l'électrolyse alcaline n'est que de l'ordre de 10 à 15 %. En revanche, ces dispositifs sont adaptés à des charges plus variées.

Une troisième génération, aujourd'hui encore expérimentale même si des réalisations industrielles en découlent, surtout de la part du CEA, sont les électrolytes solides. C'est un système de pile à combustible inversée. L'équipement fonctionne à haute température et sous pression. Il est capable de produire de l'hydrogène ou de l'électricité, lorsqu'il est inversé. C'est un système extrêmement prometteur.

Dans les trois cas, des entreprises françaises proposent des solutions : l'électrolyse alcaline avec McPhy, les PEM avec Elogen et l'électrolyte solide avec Genvia, un *spin-off* du CEA. La France dispose aussi de grands industriels très solidaires de ces recherches, parce qu'ils y trouvent un intérêt. Air Liquide est directement intéressé, les constructeurs automobiles le sont moins directement, mais Michelin ou un grand équipementier comme Faurecia sont très impliqués dans ces recherches. Cela n'empêche pas de constater, hélas, que les débouchés industriels ne sont pas encore à ce jour complètement clarifiés.

J'ai introduit en page trois de ma note un tableau comparant les différents modes de production de l'hydrogène, avec, à l'échelle industrielle, le vaporeformage et les autres solutions à partir d'énergies fossiles, qui présentent l'inconvénient d'émissions fortes de CO₂ mais susceptibles d'être récupérées par capture et stockage, puis les productions par électrolyse assez prometteuses, enfin la thermolyse de la biomasse, la dissociation thermochimique et, surtout, un dispositif par pyrolyse, à la limite de l'industrie et de la recherche, qui permet, en chauffant le méthane, notamment par un procédé de torches plasma développé par l'École des mines de Paris, une production de carbone solide, appelé noir de carbone, qui a l'immense avantage de ne pas se diffuser dans l'atmosphère et de pouvoir être réutilisé pour des usages industriels.

Voilà donc la situation de la production industrielle telle qu'elle existe aujourd'hui, à peu près maîtrisée sans être nécessairement développée. La bataille porte évidemment sur les coûts de production : 1,6 euro le kilo pour le vaporeformage sans capture et stockage, et entre 4 et 8 euros le kilo pour l'électrolyse, un prix considérablement plus élevé.

Je parlais des temps médiatique, industriel et scientifique. Les perspectives scientifiques sont quand même assez prometteuses, même si les échéances sont beaucoup plus lointaines. Parmi ces perspectives, je suis directement impliqué, en tant qu'élus du Grand-Est, dans la production d'hydrogène à partir de biomasse : l'entreprise française d'ingénierie Haffner Energy a développé un dispositif de thermolyse de la biomasse, toujours sur le principe d'une combustion à relativement haute température, de l'ordre de 350 à 400 degrés, sous forme de charbon de bois ou biochar. Une expérience va être menée à Strasbourg pour une flotte captive de véhicules.

À côté de ces dispositifs, toute une série d'initiatives existent aujourd'hui sans véritables démonstrateurs industriels, mais constituent des pistes de recherche basées sur l'idée d'utiliser la photosynthèse avec l'activité de micro-organismes tels que des algues et des bactéries, ou de recréer une photosynthèse artificielle avec photocatalyse ou photoélectrocatalyse pour produire de l'hydrogène sans émissions de CO₂. Ces dispositifs,

cités pour mémoire dans la note, sont intéressants, mais n'auront sans doute pas d'application industrielle significative avant plusieurs décennies.

Je voudrais terminer par deux réflexions, l'une sur l'usage, l'autre sur l'électricité.

Premièrement, la densité extraordinairement faible de l'hydrogène en rend l'usage difficile. Un kilo d'hydrogène représente des volumes considérables, surtout si on le compare avec l'essence, avec un encombrement 13 fois plus grand à 350 bars de pression. Et même à 700 bars de pression, l'écart demeure important, avec un volume près de 8 fois plus important. L'hydrogène pose ainsi des problèmes de logistique considérables tant pour sa répartition que pour sa diffusion. Autant il peut apporter des solutions pour le transport lourd – trains, cargos, péniches – autant il faut, pour qu'un véhicule léger fonctionne à l'hydrogène, que cet hydrogène alimente d'abord une pile à combustible, laquelle alimente ensuite un moteur électrique... Cela supposerait un réseau national d'accès à l'hydrogène, ce qui rend peu vraisemblables des perspectives de développement à court terme de l'hydrogène pour la mobilité diffuse. En revanche, il est envisageable pour les flottes captives ou pour des flottes industrielles.

Je passe sous silence la question de savoir s'il vaut mieux une production concentrée ou décentralisée d'hydrogène. La technique ouvre les deux possibilités. Dès lors, faut-il plutôt transporter de l'électricité vers les lieux de production d'hydrogène ou transporter de l'hydrogène produit près des centrales électriques vers des lieux de consommation ? En tout état de cause, il faut avoir en tête qu'à court terme, l'hydrogène ne restera employé, dans le secteur de la mobilité, que pour le transport lourd ou des flottes captives.

Deuxièmement, la diffusion de l'hydrogène oppose deux visions très différentes de la production d'électricité en Europe, celle de la France et celle de l'Allemagne. Nous, Français, avons tendance à nous dire que nous savons produire de l'électricité décarbonée grâce à l'énergie nucléaire. Les Allemands, quant à eux, veulent s'appuyer sur les énergies renouvelables.

Ces énergies présentent pourtant la faiblesse d'être le plus souvent intermittentes et aléatoires. Certes, l'hydrogène permettrait de les stocker. Cela dit, chaque transformation d'énergie vers un autre vecteur entraîne une perte de capacité assez significative, qui s'échelonne entre 20 % et 35 %. Or les équipements éoliens et solaires ont des durées de fonctionnement qui varient entre 2 000 et 4 000 heures par an, alors que les équipements de production d'hydrogène par électrolyse, très coûteux, doivent pouvoir fonctionner 8 000 heures par an pour que les efforts d'investissement soient amortis.

Les Allemands sont tentés de développer des systèmes de production d'hydrogène dans les pays où les secteurs photovoltaïque et éolien ne sont pas saturés, mais cela pose des problèmes techniques et des problèmes politiques. C'est pourquoi je suis, pour ma part, assez perplexe sur les schémas actuellement développés aux niveaux national et européen, qui me semblent receler le risque d'aventures coûteuses, spectaculaires et sans lendemain.

Les gains de productivité à attendre restent marginaux mais il est possible de faire baisser les coûts grâce à l'industrialisation et à la production massive ainsi que, peut-être, par l'usage de métaux aussi performants mais moins coûteux. Ainsi, le recours au platine est très fréquent dans les piles à combustible, mais son prix est exorbitant. Quoi qu'il en soit, s'il ne faut pas se priver de continuer à dépenser de l'argent pour progresser, il ne faut cependant pas attendre une révolution.

Le dernier facteur qui commande la réussite économique de l'hydrogène, c'est l'évolution du prix de la tonne de CO₂. Si elle atteint les 200-250 euros, il est vraisemblable que des productions d'hydrogène trouvent parfaitement leur légitimité.

Peut-être l'Office pourrait-il poursuivre sa réflexion sur le sujet de l'hydrogène ? La présente note aura du moins pour mérite de casser l'illusion qu'il s'agit d'une solution miracle. Si c'est une opportunité, il faut la maîtriser et, pour la maîtriser, en connaître toutes les contraintes : le recours à l'hydrogène ne permettra pas de faire l'économie d'une politique de maîtrise de la production de gaz à effet de serre.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Il s'agit en effet aussi bien d'un sujet scientifique que d'un sujet industriel. Sous les questions techniques, il y a des questions économiques, voire des questions géopolitiques.

M. Ronan Le Gleut, sénateur. – Merci beaucoup cher collègue, on regrette de ne pas vous entendre plus souvent présenter des travaux tant ils sont rendus passionnants par votre hauteur de vue inégalable. Le tableau comparatif en page trois de la note est absolument remarquable. Il en ressort que dans un contexte de lutte contre le réchauffement climatique, les solutions de reformage du méthane, d'oxydation partielle ou de gazéification du charbon n'apparaissent pas satisfaisantes, en raison de leurs émissions de CO₂ élevées. En revanche, l'électrolyse de l'eau basée sur la production d'électricité par les énergies renouvelables ou par le nucléaire qui, rappelons-le inlassablement, est une énergie décarbonée, est une voie pour lutter contre le réchauffement climatique. Néanmoins, vous indiquez que sa part dans la production d'hydrogène est extrêmement faible – moins de 1 % – sous l'effet d'un coût élevé. Ma question est donc la suivante : quelles sont les perspectives pour aller vers davantage de maturité et donc vers un coût plus faible ?

Mme Angèle Prévile, sénatrice, vice-présidente de l'Office. – Merci de nous avoir proposé cette note qui remet en perspective la production d'hydrogène dans sa globalité, ce qui est très intéressant. Je souhaiterais que l'on mentionne dans la note le caractère explosif de l'hydrogène. Je me souviens de mes études de chimie et d'un professeur qui évoquait Cavendish quand on faisait des expériences pour produire de l'hydrogène, Cavendish ayant lui-même subi des explosions lors d'expériences. Sur l'électrolyse de l'eau, je trouve très intéressants les rendements mentionnés dans le tableau, de 70 % à 85 %. Je crois que la production d'hydrogène ne pourra être que décentralisée et utilisée pour des flottes captives car effectivement, les difficultés du transport de l'hydrogène font qu'on sera dans l'obligation de s'en tenir à ce genre d'utilisation.

M. Jean-Luc Fugit, député, vice-président de l'Office. – Merci pour ce travail remarquable sur l'hydrogène, avec une mise en perspective très intéressante. Étant docteur et ingénieur en chimie et ayant eu la chance d'enseigner à l'université la production d'hydrogène sous la forme de travaux pratiques avec les étudiants, je confirme, comme Angèle Prévile le disait, qu'il y a toujours un risque avec l'hydrogène : cette molécule est très particulière, la plus simple et la plus petite qui puisse exister. Je voudrais mentionner un sujet pour ouvrir les perspectives de la note. Certes, cette dernière porte sur la production et pas sur les usages. Malgré tout, on parle des transports et je pense qu'il faudrait aussi parler du bâtiment. C'est un secteur sur lequel on a peu investi en France, à la différence du Japon ou de l'Allemagne. Or, la cogénération y est pertinente, avec par exemple la possibilité d'utiliser des panneaux photovoltaïques et de transformer une partie de l'énergie produite en hydrogène via l'électrolyse, pour la stocker et récupérer un maximum d'énergie avec un impact environnemental moindre, parce qu'au fond la production d'énergie ça n'a jamais existé, on

ne fait que de la transformation. C'est le principe de Lavoisier. C'est important d'amener l'hydrogène là où on veut l'utiliser, or parmi les usages on a l'industrie, la mobilité et le bâtiment. Je pense que le couplage entre production et usages doit apparaître dans la note, peut-être au niveau des recommandations, pour minimiser l'impact environnemental, optimiser les coûts et les différentes contraintes.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Jean-Luc Fugit invite à travailler sur toute la verticale de la filière.

M. Jean-Luc Fugit, député, vice-président de l'Office. – Oui, et je pense que ça pourrait être l'une des recommandations de la note. Pour aller plus loin, je souhaite rappeler qu'en tant que rapporteur à l'Assemblée nationale, en 2019, du projet de loi d'orientation des mobilités, j'ai fait adopter une évaluation par l'Office tous les 5 ans, suivie d'un débat à l'Assemblée nationale et au Sénat, des progrès en matière de mobilités propres. On voit bien que l'énergie propre, ça n'existe pas vraiment. Même si l'hydrogène est très important pour moi – je suis vice-président du groupe d'études sur l'hydrogène de l'Assemblée nationale –, je pense qu'il faudra avoir la lucidité de regarder les choses en face, en analyse de cycle de vie, sans tomber dans une sorte de mode qui consisterait à dire que tout est propre avec l'hydrogène et pas avec le reste. En fait, on peut avoir une complémentarité avec le nucléaire ou avec la méthanisation. Le débat parlementaire qui aura lieu en 2024 sera fondé sur un travail de l'Office qui permettra à la représentation nationale de se saisir de ces sujets avec beaucoup de rigueur. Pour conclure, je renouvelle mon souhait que figure une ouverture sur le couplage entre production et consommation, en citant le bâtiment.

M. Bruno Sido, sénateur. – Je voudrais remercier notre collègue pour son excellent rapport et le féliciter pour sa hauteur de vue. Il ne cache rien des difficultés de l'hydrogène. Il a rappelé qu'il explose, qu'il est peu dense, donc difficile à stocker, qu'il implique beaucoup d'énergie pour sa production, par exemple de l'électricité qui doit être peu chère et renouvelable, avec de l'éolien ou du photovoltaïque, ou alors d'origine nucléaire, voire thermonucléaire, ce qui appelle à relancer le projet ITER, dont il faudra peut-être reparler à une autre occasion. Compte tenu du coût de l'électricité je pense qu'il ne faut pas mésestimer les possibilités de stockage du CO₂, pour l'hydrogène gris ou noir. Dans le cadre du projet de loi issu du Grenelle de l'environnement dont j'étais rapporteur, j'avais visité avec Jean-Louis Borloo un site de gisement de gaz en Algérie, où le CO₂ était stocké, la séparation du méthane et du CO₂ étant assez facile. Je sais que les Français sont contre ce stockage, car ils ont peur que cela explose ou que ce soit un poison, mais c'est quand même une solution opérationnelle qui marche, il ne faut pas l'oublier.

L'hydrogène pose un autre problème, le rapporteur l'a dit : les évolutions sont très longues, et les pourparlers prennent plusieurs décennies pour trouver des solutions économiquement acceptables. En attendant, il existe la piste des carburants liquides, qui sont des énergies facilement stockables et assez denses. On sait le faire avec le procédé Fischer-Tropsch, inventé par les Allemands. Le CEA avait même développé une possibilité de production de carburants à partir du bois, ou plus généralement de biomasse, qui marche également. Il s'agirait de carburants renouvelables, propres et utilisables pour les avions, car on imagine mal mettre de l'hydrogène dans les avions.

L'hydrogène paraît sympathique pour stocker de l'électricité, puisqu'on peut mettre des électrolyseurs au pied de chaque éolienne ou panneau photovoltaïque. Quand on n'a plus besoin de cette électricité, on produit de l'hydrogène. C'est un peu ce que les Allemands veulent faire. Mais il y a quand même la question du rendement de la pile à combustible, de

l'ordre de 22 %, avec 58,7 kilowattheures consommés pour 13,4 kilowattheures utilisés au final pour un kilogramme d'hydrogène. C'est assez catastrophique et il faudrait améliorer ce rendement pour donner une longue vie à l'hydrogène, filière dans laquelle beaucoup de progrès restent à faire.

M. Ludovic Haye, sénateur. – Je ne reviendrais pas sur la hauteur de vue de notre collègue Gérard Longuet, mais je m'associe très sincèrement à tous ceux qui ont souligné la qualité de la note présentée. Si je tente la synthèse des interventions de ce matin, sans jeu de mots, il s'agirait de ne pas s'enflammer sur ce sujet de l'hydrogène. Comme Jean-Luc Fugit l'a expliqué, il y a une mode aujourd'hui. Si vous êtes en politique, vous pouvez dire que l'hydrogène va tout résoudre. De mon côté, j'ai plutôt l'attitude qui consiste à aller voir les industriels sur le terrain. Or, ils sont un petit peu moins optimistes. Récupérer de l'hydrogène fatal, le compresser puis le transporter, ce n'est déjà pas simple.

On devrait commencer le débat sur l'hydrogène en se demandant ce que l'on compte faire de l'énergie, par exemple alimenter une flotte de véhicules, ou d'autres choses. Dans mon territoire du Haut-Rhin, qui est dans le post-Fessenheim, on voudrait obtenir l'équivalent de ce que produisait la centrale nucléaire. Mais, même en installant des panneaux solaires, des éoliennes, etc. on en est loin. Il n'est pas évident de remplacer une centrale nucléaire.

L'hydrogène c'est un plus, et je rejoins ce que disaient Gérard Longuet et Ronan Le Gleut. On mise beaucoup sur la recherche, mais elle ne va pas payer tout de suite. Par exemple, on peut essayer de recréer une photosynthèse artificielle, car on ne sait pas combien de temps on va encore tenir avec une production d'hydrogène par les énergies fossiles. Ma remarque c'est donc qu'il faut déjà savoir ce que l'on veut faire avec l'hydrogène, qui n'est pas la réponse à tout, avec des émissions de CO₂ qui ne sont pas du tout les mêmes suivant la façon dont il est produit, selon qu'il s'agisse d'hydrogène gris, bleu, vert ou jaune.

Mme Hugnette Tiegna, députée. – Cette excellente note permet de répondre à des problématiques actuelles. Le CEA avait annoncé un électrolyseur à 99 % de rendement avec une eau chauffée à 700 degrés. Or, la note envisage un rendement maximum à 85 %, pourquoi ? Par ailleurs, dans notre rapport rédigé avec le sénateur Stéphane Piednoir sur les scénarios technologiques permettant d'arrêter la commercialisation des véhicules thermiques en 2040, on avait envisagé un « scénario hydrogène », prévoyant l'arrivée à maturité de cette technologie vers 2035, sous réserve bien sûr du traitement des questions logistiques ou encore de l'engagement des industriels. Quelle est la faisabilité de ce scénario, compte tenu de la crise et des investissements sur l'hydrogène dans les différents pays ? Enfin, je partage l'idée que l'hydrogène n'est pas la solution miracle et ne sera pas d'actualité avant cinq à dix ans au moins, mais les élus et la population ont tendance à considérer d'ores et déjà l'hydrogène comme la solution à mettre en œuvre pour aller vers la décarbonation. Vos auditions permettent-elles de donner à nos concitoyens un horizon pour la production d'hydrogène décarboné ?

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Je suis admiratif du travail accompli sur une question qui est pleinement dans l'actualité. L'hydrogène n'est pas une solution miracle, et il n'y a de toute façon pas de solution miracle en matière d'énergie. J'ai quelques suggestions. Il faudrait expliciter le fait que l'on ne doit pas abandonner l'ensemble des modes de production décarbonés de l'énergie. On devrait également indiquer le coût du CO₂. Par ailleurs, il serait préférable de ne pas faire référence à l'Allemagne nazie dans la partie de la note sur la gazéification du charbon, d'autant qu'on fait aussi référence à la Chine contemporaine ; ce rapprochement peut apparaître déplacé.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Effectivement, supprimons cette référence. La gazéification du charbon est typique des économies autarciques. L'Afrique du Sud l'a faite pour produire du carburant dans le contexte de l'embargo qui lui avait été imposé du temps de l'apartheid.

M. Bruno Sido, sénateur. – Le procédé Fischer-Tropsch a d'ailleurs été inventé dans les années 1920, bien avant le nazisme.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – L'Allemagne a historiquement beaucoup développé les applications du charbon, du fait d'importants gisements, contrairement à la France, qui avait finalement peu de grands gisements exploitables.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Il faudrait indiquer quels pays produisent de l'hydrogène vert. Je me suis demandé si un diagramme indiquant les coûts de production de l'hydrogène pourrait être donné. J'ai une autre question sur l'eau : lorsqu'on produit de l'hydrogène à partir de l'eau, y a-t-il un souci de surconsommation d'eau et ensuite un problème de dépollution de l'eau ou une possibilité de la recycler ?

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – La question de la surconsommation ne se pose pas pour l'instant, puisqu'il y a encore peu de production d'hydrogène par électrolyse. Mais il est évident qu'il pourrait y avoir un problème de surconsommation de la ressource en eau dans le cadre de projets menés dans certaines zones, à l'image du Sahara comme en témoigne le projet Desertec. Avec l'électrolyse, il n'y a pas d'enjeu de dépollution de l'eau : elle disparaît, la molécule d'eau est cassée et de l'oxygène est rejeté. J'ajoute qu'il faut de l'eau traitée pour réussir l'électrolyse. Il peut donc y avoir une question sur la consommation d'eau que représente l'électrolyse mais pas sur son recyclage.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Lorsqu'on dit dans le tableau que l'hydrogène obtenu par électrolyse n'est pas compétitif, on ne prend en compte que la dimension économique, mais il y a aussi une dimension environnementale. Si l'on intègre la question des émissions de CO₂, les conclusions sont différentes.

Par ailleurs, l'hydrogène ne permet-il pas de régler la question de l'intermittence, qui est le problème des énergies nouvelles renouvelables ?

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – L'intermittence n'est pas en soi un problème. Le photovoltaïque est intermittent mais prévisible. Ce n'est pas vrai pour l'éolien qui est plus difficilement prévisible. Or, c'est la prévisibilité qui permet de piloter un réseau électrique. Pour le solaire, on peut même assurer une continuité à travers des solutions thermo-solaires, en chauffant des grandes cuves de sodium qui permettent de faire tourner un alternateur y compris la nuit.

Mme Angèle Prévile, sénatrice, vice-présidente de l'Office. – Je confirme que l'électrolyse est une réaction chimique, qui fait disparaître l'eau et qui produit de l'hydrogène et de l'oxygène. Mais ne pourrait-on pas aussi récupérer l'oxygène, dont nous pourrions avoir besoin pour différents usages ?

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Oui, et cela existe déjà dans les sous-marins. L'oxygène produit par les électrolyseurs est réutilisé.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Dans la note, on doit reformuler le paragraphe indiquant que l'hydroélectricité et le nucléaire sont des énergies pilotables décarbonées. Il faut aussi définir plus clairement le concept d'« *hydrogène fatal* », car cette terminologie n'est pas connue de tous les lecteurs. Un point très important de la note scientifique est la dernière ligne de la colonne de la page 3 : « *produire de l'hydrogène impose désormais de recourir à des modes décarbonés* », c'est une prise de position claire et nette qu'il faut saluer. Dans le tableau comparatif, qui est remarquable, je propose d'ajouter une ligne donnant des exemples d'acteurs internationaux.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Je suis tout à fait d'accord, ce sera fait.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Je passe à la page 4, sur le faible rendement, évalué à 22 %. C'est une remarque extrêmement importante.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – C'est d'ailleurs une évaluation de l'ADEME.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Il y a deux remarques, abordées par les collègues, qu'il faut expliciter. La première concerne les risques d'explosion et d'incendie. Je me souviens d'une visite dans les locaux d'Air liquide, lors de laquelle ce sujet a fait l'objet d'un important développement destiné à me convaincre que toutes les précautions étaient prises et que la sûreté était un pilier de l'activité de l'entreprise, afin de revenir sur l'image, qui a la vie dure à tort ou à raison, de l'hydrogène comme d'un gaz inflammable, image renvoyant à de grands accidents comme ceux des dirigeables.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – La note mentionne Cavendish et son concept d'« air inflammable » dès ses premières lignes, on rappelle ensuite en page 4 qu'il s'agit du gaz le plus inflammable et le plus léger, capable de s'échapper de presque n'importe où. L'hydrogène n'est pas la seule cause de l'incendie du *Hindenburg* mais ce gaz reste associé au risque explosif.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Justement, c'est bien de parler des techniques destinées à empêcher les explosions.

Je continue sur le diagramme relatif au rendement de 22 % qui ne tient pas compte de l'éventuel transport, par gazoduc ou par route. Un transport de l'hydrogène par camion va encore induire une perte de rendement, du fait de l'énergie employée par celui-ci. Pour être complet, il faut inclure ces pertes dans la note, quitte à diminuer encore le rendement.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Dans ce diagramme, une partie du transport est prise en compte puisque la compression, par exemple, est indiquée en tant que telle.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Qu'est-ce qui est inclus dans « *perte PAC* » : juste le rendement du mécanisme de la pile à combustible ou d'autres choses ?

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – C'est le rendement de la pile à combustible.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – En toute rigueur, il me semble qu'il faudrait tout de même ajouter une étape correspondant à la perte de rendement liée au transport.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Je suis d'accord, nous pouvons ajouter une phrase afin de mieux expliquer ce schéma.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – C'est très bien d'avoir mentionné la question de la production centralisée *versus* décentralisée. Je me rappelle d'une discussion lors de notre réunion commune sur l'hydrogène avec la commission des affaires européennes. Je pense qu'en déterminant dans la note le nombre d'éoliennes nécessaires à la production d'hydrogène renouvelable, on donne l'impression de favoriser l'éolien sur le photovoltaïque. Ce serait bien de définir la surface de panneaux photovoltaïques nécessaires aussi.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – C'est aujourd'hui environ un à deux hectares pour un gigawatt d'électricité photovoltaïque.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Donc 6 gigawatts nécessiteraient au moins 6 000 hectares. Et je comprends qu'un million de nouvelles éoliennes couvrirait les besoins énergétiques pour la production d'hydrogène nécessaires à l'industrie actuellement au niveau mondial. Je n'ai pas trouvé le nombre d'éoliennes en activité à ce jour en totalité.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Portant un regard dubitatif sur la multiplication des éoliennes, je me suis fait un peu plaisir sur ce calcul, sachant que les besoins d'hydrogène au niveau mondial sont aujourd'hui de 70 millions de tonnes. Cela étant, la dimension mondiale du nombre d'éoliennes est gênante, dans la mesure où il n'existe pas de politique mondiale de l'hydrogène et des énergies renouvelables. Il faut au moins faire le calcul pour l'objectif européen de 6 gigawatts, en ajoutant une phrase sur la « projection spectaculaire du nombre d'éoliennes » que cela représenterait au niveau global. Certes, un million d'éoliennes semble spectaculaire, mais il y a quand même de la place sur Terre, entre les éoliennes maritimes et terrestres. Indiquer ce chiffre d'un million montre qu'il faut beaucoup d'éoliennes, mais que c'est un choix. Si on part du principe qu'on ne rase pas les forêts et qu'on construit des éoliennes là où il n'y a pas d'arbres, il reste de la place, sans compter les zones peu profondes des océans.

M. Bruno Sido, sénateur. – Gérard Longuet a parfaitement raison de mentionner les projets au Sahara. C'est une région où il y a de l'eau, contrairement à ce qu'on pourrait croire, mais de l'eau fossile. Dans le gisement de gaz que je suis allé visiter, on arrose par exemple les fleurs. Est-ce qu'on peut pour l'électrolyse utiliser l'eau de mer ? Et combien l'électrolyse consomme-t-elle d'eau, par kilo d'hydrogène produit, à pression atmosphérique normale ? C'est une question qu'il faut aborder, car certains se sont émus de la disparition de la ressource en eau.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – L'électrolyse nécessite aujourd'hui environ 9 litres d'eau par kilogramme d'hydrogène produit. Si l'hydrogène industriel était produit par électrolyse, cela ferait de l'ordre de 630 millions de tonnes d'eau utilisées chaque année.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Il est intéressant de se poser la question. Plus on avance dans la discussion, plus on voit qu'aucune solution n'est miraculeuse. L'hydrogène pose la question de la consommation d'eau, de la taille du parc éolien, etc. Évidemment, à un moment l'eau reviendra dans le cycle, mais si elle a été puisée dans une source d'eau utilisable, y compris fossile, et revient sous une forme inutilisable, c'est une perte de ressource. J'ajoute que ces débats se tiennent dans un contexte où les positions des uns et des autres sur les différentes techniques de production sont plus confuses que jamais : une grande figure de l'écologie actuelle, Jean-Marc Jancovici, est un fervent partisan du nucléaire, tandis qu'une autre grande figure, Antoine Waechter, est lui un adversaire acharné à la fois du nucléaire et de l'éolien. Les débats sont plus délicats que jamais. Il est donc bon de rappeler les avantages et inconvénients de toutes les solutions.

Il convient de mettre le prix souhaitable de la tonne de CO₂ en relation avec le prix actuel, puisqu'il est bien plus élevé que ce dernier. On est cependant à la limite des compétences de l'Office, puisque cela touche aux questions économiques, mais il serait bien d'ajouter une formule du type : « *Voilà le prix qui rendra l'hydrogène décarboné compétitif* ».

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Oui, je pense qu'on pourrait préciser : « *On constate* » plutôt que « *On préconise* ».

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – C'est un sujet politiquement sensible. Le Gouvernement a fait tout ce qu'il a pu pour que la Convention citoyenne mentionne les taxes carbone comme l'un des outils de la décarbonation dans le plan pour 2030. Mais la convention citoyenne a estimé, avec des arguments politiques tout à fait défendables, que c'était un mauvais levier dans la situation actuelle. Au-delà du débat scientifique, il existe un vrai débat politique, il serait donc prudent de s'en tenir à un constat.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Cette question du prix de la tonne de CO₂ est très liée à l'impact politique, qui est différent selon les canaux de production ou d'utilisation du CO₂. Un industriel a besoin d'un signal prix certain et stable, ensuite il s'adapte et répercute ce coût. La déformation des consommations et des modes de production s'opère lentement et d'une manière rationnelle. Au contraire, le consommateur final, l'automobiliste, qui voit son litre de carburant impacté par le prix de la tonne de CO₂, n'a que peu de possibilité de l'éviter. Il peut changer de voiture pour baisser sa consommation, faire un peu de co-voiturage, mais il paye l'écart au prix fort.

La modification du comportement du consommateur est assez longue et celui-ci n'a pas toujours la possibilité de changer ses habitudes, c'est pourquoi il ressent cette fiscalité comme une hausse et pas comme une incitation. Les industriels, en revanche, peuvent recevoir ce genre de signaux clairs, auxquels ils s'adapteront, comme à toutes les autres conditions du marché.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Lors d'auditions menées par la commission des affaires économiques, j'ai effectivement entendu de grands industriels affirmer être prêts à accepter une hausse, pourvu qu'elle soit claire et qu'ils puissent l'anticiper pour s'adapter.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – La dimension mondiale des grands industriels fait qu'ils s'intéressent aux actions menées ailleurs, et au rythme imposé.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Tout à la fin de la note, la phrase « *reposant largement sur une relance de la filière nucléaire* » mériterait d'être revue. Il ne faut pas suggérer que cette note promeut une relance de la filière nucléaire, c'est un débat qui dépasse son objet.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – C'est ma conviction profonde, mais je vais faire preuve de diplomatie dans une nouvelle rédaction.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – La note se tient extrêmement bien. Mais je suggère, avant l'acceptation finale, qu'on y ajoute quelques références aux travaux parlementaires menés en lien avec cette question. D'une part, une référence au travail de la députée Huguette Tiegna et du sénateur Stéphane Piednoir, mentionné tout à l'heure. D'autre part, notre collègue député Michel Delpon, qui pilote le groupe d'études sur l'hydrogène à l'Assemblée nationale, vient de publier un ouvrage intitulé *Hydrogène renouvelable, l'énergie verte du monde d'après*. Je suggère que vous échangiez et confrontiez vos points de vue pour une bonne cohérence, l'Office étant au service des parlementaires.

M. Jean-Luc Fugit, député, vice-président de l'Office. – Je suis vice-président de ce groupe, je pourrais mettre Gérard Longuet et Michel Delpon en contact.

M. Gérard Longuet, sénateur, premier vice-président de l'Office, rapporteur. – Je vous remercie et vais répondre aux questions. À celle du sénateur Ronan Le Gleut sur la convergence des prix tout d'abord, je répondrais que si l'on exclut l'hydrogène gris et si l'on parle d'un hydrogène bénéficiant de capture du CO₂, il faut se fixer un objectif de prix d'environ trois euros le kilogramme d'hydrogène bleu. L'électrolyse, au prix actuel de l'électricité, devrait permettre d'atteindre au mieux quatre euros le kilogramme. La différence devrait pouvoir être comblée par le coût de la tonne de CO₂. Pour l'usage industriel, à mon avis, la capture et le stockage du CO₂ l'emporteront. Mais pour les mobilités, l'électrolyse est parfaitement envisageable dans des délais rapides.

La sénatrice Angèle Prévile a mentionné le caractère explosif de l'hydrogène ; c'est une réalité, que nous évoquons à deux reprises dans la note. S'agissant du choix entre une production centralisée ou décentralisée, cela dépend de la valeur ajoutée des usages : réseau local, flotte captive, desserte de centre-ville, mais aussi de l'évolution du prix des différents équipements et des règles de sécurité, qui imposent des investissements conséquents dans les systèmes centralisés. Un système décentralisé est pertinent dans un pays comme la France, avec une densité de population relativement faible, du moins en comparaison de l'Europe lotharingienne par exemple.

Le député Jean-Luc Fugit a insisté sur l'utilisation de l'hydrogène dans le bâtiment et sa production décentralisée, par le recours au photovoltaïque. À nouveau, la question posée est celle de la diminution du coût des équipements par leur industrialisation de masse. Si cette condition est réunie, tant pour les piles à combustible que pour les électrolyseurs, ou pour les électrolyseurs réversibles qui peuvent jouer le rôle de piles à combustible, il est certain que les conditions seront plus intéressantes. Il demeure beaucoup d'interrogations, mais l'expérience montre, comme avec les piles lithium-ion, que l'industrialisation peut grandement réduire le

coût de l'équipement. De surcroît, la possibilité de tirer le meilleur parti d'une énergie nouvelle sera certainement un argument de vente dans le secteur du bâtiment. Enfin, je ne vois que des avantages à ce que l'Office se prononce tous les cinq ans pour tirer les leçons de la mise en œuvre de la loi d'orientation des mobilités.

En réponse au sénateur Bruno Sido, je précise que je crois au stockage de CO₂ dans les gisements épuisés. L'expérience actuellement menée en mer du Nord, dans laquelle Total est impliqué avec la raffinerie de Port-Jérôme, avec la possibilité d'y expédier le CO₂ qui y est capté, sera un test de pertinence. Nous pourrions reparler du projet du CEA qui visait à fabriquer un carburant liquide à base de bois, et qui a été interrompu pour des raisons techniques et économiques, liées à la variabilité du prix du baril, et au fait que le CEA dispose de moins de financements pour ses recherches en matière de diversification.

Le sénateur Ludovic Hays pose la question du mix énergétique. L'idée selon laquelle il vaut mieux ne pas produire plus d'électricité est saine, mais la réduction des émissions de CO₂ va demander l'électrification d'activités qui ne le sont pas aujourd'hui, aussi le mix énergétique va certainement évoluer.

En réponse à la députée Huguette Tiegna, je dirais que le CEA a produit un électrolyseur de moyenne puissance, à haute pression et haute température, très intéressant, au rendement de 85 % en conditions réelles. Cette technologie sera industrialisée par leur *spin-off* Genvia.

Quels conseils donner aux citoyens ? Je crois qu'il faut qu'ils aient confiance dans la science et dans les scientifiques. Je crois en l'analyse rigoureuse, conflictuelle, contradictoire, transparente... L'esprit progresse en approfondissant et en confrontant. C'est pourquoi je suis fier de voir mon travail corrigé par un grand mathématicien.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Je renouvelle les félicitations de l'Office à Gérard Longuet et au secrétariat pour cette note et cet excellent rappel sur les enjeux énergétiques. La note est donc approuvée sous réserve des quelques modifications proposées.

L'Office autorise la publication de la note scientifique sur les modes de production de l'hydrogène.

*
* *

Communication de Didier Baichère, député, vice-président de l'Office, sur son projet de proposition de loi « Reconnaissance faciale et intelligence artificielle »

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Nous allons maintenant entendre le député Didier Baichère présenter son projet de proposition de loi sur la reconnaissance faciale.

M. Didier Baichère, député, vice-président de l'Office. – Je souhaitais vous présenter cette proposition de loi avant son dépôt demain car elle mentionne l'Office à plusieurs reprises, et nous avons eu l'occasion de faire des points réguliers à ce sujet.

Étant donné la sensibilité de ce débat, je tiens à préciser que l'objectif de cette proposition de loi n'est pas de légiférer sur la reconnaissance faciale, mais de créer une expérimentation. L'article 37-1 de la Constitution prévoit que celle-ci peut durer trois ans et avoir lieu dans deux régions, paramètres qui doivent être établis très précisément. Je propose de travailler dans les régions Ile-de-France et Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Comme vient de le dire Gérard Longuet, il convient de privilégier, sur le sujet de la reconnaissance faciale, l'analyse scientifique sur les réactions épidermiques. D'ailleurs, le texte suggère que la reconnaissance faciale n'existe pas vraiment en tant que telle. On devrait plutôt parler des reconnaissances faciales, puisque la sensibilité des algorithmes n'est pas nécessairement la même en fonction des applications.

Ce texte court, qui comprend quatre articles, traite de trois axes. Le premier axe concerne la création d'un comité de la société civile et de chercheurs experts en la matière, pour pouvoir analyser l'état de l'art et faire des propositions. Le deuxième axe vise à définir une méthodologie et des critères d'évaluation pour cette expérimentation, avec différents cas d'usage. Le troisième axe, qui ressort du travail que j'avais effectué sur la note scientifique consacrée à ce sujet (note n° 14), poursuivi avec un certain nombre de collègues et le World Economic Forum, porte sur la nécessité, quand survient une modification sociétale importante – dans le cas de la reconnaissance faciale, les implications sociétales sont importantes – d'organiser une consultation citoyenne, en même temps que l'expérimentation. Il s'agit d'une consultation citoyenne sous forme d'états généraux, que nous connaissons bien à l'OPECST, puisque ce format est utilisé dans le cadre de la révision des lois de bioéthique. On a pu mesurer, en tout cas pour la révision de 2018, à quel point cette formule produit énormément de richesses et de calme dans les analyses. Et Dieu sait que pour la bioéthique nous avons besoin de calme et de prise de distance. La consultation sous forme d'états généraux a permis d'avancer.

Sur les quatre articles, le premier vise à définir la composition du comité citoyen, regroupant à la fois société civile et chercheurs, et son mode de fonctionnement. Sur des sujets de société, il semble intéressant de ne pas se limiter aux scientifiques experts du sujet, en associant des représentants de la société civile : des associations travaillant sur la défense des données personnelles, des familles, des droits humains, etc. Certains éléments devront être précisés par la suite.

L'article premier définit aussi le rôle du comité, comment il procédera à l'analyse scientifique de la façon dont cette expérimentation sera mise en place et déclinée. Le comité aura un lien permanent avec l'OPECST, puisqu'il lui rendra compte de son travail, en fournissant un rapport d'analyse des travaux menés, sur une base semestrielle et douze mois avant la fin de l'expérimentation.

Un deuxième article définit les cas d'usage. Quatre cas d'usage ont été identifiés, sachant que le texte permet évidemment d'en ajouter, si le comité scientifique le décide. Le premier cas d'usage porte sur la gestion de flux, une application bien connue, destinée à remplacer la billetterie, les billets d'avion, l'accès à des bâtiments accueillant de grands événements sportifs, culturels, etc.

Un deuxième cas d'usage est celui de la sûreté et de la sécurité. Souvent, on fait un raccourci rapide entre reconnaissance faciale et sécurité. Au travers de ce texte, j'ai voulu montrer qu'il existait d'autres applications extrêmement intéressantes. Dans le domaine de la sécurité, à côté d'applications bien connues, par exemple Paraphe, il en existe d'autres,

comme la sécurisation d'événements ou d'espaces publics. Ces usages souhaités par la police nécessitent d'être sérieusement analysés.

Un troisième cas d'usage concerne toutes les applications pour le marketing et le service aux clients. Ces applications sont habituellement classées en deux grandes catégories : les achats personnalisés et la reconnaissance d'émotions. Pour les achats personnalisés, je prends toujours les deux exemples suivants : un menu copieux proposé à un monsieur corpulent ou une crème antirides à un vieux monsieur. Une recommandation pourrait être faite dans un magasin ou un lieu de restauration en fonction de la morphologie. La reconnaissance d'émotions concerne les mesures sur les réactions face à un produit dans la grande distribution, sachant que les expérimentations menées à ce jour ne sont pas toujours très transparentes et nécessitent probablement d'être un peu régulées.

Le quatrième cas d'usage, non identifié initialement, est apparu intéressant plus tardivement : les applications touchant à la santé et au social. Pour la santé, ce sont les applications destinées à éviter les erreurs médicales, pour le social celles permettant de retrouver dans une ville, par exemple un enfant perdu ou une personne souffrant d'Alzheimer, qui pourrait de manière volontaire s'inscrire à un service pour être retrouvée plus facilement si elle est perdue.

L'article deux traite également de notre capacité à développer un référentiel d'audit des algorithmes de reconnaissance faciale, un élément très important, pointé par Cédric Villani dans son rapport sur l'intelligence artificielle. Dans le cadre du World Economic Forum, nous avons commencé à travailler avec l'Association française de normalisation (AFNOR) qui s'est rendu compte qu'en tant que spécialiste de l'audit industriel elle ne s'était peut-être pas suffisamment posé la question de l'audit des algorithmes. Elle a donc commencé à s'y préparer pour la reconnaissance faciale, et plus généralement pour l'intelligence artificielle.

Le troisième article, centré sur la consultation citoyenne, est calqué sur les états généraux de la bioéthique, avec à la fois une consultation en ligne, des réunions physiques et des Français tirés au sort qui remettront un rapport de recommandations. L'idée est d'organiser un débat sur ce qu'est scientifiquement la reconnaissance faciale, comment elle fonctionne, quelles en sont les limites, sur sa perception par les Français, et sur les bornes qu'ils souhaiteraient éventuellement fixer.

Les articles quatre et cinq visent à bien circonscrire le traitement des données dans le cadre de l'expérimentation. En effet, les données ne seraient traitées que dans le cadre de cette dernière et ne seraient plus disponibles après. Un dernier volet porte sur le financement du fond dédié à cette expérimentation, imputé comme à l'habitude sur les droits sur le tabac et l'alcool, pour s'assurer de la recevabilité du texte.

Une question que vous vous poserez probablement concerne l'agenda envisageable pour ce texte de loi. Vous connaissez comme moi le calendrier parlementaire. La probabilité que ce texte soit examiné rapidement est assez faible. Néanmoins, il est parfaitement connu du ministère de l'Intérieur et du secrétariat d'État au Numérique. Par ailleurs, un travail a été engagé il y a quelques semaines avec le whip et la présidente de la commission des Lois, respectivement Alain Pacôme Rupin et Yaël Braun-Pivet, pour présenter la démarche et expliquer qu'il ne s'agit pas d'une législation sur la reconnaissance faciale, mais qu'au contraire le texte vise à prendre le temps d'expérimenter, pour éviter un emballement face aux mots « reconnaissance faciale » qui figurent dans le titre du texte.

L'accueil a été plutôt intéressé, sur la démarche en tout cas. Nous verrons d'ici la fin de la législature, si ce texte peut trouver une petite place. En tout cas, il m'a semblé intéressant de traduire le travail réalisé au sein de l'OPECST sous forme d'une proposition de loi. Nous verrons s'il existe effectivement une possibilité d'en débattre de manière apaisée.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Cette initiative législative s'inscrit parfaitement dans les grands débats de société ainsi que dans les débats scientifiques et technologiques. À l'heure où l'éthique des algorithmes est sous le feu des projecteurs, la reconnaissance faciale concentre effectivement beaucoup de questions, voire d'inquiétudes, nourries par des références culturelles communes, évoquées dans la note, comme le film *Minority Report* ou un ouvrage tel que *1984*, ainsi que par certains exemples aux États-Unis et encore davantage en Chine.

Ce texte mentionne l'OPECST et s'inspire des travaux que nous avons menés en son sein. L'Office aurait-il un rôle officiel dans la présentation de la proposition de loi, telle qu'envisagée ?

M. Didier Baichère, député, vice-président de l'Office. – La réflexion étant née au sein de l'Office, j'ai estimé important de vous tenir informés, mais je ne demande pas à l'OPECST de jouer un rôle officiel dans le cadre du dépôt de la proposition de loi.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Pourquoi avoir choisi, peut-être en interaction avec le Gouvernement, l'Île-de-France et Provence-Alpes-Côte d'Azur comme régions d'expérimentation ?

M. Didier Baichère, député, vice-président de l'Office. – Pour l'Île-de-France, peu de régions présentent une situation aussi complexe : infrastructures de transports, grands lieux culturels ou sportifs, aéroports, réseau ferroviaire... La perspective des Jeux olympiques s'est aussi greffée dans notre réflexion avec les industriels. Pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, elle semble avoir atteint déjà une certaine maturité : les villes de Nice et de Marseille sont les cas les plus connus. Elles ont le mérite d'avoir tenté des essais. Il convient de profiter de leur expérience pour tester les limites de leurs choix, mais aussi de la législation actuelle.

Pour mémoire, le droit constitutionnel pose un cadre très précis aux lois d'expérimentation : il faut désigner précisément les régions concernées. En choisissant PACA et l'Île-de-France, nous avons retenu un périmètre assez large pour que l'expérimentation puisse être correctement menée.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Dans le deuxième paragraphe de l'exposé des motifs, je lis que « *les citoyens devront être en mesure de connaître les alternatives qui leur seront proposées* ». De fait, je pense qu'il faut insister sur le fait que les citoyens sont là non seulement pour avoir connaissance de l'expérimentation, mais aussi pour y participer ou, en tout cas, aider à en définir et co-construire les protocoles.

Dans une audition récente, nous avons pu prendre conscience du rôle que les associations de patients peuvent avoir dans le traitement du Covid long. De même, les citoyens et les associations me semblent pouvoir ici aussi avoir une participation active au débat. Quelles réactions ont d'ailleurs eues les associations engagées sur les questions de liberté et d'informatique, telles que la Quadrature du Net ?

Votre proposition de loi a trait au visage. Mais, en matière d'identification, il y a d'autres technologies qui cherchent à reconnaître telle ou telle partie du corps, par exemple les mains. Chez Thales, on développe et on expérimente des technologies de reconnaissance et d'identification à partir de la voix. Certes, nous avons une capacité de reconnaissance du visage qui est très forte. Elle est dictée, en passant par des mécanismes cognitifs, par notre biologie. Un ordinateur peut cependant être programmé pour reconnaître d'autres traits spécifiques que ceux que nous autres humains sommes habitués à reconnaître.

Mme Michelle Meunier, sénatrice. – J'aurai beaucoup appris ce matin. Votre proposition de loi m'intéresse beaucoup, notamment dans ses aspects sanitaires et psychosociaux. La reconnaissance faciale peut en effet constituer un complément d'aide à la prévention des violences faites aux femmes, mais aussi aux enfants. Elle pourrait compléter la panoplie des outils tels que les bracelets anti-rapprochement ou les fichiers automatisés relatifs à la pédocriminalité. Il est certain qu'il faut s'attendre à une extension de la reconnaissance faciale, qui pourra s'appliquer au domaine du sociétal et du social.

Mme Angèle Prévile, sénatrice, vice-présidente de l'Office. – Pour ma part, j'avoue que je suis très dubitative. Je m'interroge sur le but et les gains à attendre de cette reconnaissance faciale. Nous allons un peu perdre de notre liberté. Personnellement, je trouve que le périmètre de l'expérimentation sur deux grandes régions est vraiment très large.

Cela me perturbe aussi énormément d'être reconnue partout où je vais. Je ne suis plus allée dans une petite ville à côté de chez moi où on avait installé des caméras, du moins dans les premiers temps. Je l'ai dit aux commerçants. Ils ont certes le droit de faire placer des caméras de surveillance, mais je ne voulais pas être filmée. Cette pratique s'est ensuite beaucoup développée.

Si la reconnaissance doit servir au marketing et au service client, en nous entraînant vers tel ou tel produit lorsque nous entrons dans un magasin, cela ne m'intéresse pas du tout. Je veux pouvoir aller où je veux et choisir moi-même. C'est la curiosité qui fait que je vais justement être interpellée par ceci ou cela... Je reste donc très dubitative.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Dans le comité de supervision qui est prévu, le Conseil national du numérique, l'OPECST et le Comité consultatif national d'éthique sont mentionnés. Dans la foulée de la publication de mon rapport sur l'intelligence artificielle, le Comité consultatif national d'éthique avait été complété d'une branche numérique. S'agit-il aujourd'hui d'une chambre distincte ? Comment s'organise-t-il ? Je pensais également à la possibilité de mentionner le contrôleur européen de la protection des données qu'est le Comité européen de la protection des données (CEPD). Il remplit en quelque sorte le rôle d'une CNIL européenne.

Là encore, l'aspect scientifique de la question ne sera qu'un aspect parmi d'autres dans le débat parlementaire qui s'annonce.

M. Didier Baichère, député, vice-président de l'Office. – Mesdames les sénatrices, vous soulignez à juste titre toute l'ampleur de la réflexion qui justifie l'adoption d'une loi d'expérimentation permettant de mieux discerner ce que nous voulons et ce que nous ne voulons pas. Je suis habité par les mêmes interrogations que vous. Dans notre travail d'analyse scientifique, nous avons seulement cherché à dénombrer les applications de reconnaissance faciale développées par différentes entreprises. Dans la grande distribution, les

laboratoires de Carrefour ou de Monoprix ont en effet conduit des réflexions sur des applications marketing, mais celles-ci ne peuvent aujourd'hui être déployées à grande échelle.

À travers cette expérimentation, nous cherchons à mesurer ce qu'il en est, mais aussi à sensibiliser les Français grâce à une consultation citoyenne. Notre collègue député Jean-Michel Mies a participé aux mêmes travaux que moi sur la reconnaissance faciale. Dans le sondage mené par Ipsos pour Renaissance numérique, il ressortait que les Français rejetaient effectivement toutes les applications marketing. Ils ne souhaitent pas se faire reconnaître au restaurant ou dans un magasin. La recours à la reconnaissance faciale dans la sécurité a en revanche été plébiscité.

N'oublions pas non plus, dans ce travail de réflexion, les collectivités locales. Cela fait des années qu'elles ont installé des caméras pour sécuriser ou, en tout cas, donner un sentiment de sécurité à la population. Mais elles sont en train de franchir un cap, en passant de la vidéo protection à la vidéo-verbalisation par reconnaissance des plaques d'immatriculation. Comme l'ont montré les auditions de l'Association des maires de France (AMF), elles peinent pourtant à bien maîtriser les aspects techniques liés à la reconnaissance. Cela les met en difficulté lorsqu'il s'agit de communiquer correctement avec la population, en l'informant en amont.

Les habitants ne comprennent pas qu'ils aient pu être vidéo-verbalisés et frappés d'une contravention parce qu'ils étaient mal garés en utilisant un système de vidéoprotection, alors que la police n'a pas pu identifier la personne qui a cambriolé leur logement... Telles sont les limites de l'emploi de ces outils par les collectivités locales. D'où le recours éventuel à des aides à la décision s'appuyant sur l'intelligence artificielle.

De la part de la Quadrature du Net, nous n'avons pas encore reçu de réaction officielle. Je pense que les responsables de l'association attendent pour réagir que le texte soit officiellement déposé. Dans ce texte, nous en restons en tout cas aux éléments biométriques du visage ; il n'est pas prévu d'élargir à la main, aux yeux ou à d'autres éléments potentiellement biométriques.

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – Merci de nous tenir informés de cette initiative législative qui suscite des réactions vives, et c'est normal. Elle a le grand mérite de poser un débat avec la science et les citoyens et de s'intéresser courageusement à un sujet sensible. Nous nous tiendrons au courant des avancées politiques de ce texte. Comme toujours, sans s'immiscer dans le débat parlementaire, l'OPECST est prêt à lui apporter son soutien par tous les moyens possibles. C'est un sujet sur lequel les sciences « dures », notamment l'algorithmique, sont importantes, mais dans lequel les sciences humaines et sociales sont aussi capitales. Je n'ai pas d'autres remarques en ce qui me concerne. Si vous en êtes d'accord, nous pouvons considérer ce sujet comme clos, mais à suivre.

*
* *

Nomination de trois membres du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire

M. Cédric Villani, député, président de l'Office. – L'Office doit nommer trois personnalités qualifiées au Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN). La loi du 13 juin 2006, relative à la transparence et la sécurité en matière nucléaire, dispose que toute personne a le droit d'être informée sur les risques liés aux activités nucléaires. Ce comité est chargé de superviser l'ensemble de ce processus. Le régime en est désormais prévu par le code de l'environnement. Le Haut comité est composé de 40 membres nommés pour 6 ans, dont 3 désignés par l'Office. Nous avons échangé à ce sujet avec Gérard Longuet, et identifié plusieurs noms possibles, notamment une personnalité extrêmement bien connue : Claude Birraux, l'un des représentants phares de l'Office pendant de longues années, en tant que député. Il est membre sortant et d'accord pour effectuer un nouveau mandat. Comme nous ne sommes pas encore en mesure de suggérer deux autres noms, je vous propose de surseoir aux nominations et j'espère que très vite, dans une prochaine séance, nous pourrions compléter ce casting.

Un autre point concerne l'audition publique sur la recherche polaire qui doit se tenir le 6 mai prochain. L'appel à candidatures a fait émerger deux candidates pour rapporter sur cette audition : Angèle Prévile, ici présente physiquement, et Huguette Tiegna, présente virtuellement. Je vous propose d'accepter leurs candidatures et de les nommer organisatrices et rapporteuses de cette audition, qui pourrait comporter deux tables rondes. Votre silence vaut acclamation. Je vous remercie.

La réunion est close à 12 h 15.