

A S S E M B L É E   N A T I O N A L E

X V <sup>e</sup>   L É G I S L A T U R E

# Compte rendu

## Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Présentation, conjointe avec la commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale, *ouverte à la presse*, du rapport public thématique de la Cour des comptes sur les outils du programme d'investissement d'avenir (PIA) consacrés à la valorisation de la recherche publique, par Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes ..... 2

Présentation du rapport sur les enjeux technologiques et numériques des *blockchains* (chaînes de blocs) – Rapporteurs : Mme Valéria Faure-Muntian et M. Claude de Ganay, députés, et M. Ronan Le Gleut, sénateur ..... 20

Jeudi 14 juin 2018  
Séance de 9 h 30

Compte rendu n° 18

SESSION ORDINAIRE DE 2017-2018

**Présidence  
de M. Gérard Longuet,  
sénateur,  
*Président*  
et de M. Roland  
Lescure,  
*Député, Président  
de la commission des  
affaires économiques***



## Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Jeudi 14 juin 2018

Présidence de M. Gérard Longuet, sénateur, président,  
et de M. Roland Lescure, député, président de la commission des affaires économiques

*La séance est ouverte à 9 h 40*

– **Présentation, conjointe avec la commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale, ouverte à la presse, du rapport public thématique de la Cour des comptes sur les outils du programme d'investissement d'avenir (PIA) consacrés à la valorisation de la recherche publique, par Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes**

**M. Roland Lescure, député, président de la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale.** Mesdames, Messieurs les députés et les sénateurs, chers invités, je vous souhaite la bienvenue.

Dans le cadre des travaux que nous conduisons en commun avec nos collègues de l'OPECST, nous avons dernièrement abordé les dossiers relatifs au compteur Linky, puis à l'intelligence artificielle. Aujourd'hui, nous traiterons du Programme d'investissement d'avenir (PIA) avec la présentation du rapport de la Cour des comptes. Je cède la parole à Gérard Longuet.

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** Je salue le Président de la commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale, très impliqué dans sa commission mais également dans la coopération avec l'Office parlementaire.

Nous allons entendre la présentation du rapport public thématique de la Cour des comptes sur les outils du PIA dédiés à la valorisation de la recherche publique. Madame la Présidente, je vous salue avec beaucoup de respect et de cordialité car nous avons pris l'habitude de travailler ensemble, Cour des comptes et Parlement, et je sais votre sérieux, votre implication et votre passion sur les sujets qui nous intéressent. Nous vous écouterons avec une grande attention, en particulier sur les perspectives et les modifications dans l'action gouvernementale que vous proposez. Je pense que les parlementaires ici présents auront à cœur de vous interroger sur ces propositions extrêmement concrètes.

Ensuite, l'Office seul – mais les membres de la Commission des affaires économiques sont les bienvenus s'ils souhaitent rester – entendra le rapport sur les enjeux technologiques des blockchains. Nous avons déjà eu une communication, sous forme de point d'étape, à la mi-avril, par nos collègues corapporteurs. Je salue à cet égard le sénateur Ronan Le Gleut, ici présent. Nous attendons Valéria Faure-Muntian qui a beaucoup travaillé sur les aspects techniques, ce qui est important pour les législateurs que nous sommes, ainsi que Claude de Ganay, tous deux députés.

Je renouvelle mes remerciements à Roland Lescure avant de céder la parole à Cédric Villani, qui apportera sa propre valeur ajoutée à l'ouverture des débats.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** Merci, Monsieur le président. Le sujet de la présente audition se situe à l'intersection entre les questions de science, de recherche et d'innovation, d'une part, et les questions de finances et de contrôle de certaines dépenses publiques, d'autre part. Le sujet que nous abordons traite précisément de la façon dont le développement de nouvelles technologies rencontre les besoins de valorisation du monde économique. Il s'agit d'un sujet vital dans lequel, historiquement, la France ne se débrouille pas si bien, avec son habitude de travailler selon une grande spécialisation et une difficulté à dépasser le fonctionnement en « silos ». Cet aspect a été identifié lors du lancement des investissements d'avenir, sous la présidence de Nicolas Sarkozy, comme l'un des axes majeurs à développer pour moderniser la gouvernance et les pratiques du monde de la recherche publique. Un grand nombre d'outils, de structures et d'institutions a été mis en place à cette occasion, dans un climat souvent tendu et avec des rapports complexes avec le monde de la recherche, pour aider à valoriser la recherche publique.

Il s'agissait d'un pari consistant à répondre à un problème essentiellement culturel par la mise en place de nouvelles institutions. Une dizaine d'années après le lancement de ce grand programme, la question peut se poser de son efficacité, ainsi que des dépenses passées et futures dans un contexte où la mise en place des initiatives d'excellence, qui constituait l'un des axes phares du PIA, n'est toujours pas achevée. Certaines initiatives, comme celles de Paris-Saclay, de Lyon et de Toulouse ont abouti. D'autres ont échoué ou sont en sursis. Le processus a pris en tout cas beaucoup plus de temps que prévu.

Dans cet ensemble complexe de mesures, il appartient au Parlement de déterminer lesquelles ont été efficaces ou décevantes. La Cour des comptes apportera son regard avec le degré de pertinence analytique qu'on lui connaît. Je suis très heureux de pouvoir assister à la restitution de ce rapport public thématique, dont le sous-titre annonce la colonne vertébrale. Il est vrai que la Cour des comptes a souvent vocation à être assez critique. Nous écouterons Madame la présidente avec plaisir et avec toute la solennité attendue.

**Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes.** Messieurs les présidents, Monsieur le premier vice-président, Mesdames, Messieurs les vice-présidents, Mesdames, Messieurs les députés et sénateurs, je vous remercie d'avoir organisé cette audition pour me permettre de présenter à la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale et à l'Office le rapport rendu public par la Cour sur les outils du PIA consacrés à la valorisation de la recherche publique.

Ce rapport est le fruit du contrôle des organismes concernés, de la valorisation de la recherche civile du CEA, de France Brevets, de plusieurs SATT – sociétés d'accélération du transfert de technologies – et IRT – Instituts de recherche technologique – ainsi que de BPI France. Des questionnaires et des demandes d'information ont été adressés aux nombreuses parties prenantes de la valorisation. Plus de 70 entretiens ont été conduits. Étant donné la complexité du paysage de la valorisation, qui est caractérisé par la multiplicité des acteurs et des points de vue, il nous était nécessaire de mener une instruction nourrie de nombreux éclairages.

La valorisation de la recherche publique désigne la façon dont les connaissances produites par la recherche publique sont utilisées par les entreprises ou les chercheurs afin de générer de la valeur économique et sociale. Elle fait l'objet d'une attention ancienne de la part

des pouvoirs publics, qui s'est largement matérialisée avant le PIA au travers des mesures prises dans le cadre de la loi Allègre, du plan Innovation de 2003 ou de la loi-programme de 2006 pour la recherche. La question était au cœur du rapport Juppé-Rocard qui a conduit au PIA, à savoir : « *Pourquoi sommes-nous bons dans la recherche et si faibles dans sa valorisation ?* ».

La valorisation de la recherche publique est essentielle pour nourrir l'innovation des entreprises et stimuler la compétitivité et la croissance de l'économie. Dans un contexte de développement de l'innovation ouverte, la mise en concurrence des organismes de recherche est fortement accrue, de même que la possibilité pour les entreprises de se tourner vers les écosystèmes les plus favorables aux coopérations avec les laboratoires. L'enjeu d'une valorisation efficace pour attirer et conserver des entreprises innovantes devient crucial.

Étant donné l'importance de l'enjeu de la valorisation et les financements significatifs consacrés par le PIA à cette thématique, soit une enveloppe de 7,4 milliards d'euros de dotations consommables et non-consommables sur dix ans, la Cour a souhaité dresser un premier bilan des actions engagées après sept ans afin d'évaluer l'efficacité des nouvelles structures mises en place et leur capacité à améliorer le *continuum* recherche-innovation. Celui-ci nous paraissait d'autant plus nécessaire dans un contexte où le troisième volet du PIA, qui constitue un axe du grand plan d'investissement, prévoit la poursuite du financement de certaines de ces nouvelles structures de valorisation.

L'objectif de notre rapport n'est pas de faire table rase de ces nouvelles structures ni d'encourager les pouvoirs publics à inventer de nouveaux dispositifs quelques années après leur mise en place. L'effet des outils de soutien à la valorisation ne peut s'apprécier que sur une période suffisamment longue.

À ce stade, y compris dans le cadre d'une action innovante et d'un investissement d'avenir, les résultats disparates et globalement décevants de certaines structures doivent conduire les pouvoirs publics à resserrer rapidement le champ et le financement de ces nouveaux outils.

Dans un premier temps, je reviendrai sur l'historique des nouvelles structures de valorisation créées par le PIA. Le retour au commencement permet de mieux comprendre les difficultés auxquelles elles ont été confrontées.

L'un des premiers objectifs du PIA, dans le domaine de la valorisation de la recherche publique, consistait à améliorer les performances de la France, y compris au regard des classements et indicateurs internationaux au même titre que les autres actions. Les pouvoirs publics constataient un retard de la majorité des établissements français par rapport à leurs équivalents étrangers les plus avancés dans le domaine de la valorisation, un éparpillement inefficace des structures de valorisation et l'existence d'angles morts auxquels il convenait de remédier, comme le financement insuffisant de la maturation. Face au retard persistant de la France en la matière, les pouvoirs publics n'ont pas souhaité réformer et simplifier le dispositif existant. Dans le cadre du PIA, ils ont choisi de créer *ex nihilo* de nouvelles structures fortement dotées sur une durée initialement fixée à dix ans. Celles-ci s'ajoutant à l'existant, la mise en œuvre du PIA a conduit à une sédimentation des différents dispositifs en faveur de la valorisation.

Le soutien à la recherche partenariale public-privé a donné lieu à la création de huit instituts de recherche technologique (IRT), instituts mixtes de recherche thématique et interdisciplinaire intégrant entreprises et établissements publics dans leur gouvernance. Il s'agit d'une modalité nouvelle de la traditionnelle recherche partenariale, intégrée, mutualisée et multipartenariale.

Ont également été créées quatorze sociétés d'accélération du transfert de technologie (SATT) afin de développer la valorisation des innovations et le transfert de technologie de la recherche publique, en particulier universitaire, vers les entreprises. S'ajoutait ainsi une logique territoriale et généraliste à l'organisation nationale par discipline et par grandes filières.

France Brevets a été mise en place pour acquérir les droits sur les brevets issus de la recherche publique ou privée et les regrouper en « grappes technologiques » pour en accroître et en sécuriser les revenus d'exploitation, présentant ainsi un nouvel acteur dans la chaîne de valeur ajoutée déjà complexifiée.

Six consortiums de valorisation thématique (CVT) ont également été créés pour coordonner les actions de valorisation sur des champs disciplinaires spécifiques comme les sciences de la vie et les sciences humaines et sociales, en proposant des services mutualisés à forte valeur ajoutée, en particulier des expertises et des études de marché, aux structures de valorisation du site, notamment les SATT.

À ces nouveaux instruments ont été assignées des ambitions fortes, à savoir la création de pôles de valorisation d'excellence par la mise en place d'outils innovants présentés comme en rupture avec le passé. Celles-ci se sont heurtées à un certain nombre de handicaps structurels tenant, notamment, à leur articulation difficile avec les établissements académiques. La mise en place de ces outils de valorisation a été à l'origine d'effets de redondance et de concurrence avec certaines structures existantes, notamment les structures de valorisation des organismes de recherche des universités et des grandes écoles. Ces phénomènes de friction, en particulier avec les organismes de recherche, ont conduit le Commissariat général à l'investissement (CGI), aujourd'hui relayé par le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI), pour tenir compte des attentes de ces organismes, à s'éloigner de la logique de sélectivité par appel à projets sur certaines actions comme les CVT et à adapter les principes initiaux d'organisation de nouvelles structures en matière de gestion de la propriété intellectuelle.

Alors que ces incertitudes auraient dû conduire les pouvoirs publics à privilégier, au moins dans un premier temps, un dispositif resserré, le nombre de structures créées dans le cadre du PIA a été plus élevé qu'initialement prévu, notamment celui des SATT, pour prendre en compte des préoccupations de maillage territorial et ménager l'ensemble des parties prenantes. La logique d'innovation qui a présidé aux investissements d'avenir s'est accompagnée, dans le domaine de la valorisation de la recherche publique, d'une approche de type sélection naturelle consistant à financer en nombre de nouvelles structures pour distinguer celles qui feraient la démonstration de leur efficacité et de leur viabilité au prix d'un investissement massif et peu sélectif des fonds publics.

Les pouvoirs publics se sont trouvés confrontés à des difficultés pour identifier le bon pilotage de ces nouvelles structures avec des objectifs souvent mal adaptés, une gouvernance complexe et la limite du suivi de leur activité par l'Agence nationale de la recherche (ANR).

La mise en œuvre des investissements d'avenir dans le domaine de la valorisation confirme les risques évoqués par la Cour dans son rapport public thématique de décembre 2015 consacré au PIA. La création de dispositifs originaux, souvent en dehors du droit commun, et l'abondance de financements sans réelles contraintes budgétaires ont conduit à une prolifération des structures, à l'encontre de l'objectif initial d'excellence et de sélectivité. Par ailleurs, la gouvernance particulière du PIA a pu entraîner des difficultés dans le pilotage du programme et le partage des rôles entre les différentes parties prenantes, à savoir le CGI (Commissariat général à l'investissement), les ministères et les opérateurs. La mise en œuvre du grand plan d'investissement, dont le financement est assuré par l'ouverture de crédits budgétaires et dont la coordination est assurée par le Secrétariat général pour l'investissement, pourrait pourtant être de nature à améliorer le pilotage et devrait être l'occasion de renouer avec des objectifs d'efficience, ce dont la Cour forme le souhait.

En second lieu, la Cour a relevé des résultats inégaux et décevants, bien que la critique soit, somme toute, mesurée. Face à des objectifs initiaux larges et ambitieux, les premières réalisations des structures de valorisation créées dans le cadre du PIA apparaissent très hétérogènes et souvent en retrait vis-à-vis des prévisions initiales. Elles sont décevantes par rapport aux moyens financiers importants qui ont été engagés. L'activité et les dépenses des SATT sont en phase de stabilisation après une forte progression lors de leur mise en place entre 2012 et 2015. Toutes les SATT ont connu un lancement plus difficile qu'escompté. Les résultats des IRT forment un bilan contrasté dont nous rendons compte. Le démarrage des CVT a été beaucoup plus lent que prévu et les évaluations de ces structures font apparaître de sérieux doutes sur leur viabilité.

L'une des conditions d'une bonne valorisation consiste en la collaboration et l'interaction des différents outils et intervenants dans un écosystème. Le choix du PIA de créer *ex nihilo* de nouvelles structures assorties de règles contraignantes et uniformes a constitué un facteur de complexité initial. Ce choix a soulevé des questions juridiques et fiscales complexes, mal anticipées par le CGI, insuffisamment résolues lors du lancement des structures et qui ont fragilisé leur fonctionnement. Nous constatons une insertion trop partielle de ces nouvelles structures dans l'écosystème de la valorisation de la recherche avec une appropriation très inégale par les établissements publics de recherche.

L'ambition initiale de constituer la valorisation de la recherche publique en une sphère autonome, régie par ses propres règles pour surmonter les obstacles pénalisants du dualisme entre mondes académique et universitaire et de la résistance culturelle des deux faces au risque d'une finalité économique au détriment du ressourcement de la recherche fondamentale, a pu freiner le dynamisme recherché. En découle cette interaction insuffisante qui a pu alimenter le sentiment exprimé par les différentes parties prenantes d'un foisonnement peu lisible des dispositifs en faveur de la valorisation de la recherche. À cet égard, la Cour relève avec intérêt l'évaluation prochaine des IRT pour leur volet scientifique et technologique par le Haut conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres), qui est de nature à renforcer leur insertion dans l'écosystème de la valorisation et de la recherche.

Le modèle économique de ces structures présente des fragilités intrinsèques qui ont été manifestement sous-estimées. Les crédits du PIA n'avaient pas vocation à financer les nouvelles structures de valorisation au-delà d'une durée initiale de dix ans. Leurs revenus devaient reposer en tout ou partie sur ceux de la propriété intellectuelle, issus des projets maturés ou développés en leur sein. Or la rentabilité susceptible d'être produite s'avère

incertaine. La plupart de ces nouvelles structures de valorisation présentent des résultats financiers constamment négatifs depuis leur création.

Il convient, non de faire table rase de tous ces outils innovants mais de formuler des propositions pragmatiques de nature à en faire de vrais dispositifs contribuant à la transformation de la valorisation. Il est nécessaire de resserrer le périmètre des outils du PIA et d'améliorer les conditions de valorisation qu'il présente en revisitant le modèle économique lui-même. Les contraintes intrinsèques imposent sa redéfinition sur la base d'une hypothèse n'excluant pas la nécessité d'un financement public au-delà de la période initiale de dix ans. Cette orientation, si elle prend acte de la difficulté d'obtenir une rentabilité significative sur ce type d'activité, ne doit pas se traduire, s'agissant de fonds publics, par l'abandon de l'exigence de l'équilibre financier à moyen terme. Parallèlement, elle implique de cibler les financements publics sur les outils présentant une véritable valeur ajoutée par rapport à l'écosystème de la valorisation de la recherche publique.

Les nouvelles structures de valorisation étudiées, créées par le PIA, sont des organismes récents. L'effet de ces dispositifs de soutien ne peut s'apprécier que sur une période suffisamment longue. À ce stade, les résultats obtenus par certaines d'entre elles doivent conduire les pouvoirs publics à resserrer rapidement le champ et le financement de ces nouveaux outils. À cet égard, la Cour a recommandé d'organiser sans tarder la mise en extinction de la SATT Grand Centre qui cumule les facteurs de complexité entre éclatement géographique, faible adhésion des actionnaires universitaires et management plutôt erratique dans le passé. Il paraît difficile d'envisager qu'elle puisse s'imposer en tant qu'interlocuteur reconnu auprès des laboratoires et des entreprises. Nous avons relevé que cette recommandation formulée dans le rapport est en cours de mise en œuvre par le SGPI.

Les SATT pour lesquelles persistent des incertitudes, à savoir IDF Innov, SATT Nord, AxLR, Pulsalys, Linksium, Grand-Est et Paris-Saclay, doivent faire l'objet d'une surveillance attentive afin de déterminer si leur modèle de développement peut leur permettre de remplir leur mission. Il est souhaitable de mettre rapidement fin à ces sociétés lorsqu'elles ne fonctionnent pas, sans nécessairement atteindre la période de dix ans initialement prévue. Ce resserrement devrait permettre, dans certaines conditions, de conserver les structures ayant fait la preuve de leur efficacité ou réunissant les conditions minimales de succès et de viabilité.

Les IRT présentent des fragilités et des tensions inhérentes au dispositif lui-même, liées aux effets d'aubaine pour de grandes entreprises. La viabilité de leur modèle économique sur le long terme reste à confirmer. Les IRT doivent améliorer l'engagement financier durable de leur fondateur privé et la diversification de leurs ressources sans s'éloigner de leur cœur de métier et risquer d'entrer en concurrence avec les structures existantes en souhaitant développer leurs ressources propres par des prestations contractuelles. La marge est étroite. Lors de la prochaine évaluation triennale de 2019, les pouvoirs publics devraient apprécier la soutenabilité du modèle économique et financier des IRT au regard de leur capacité à progresser sur ces deux volets. La poursuite d'un soutien public ne pourra être envisagée qu'à la condition d'un engagement financier durable et accru des fondateurs privés de l'IRT. Entre 2020 et 2025, les crédits du PIA devraient être concentrés sur les projets des structures les plus prometteuses et susceptibles d'être les plus performantes. La Cour rappelle qu'elle est défavorable à l'utilisation des dotations non-consommables au-delà de 2020. Le resserrement du périmètre devrait permettre d'utiliser les soldes des dotations consommables au-delà de 2020.

La Cour a apprécié la diversité des situations entre les SATT et les IRT, qui présentent un caractère hétérogène, contrasté et inégal, mais elle considère qu'il y a lieu de revenir plus radicalement sur le dispositif des CVT, lequel n'a pas démontré sa réelle valeur ajoutée faute d'un positionnement visible et d'un engagement suffisant de ses membres. La forme des CVT n'ayant su fédérer les organismes membres des consortiums, le transfert total ou partiel des moyens prévus vers des appels d'offres et des appels à projets en direction des alliances nous semble plus pertinent. Un adossement de France Brevets à BPI France devrait être envisagé compte tenu du caractère isolé de la société, de son orientation plus affirmée vers une intervention au profit de l'innovation en entreprise et de la perspective de dilution actionnariale de la Caisse des dépôts et consignations.

Pour les structures créées par le PIA, qui justifieraient une prolongation du soutien public au-delà du terme initialement prévu, les pouvoirs publics devraient asseoir l'évaluation de leur valeur ajoutée sur des indicateurs d'impacts socio-économiques robustes et exploitables, lesquels font actuellement cruellement défaut. Il peut s'agir d'indicateurs portant sur les emplois créés et l'évolution du chiffre d'affaires des entreprises bénéficiaires. Ceux-ci devraient être utilisés par leurs instances propres de gouvernance et les tutelles.

Au-delà des nouvelles structures créées par le PIA, des obstacles restent à lever afin de favoriser le développement de la recherche en France en facilitant les relations entre les entreprises et la recherche publique en matière de propriété intellectuelle et en poursuivant les efforts de rapprochement entre chercheurs et entreprises. La levée de ces freins devrait contribuer à améliorer l'efficacité des outils du PIA. Il s'agit de fluidifier les relations entre la recherche publique et les entreprises en matière de propriété intellectuelle. Dans leur relation avec les établissements publics de recherche, nombre d'entreprises déplorent un temps excessif de négociation. Il peut leur être difficile d'identifier le bon interlocuteur, notamment dans le cadre de laboratoires mixtes soumis à plusieurs tutelles. L'institution d'un mandataire unique visait à répondre à cette difficulté. L'application de ce dispositif demeure très incomplète. De nombreux laboratoires n'ont pas encore procédé à la désignation d'un mandataire unique et la capacité à exercer réellement les compétences déléguées n'est pas toujours présente, les copropriétaires tenant à un droit de regard sur l'exploitation du brevet. Une mise en œuvre plus rapide de la règle du mandataire unique est nécessaire pour simplifier et accélérer les transferts.

Il convient de renforcer les incitations à la mobilité des chercheurs et à leur investissement dans la valorisation. Les dispositions du projet de loi PACTE devraient viser à lever certains freins à la mobilité des chercheurs pour augmenter le nombre d'utilisateurs des dispositions de la loi Allègre en élargissant les conditions de ces mises à disposition.

La réussite de la valorisation repose sur la circulation des compétences entre recherche publique et secteur privé. L'incitation des chercheurs à se préoccuper des enjeux de valorisation est essentielle pour stimuler ces interactions. À cette fin, l'État a privilégié l'outil de l'intéressement et l'a rendu de plus en plus favorable au fil du temps. Néanmoins, d'autres outils non financiers pourraient être mis en place pour lever les freins à l'implication des chercheurs publics dans la valorisation. En termes d'évaluation des chercheurs, celle-ci apparaît désormais davantage dans les dossiers d'évaluation mais demeure marginale dans les critères de promotion dans les corps supérieurs. Le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation devrait veiller à une meilleure prise en compte de cette dimension au sein du mandat académique dans le déroulement de la carrière des chercheurs et des enseignants-chercheurs.



Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE), qui est très apprécié des entreprises, constitue un outil de valorisation efficace et peu coûteux pour les finances publiques. Une légère augmentation du nombre des CIFRE est constatée en 2018. Cependant, la répartition des bourses devrait être davantage pilotée. Un objectif de diversification pourrait être assigné à l'ANRT afin de développer la part des disciplines jusqu'ici peu couvertes, telles les sciences humaines et sociales. Nous souhaitons qu'une répartition plus harmonieuse des CIFRE s'opère sur le territoire national et appelons de nos vœux l'accueil d'étudiants dans les start-up et les PME par ce pilotage renouvelé de la gestion des CIFRE.

Nous avons décrit des pistes d'évolution consistant à tirer les leçons des échecs manifestes, mieux cibler les financements sur les projets les plus prometteurs, privilégier la robustesse des modèles économiques et l'engagement des parties prenantes, développer la culture de l'évaluation d'impact, améliorer la mobilité et la circulation des chercheurs entre le public et les entreprises.

La mise en place d'instruments en faveur de la valorisation de la recherche publique ne doit pas occulter qu'elle est limitée par la faiblesse de la R&D privée. Pour produire pleinement les effets attendus, ces outils, qui s'ajoutent à d'autres dispositifs publics puissants tels que le crédit d'impôt recherche (CIR), supposent une implication suffisante des entreprises et le développement de leur capacité d'absorption de la recherche publique et, donc, de leur activité de recherche. La politique de valorisation de la recherche publique et, plus généralement, la politique publique de la recherche ne disposent pas, à elles seules, de toutes les clés pour faire évoluer une situation relevant de politiques beaucoup plus larges.

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** Merci Madame la présidente pour cette présentation. Nous légiférons régulièrement sur les transferts de technologie et la valorisation de la recherche publique vers l'économie privée. En général, cette dernière s'efforce de tirer profit de ces recherches. Au cours des vingt dernières années, nous avons eu une loi tous les trois ou quatre ans, ce qui constitue sans doute l'expression d'un tâtonnement.

Qui a intérêt à ce que cette recherche aboutisse ? Quelle est la motivation des grands acteurs publics de recherche ? S'inscrit-elle dans le court terme pour financer des laboratoires ? Est-ce l'idée d'un partenariat de long terme avec tel ou tel secteur d'activité pour devenir une sorte d'interlocuteur incontournable ? Pour avoir exercé l'activité de président de région et avoir été sollicité durant de nombreuses années par mes universitaires, je constate que l'on a parfois le sentiment que les projets de recherche ont pour objet de consolider des organisations publiques locales universitaires ou appartenant à des établissements décentralisés de grands organismes nationaux. Les grandes entreprises apparaissent comme un partenaire souhaitable parce que disposant de moyens. Pour autant, nous n'avons pas le sentiment qu'une coopération de très long terme existe.

Vous évoquiez le délai de dix ans. Le recul sur les dispositifs de 2010 est important mais, en matière de valorisation de la recherche, le temps passe très vite. Pourquoi le législateur, le Gouvernement et les pouvoirs publics ont-ils fait le choix de cette sédimentation ? Ce qui apparaît c'est que l'existant était relativement satisfaisant et qu'il convenait de le compléter. Votre réflexion conduit à penser que la réorganisation de l'ensemble n'a pas été effectuée, par manque d'analyse du caractère économique et sociétal de la recherche. D'un point de vue économique, des budgets sont nécessaires à long terme. Sur le plan sociétal, les intérêts diffèrent et les satisfactions de court terme sont parfaitement suffisantes dans le cadre d'un organisme de recherche.

La deuxième interrogation porte sur la façon dont les autres pays règlent, plutôt mieux, ce problème. Vous apportez une réponse très intéressante en conclusion, à savoir la faiblesse de la recherche privée, laquelle laisse à penser à la recherche publique que des crédits sont à mobiliser dans le secteur privé et qu'un partenariat entre des organismes de recherche publique se tournant vers les entreprises privées leur permettrait de bénéficier de ces crédits privés insuffisants qui ne peuvent que progresser. Cependant, l'entreprise privée cherche généralement un retour sur investissement, sinon rapide, du moins prévisible et à une échéance qui ne soit pas de très long terme.

Vous êtes-vous interrogée à ce sujet ? Ce problème de la différence d'échéance entre les préoccupations de la structure de recherche publique, qui sont souvent beaucoup plus terre-à-terre et court-termistes que nous ne pourrions le croire, et celles du secteur privé qui sont de plus long terme, bien que le retour sur investissement soit une nécessité absolue, semble expliquer un certain nombre de déconvenues. Je suis un peu perplexe en vous écoutant. Je cherche à comprendre pourquoi un approfondissement n'a pas été recherché en 2010. Peut-être pensait-on que ce n'était pas nécessaire. Le maillage territorial, auquel je suis très sensible, explique bien des situations. Le quadrillage du pays par toute une série d'organismes donnait bonne conscience aux uns et aux autres en considérant que chacun se voyait offrir une chance dont il avait à se saisir.

**M. Roland Lescure, député, président de la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale.** Le président Longuet a très bien résumé la qualité de votre travail et en a soulevé les enjeux importants. Je tiens personnellement à vous féliciter et à vous remercier pour ce travail et de présentation.

J'ai été saisi d'effroi par le schéma figurant en page 12 de la synthèse du rapport. J'appelle ce que vous nommez très gentiment l'écosystème un « plat de spaghetti » qui montre une extrême complexité, laquelle est peut-être liée à notre capacité à légiférer très régulièrement sur un sujet qui mériterait sans doute une perspective de plus long terme, conduisant à sédimenter, compléter et obtenir un puzzle très complexe.

J'aimerais vous entendre sur les enjeux culturels qui différencient la recherche publique de la recherche privée, et qui constituent un sujet toujours très sensible et tendu en France. J'ai vécu les huit dernières années au Canada, où les relations entre la recherche fondamentale et l'entreprise privée sont pacifiées. On n'y oppose pas la recherche fondamentale, publique, désintéressée et à très long terme, à la recherche privée, court-termiste et portée par le taux de rentabilité interne (TRI). Il existe un écosystème réel et un vrai *continuum* entre les deux avec un rôle important d'institutions de type fondation d'entreprise se rapprochant du long terme et de l'altruisme tout en bénéficiant de fonds privés. L'altruisme n'est jamais angélique mais je crois à l'évolution du rôle de l'entreprise dans la société et à la responsabilité sociétale et environnementale des entreprises. Je pense que celles-ci réalisent qu'elles ne peuvent plus être uniquement tirées par des considérations parfois d'un peu trop court terme, en grande partie parce que les marchés financiers et les investisseurs tendent à leur mettre la pression pour obtenir des résultats à court terme. Cet allongement de l'horizon dans un certain nombre d'entreprises, plaçant la responsabilité sociétale au cœur de leur fonctionnement, peut nous aider à renforcer les liens entre l'entreprise et la recherche ou entre des activités d'entreprises de type fondation, avec la recherche.

J'aimerais vous entendre sur la manière dont vous avez évalué ce « plat de spaghetti » et sur les pistes envisagées. Par ailleurs, je pense que le *benchmarking* international est intéressant sur le « comment » et sur la culture. La France doit évoluer s'agissant de l'enjeu culturel. Je souhaiterais également vous entendre sur la manière dont vous envisagez l'évolution de la responsabilité des entreprises vers une vision du XXI<sup>e</sup> siècle, pour mieux nourrir la relation avec la recherche.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** Merci beaucoup, Madame la présidente, pour cette analyse. Je ferai quelques rapides remarques sur un sujet qui me tient à cœur en tant que député et scientifique.

Une question de fond porte sur les objectifs que vous avez évoqués brièvement et sur lesquels nous pouvons nous interroger plus longuement, à savoir les résultats attendus et la métrique adoptée. Il s'agit également de s'inspirer de l'étranger et de répondre à une constatation formulée à de nombreuses reprises dans notre histoire récente et de façon très forte au lancement de ce programme, à savoir le décalage considérable, en France, entre les performances de la recherche et du développement, en particulier théorique, et la valorisation. Cette observation s'établit dans le cadre des comparaisons internationales portant sur des indicateurs tels que le nombre de brevets et les réalisations économiques. Le modèle américain, qui est présent dans tous les esprits, se caractérise par le développement d'entreprises avec une valorisation considérable des travaux de recherche et beaucoup d'investissements privés, mais également par un très bon dialogue entre recherche publique et développement privé dans un contexte où les innovations de rupture présentent un volet public et sont initiées avec de l'argent fédéral.

Pour analyser les performances de ces outils de valorisation, on peut se fonder sur l'impact financier ou le nombre de brevets. Mais d'autres métriques peuvent être examinées comme la mesure de l'éventuelle contribution au rapprochement du monde de la recherche et du monde économique, et selon quelles modalités, à savoir des questions de structure, voire de culture.

Je note que vous n'avez pas évoqué l'un des outils qui a le mieux réussi au cours des dernières décennies dans le contact entre le monde socio-économique et la recherche, à savoir les pôles de compétitivité qui, me semble-t-il, donnent satisfaction.

Pour ce qui est des constats, autant il est arrivé que le monde universitaire s'inscrive en faux contre certaines conclusions de la Cour des comptes, autant je pense que votre rapport sera salué comme très conforme au ressenti du terrain, à savoir un sentiment de déception, voire d'échec de l'ensemble de ces modèles de valorisation avec bon nombre de défauts qui ont été identifiés au fur et à mesure des années. Les personnes qui sont aux manettes de ces instruments de valorisation sont souvent compétentes, motivées et très engagées dans leur activité. Il s'agit davantage d'un échec de système plutôt que de compétences et de ressources. J'ai pu côtoyer certains des instruments évoqués, notamment les SATT que vous mentionnez comme étant en grande incertitude, et en ai apprécié l'engagement et la compétence des personnels.

Au fil des années, nous avons découvert une grande diversité de modèles économiques de valorisation de la recherche en fonction des secteurs et des disciplines. Souvent, une SATT ne peut incorporer tous ces modèles et se concentre sur certains. Si la SATT, ou certains autres instruments conventionnés, visait à rapprocher le monde scientifique et de la recherche du monde économique, en pratique, elle contribue parfois à isoler

davantage l'un de l'autre en formant une couche supplémentaire qui génère des conflits d'intérêts. L'un de mes collègues s'est trouvé contraint d'embaucher un conseiller juridique pour se faire conseiller contre la SATT qui était censée valoriser son travail. En effet, dans la façon d'opérer le transfert entre les parties publiques et privées s'installe forcément un conflit sur les parts de chacun. Le chercheur et son équipe peuvent avoir l'impression de ne pas « s'y retrouver ».

À mesure que les difficultés se sont fait sentir, nous avons perçu un désengagement de la part d'une partie du monde de la recherche par rapport aux outils et la volonté de reprendre le contrôle, c'est-à-dire de redévelopper une expertise en interne ou des outils propres. Cette situation a aggravé les difficultés économiques de ces outils de valorisation et contribué à renforcer la concurrence des structures.

Le constat est très gris dans un contexte où une nouvelle vague d'appels à projets et d'outils verra le jour, dans le cadre de la politique nationale sur l'intelligence artificielle. Dans ce domaine, le transfert est extrêmement important, notamment du point de vue scientifique car le champ de l'intelligence artificielle se nourrit des va-et-vient entre le développement et les usages. Il est essentiel que votre analyse et votre rapport viennent juste avant la mise en place de ces outils, de façon à nourrir la réflexion sur la mise en œuvre de la valorisation. Il est très peu probable que nous nous dirigions vers la même analyse qu'en 2008-2010.

J'ai conscience qu'il s'agissait de commentaires plus que de questions. Un grand nombre de collègues ont par ailleurs souhaité s'exprimer. Cher président, peut-être pouvons-nous entendre d'abord les questions pour écouter ensuite la réponse globale ?

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** Je préférerais écouter la réponse de Madame la présidente à des interventions qui sont assez générales puis, grâce à la participation des collègues parlementaires, aborder des questions plus précises ou des exemples plus identifiés.

**Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes.** Un certain nombre de vos interrogations porte sur l'importance des questions culturelles entre le monde de la recherche et celui de l'entreprise. Bien que notre rapport soit circonscrit aux outils du PIA, il nous a semblé indispensable de conduire une analyse sur les modalités pratiques de gestion permettant de favoriser la circulation des compétences et la mobilité des chercheurs. Nous avons choisi de mettre l'accent sur l'importance des liens informels et formels, des échanges et de la circulation des compétences, ce qui ne découle pas du PIA. Néanmoins, tout type de dispositif d'ordre structurel n'est utile que si se maintiennent ce mouvement, cette circulation et ces échanges informels ou plus formels très importants entre le monde de la recherche et celui de l'entreprise, précisément parce que notre pays présente de longue date une coupure et une méfiance réciproque entre les deux mondes. Peut-être convient-il cependant de nuancer. La situation évolue, mais lentement. Au niveau très modeste où se place la Cour, nous avons souhaité mettre en évidence l'importance des instruments, des dispositifs, des procédures et des questions de gestion, même s'il ne s'agit pas directement des outils du PIA.

Monsieur le président, vous me demandez qui a intérêt à ce que cette recherche aboutisse. Nous sommes dans un monde où la coopération et la tension permanente et structurelle peuvent permettre des bonds en avant comme des régressions. Chacun aurait intérêt à ce que cette recherche aboutisse me semble-t-il. J'ai bien conscience que mon propos ne répond pas véritablement à votre question, mais vous me permettez de l'éluder ainsi. Je

crois que les intérêts peuvent être divergents, mais l'attention qui leur est portée peut être organisée de façon telle qu'elle permette de progresser.

Nous avons insisté sur la gestion du changement et l'importance de l'origine de ces outils car elle n'est pas indifférente. Nous attendions sans doute de la stratégie de rupture des effets plus importants, rapides et bénéfiques, ce qui n'est pas le cas à ce stade. Nous sommes extrêmement prudents dans notre critique en indiquant qu'il convient de laisser aux choses le temps de se faire. Néanmoins, nous aurions pu procéder par une logique plus expérimentale et limitée dans le temps. Nous avons opté pour une stratégie de rupture, s'inscrivant dans un cadre très formalisé, structuré et homogène, avec des règles très contraignantes s'appliquant uniformément à l'ensemble des outils. Nous avons constaté la nécessité d'adapter ces structures. Nous nous situons encore dans un contexte de confrontation-coopération-tension dynamique. L'important est que la dynamique prévale sur la divergence des intérêts.

C'est pourquoi nous avons insisté sur la difficulté de la coexistence des intérêts divergents au sein des IRT parmi les membres fondateurs entre les entreprises et les académiques. Il s'agit d'une pierre de touche de la réussite ou non de ces nouveaux instruments. En tant que dispositifs intégrés, mutualisés et multipartenariaux, les IRT sont emblématiques. Il est très complexe d'organiser la coopération entre plusieurs entreprises pouvant être concurrentes et des chercheurs académiques pouvant avoir des intérêts dans d'autres structures ou laboratoires. L'engagement des fondateurs privés au sein de ces structures multipartenariales et intégrées doit se mesurer dans le temps. Il ne s'agit pas de la simple gestion d'une relation partenariale sur un projet commun mais de la création et du maintien durable d'une structure, ce qui diffère d'une simple coopération où il est question de concourir à un projet immédiat et limité dans le temps. Dans les IRT, l'enjeu est différent. Le fait de surmonter ou non des oppositions anciennes constituera l'une des pierres de touche de l'évolution de notre pays.

S'agissant des SATT, nous avons observé une stratégie de rupture. Cependant, celles qui ont prospéré ou qui présentent de bonnes chances de poursuivre leurs ambitions ont très souvent été précédées, dans leur emprise territoriale, par des systèmes comme les dispositifs mutualisés de recherche. La logique de rupture y est revendiquée et délibérée, mais l'historique refait surface et colore l'avenir de ces structures.

Sur la question du parangonnage, s'agissant de dispositifs très spécifiques, nous avons observé l'évolution de la position de notre pays dans les classements internationaux. Nous n'avons pas la prétention d'essayer de déterminer la corrélation exacte avec les outils du PIA mais avons observé une corrélation temporelle.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** Je me permets d'ajouter que le PIA, dans la diversité de ses outils dont nous n'avons évoqué qu'une partie, a constitué un ballon d'oxygène très important pour le monde de la recherche publique. Le programme le plus impactant a peut-être été celui des laboratoires d'excellence qu'il convient de mettre au crédit de l'analyse du Gouvernement de l'époque sans lequel notre recherche se trouverait dans un état bien pire que celui qu'elle connaît aujourd'hui.

**Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes.** En effet. Dans le rapport, nous avons conclu que ces nouvelles structures étaient appréciées et évaluées en fonction d'indicateurs d'activité et de résultats qui nous paraissent très insuffisants. Nous avons relevé que le Hcéres procédera à des évaluations, sur le terrain, de la qualité technologique et scientifique. En revanche, dès lors qu'il s'agit de l'une des finalités

assignées à ces dispositifs, il semble que les mesures d'impact et l'évaluation économique et socioculturelle fassent inexplicablement défaut. Lorsque l'on se lance dans une stratégie de rupture avec une logique de sélection naturelle, c'est pourtant *ex ante* qu'il faut mettre en place un tel dispositif de suivi.

Je ne m'aventurerai pas sur des sujets ne relevant pas des travaux de prédilection de la Cour, mais nous pouvons nous y référer. En la matière, il nous semble possible de construire un dispositif de mesure de l'impact socioculturel, pour objectiver les résultats et l'intérêt de la poursuite de ces modalités de coopération. Il ne suffit pas de saluer le dialogue entre la recherche et l'entreprise. En estimer objectivement les résultats année après année serait de nature à faire progresser chacun culturellement et intellectuellement, ainsi que sur le plan de la gestion et de l'allocation optimale de la ressource publique.

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** Nous avons de nombreux orateurs inscrits, ce qui nécessite que chacun soit pertinent, bref et concis.

**M. Roland Lescure, député, président de la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale.** Mes chers collègues, membres de la commission ou de l'Office, je vous demanderai de limiter vos interventions à deux minutes.

**M. Denis Sommer, député.** Merci pour cette présentation. Nous avons eu le débat sur les SATT voici quelques années. Je me rappelle des propos tenus dans les territoires sur les risques de complexification, de rejet et de situations de concurrence entre les laboratoires. Aujourd'hui, nous y sommes. Dans nos politiques à venir, nous ne pourrions faire de grande réforme sans nous appuyer sur les territoires et co-construire avec eux.

Je m'interroge sur le financement des laboratoires. Dans le cadre de contrats de recherche avec le monde de l'entreprise, ceux-ci construisent un modèle économique. La création d'entreprise ne constitue pas forcément leur premier objectif puisqu'elle peut être facteur de concurrence et de difficultés. J'ai constaté à de nombreuses reprises un taux de création insuffisant au sortir des laboratoires. La question de leur modèle économique et de leur financement est certainement à discuter.

Nous ne pouvons évoquer les liens entre le monde de la recherche et celui de l'entreprise sans évoquer le financement. Les grands groupes ne rencontrent pas de difficultés pour faire financer leurs recherches. Les créateurs d'entreprise peuvent recevoir un soutien pour créer mais n'obtiennent pas l'aide nécessaire à leur développement. En France, nous ne savons pas financer correctement cette « vallée de la mort ».

**M. Fabien di Filippo, député.** Nous nous apprêtons à réinjecter des sommes colossales dans la valorisation de la recherche publique, mais je suis saisi par les perspectives d'efficacité douteuses présentées. Je distingue le financement de laboratoires d'excellence pour *booster* la recherche publique et la création d'agences plus obscures pour en valoriser le travail. Vous évoquez une abondance de financements sans contraintes, ce qui est relativement inquiétant, un saupoudrage des moyens, un manque de sélectivité des projets retenus, une absence de suivi des organismes bénéficiaires et de réponse à la faiblesse de la recherche privée.

Nous avons l'impression que l'État aime se donner un rôle qui ne devrait pas être le sien, et il s'agit d'un constat d'échec. Non pas qu'il ne se soit rien passé, mais le vrai problème demeure de développer des liens directs avec la mise en place d'incitations et de passerelles favorisant les échanges entre les entreprises et les laboratoires de recherche.

Alors que la dépense de l'État n'a jamais été aussi forte qu'avec ce Gouvernement et que les taxes continuent d'augmenter, notamment pour nos classes moyennes, ne serait-il pas plus efficace de concentrer ces moyens sur le type d'incitations que je viens de décrire et d'économiser le reste ?

**Mme Huguette Tiegna, députée.** La présentation faite a bien mis en exergue la réalité de la recherche publique et privée en France.

S'agissant de la valorisation du doctorat, que nous avons abordée lors d'une audition précédente, nous avons évoqué le lien avec l'international. Je souligne le fait que le doctorat n'est pas valorisé à sa juste mesure en France. La cote des ingénieurs demeure très supérieure à celle des titulaires de doctorat. Puisque nous évoquons la valorisation de la richesse, peut-être conviendrait-il de revoir cet aspect et tenter de trouver des solutions pour que les docteurs soient mieux valorisés, car ce sont eux qui font l'innovation, notamment l'innovation de rupture.

S'agissant de l'amélioration de l'insertion des outils du PIA dans l'écosystème de la recherche et de l'innovation, j'aimerais savoir ce que vous proposez pour que nous parvenions à améliorer la situation.

Nous aborderons prochainement l'examen du projet de loi PACTE. Bruno Le Maire a évoqué un fonds de 10 milliards d'euros pour l'innovation et l'industrie. Pouvez-vous nous faire part de vos attentes vis-à-vis de cette future loi ?

**Mme Anne-France Brunet, députée.** Cette présentation riche m'a fait découvrir les outils du PIA.

Je suis très investie dans la transition énergétique de par mon activité de parlementaire. J'ai bien noté que les financements se concentreraient sur les structures les plus performantes, mais qu'en est-il des instituts pour la transition énergétique (ITE) ? Quelles sont les collaborations avec les entreprises ? Cet écosystème est-il performant actuellement ?

**M. Pierre Henriot, député.** L'écosystème assez disparate en place aujourd'hui ne permet pas de disposer de structures conventionnées liant la recherche publique et le développement des recherches dans le secteur industriel privé. Où sont selon vous les freins du maillage territorial en ce qui concerne ces structures ?

**M. Jean-Luc Fugit, député.** Je réagirai en tant que scientifique et député.

Il convient de garder à l'esprit que l'intérêt de la recherche réside dans le progrès pour tous et que la société doit s'y adosser.

Je souhaite formuler une remarque sur le panorama des acteurs de la recherche qui choquait Roland Lescure, ce que je partage. Vis-à-vis de ce « plat de spaghetti », le chimiste que je suis souhaite expliquer qu'il ne s'agit pas tant de la problématique du nombre de spaghetti dans le plat que de l'écoulement possible entre eux. En chimie, pour réussir ce que nous appelons « la transition vitreuse », il faut ajouter des plastifiants, ou, pour filer notre

métaphore de ce matin, du beurre dans les spaghetti afin de favoriser l'écoulement. La problématique ne réside pas dans le nombre d'acteurs mais dans la nature de leurs relations et leur fluidification. Nous retrouvons ces sujets dans les recommandations que vous portez.

Je m'associe aux propos des orateurs précédents mais je souhaiterais connaître votre opinion sur la recommandation n° 10 de votre synthèse, selon laquelle il faudrait étendre aux activités de valorisation les critères pris en compte dans le déroulement des carrières des chercheurs et des anciens chercheurs. Je crois qu'il faut reconnaître le conservatisme prévalant dans le domaine de la recherche, notamment auprès des anciens chercheurs. Je pense notamment à ce que nous vivons au CNU (Conseil national des universités). Je souhaiterais savoir si vous disposez de pistes concrètes et si vous vous êtes inspirés de modèles étrangers, lesquels peuvent parfois ouvrir des voies intéressantes. Des expérimentations ont été mises en œuvre mais si nous souhaitons réellement aller au-delà pour une bonne organisation de la valorisation, il convient de « changer de braquet » dans les organismes et instances d'évaluation tels que le CNU et le Hcéres.

**M. Éric Straumann, député.** J'ignore s'il faut transformer le « plat de spaghetti » en une pizza unique, mais il est vrai que les mécanismes sont complexes.

Je m'interroge sur l'articulation entre ces outils et le crédit d'impôt recherche dont les chefs d'entreprise que je rencontre sont très satisfaits. Celui-ci coûte 5 milliards d'euros par an au budget de l'État. Comment les deux s'articulent-ils ?

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** Avant de donner la parole à Madame la présidente, je souhaite revenir sur un point majeur. Vous évoquez le PIA et les outils nouveaux. Pour comprendre cette complexité, il convient de se remettre en tête l'état d'esprit politique qui a imprégné ce projet.

À l'origine, une commission politiquement mixte comprenant Michel Rocard et Alain Juppé a travaillé sur le sujet général de la modernisation de la France. Après la crise de 2008, la volonté du Président de la République d'alors a consisté à protéger l'économie française et à investir pour maintenir l'activité, préférentiellement dans des investissements d'avenir plutôt que dans les investissements habituels que les élus locaux ont tendance à solliciter comme les sens giratoires, les infrastructures routières, les salles polyvalentes et la rénovation du patrimoine historique. Nous nous appuyions alors sur deux intelligences reconnues et sur un Programme d'investissements d'avenir mobilisant des sommes importantes et diversifiées. Nous disposions à la fois de ce qui était immédiatement décaissé et de dotations en capital générant des recettes afférentes, un peu à l'instar des fondations qui vivent des produits de leur capital initial.

Il a ensuite été décidé d'aller au-delà avec des outils spécifiques en construisant une couche d'organisation supplémentaire, nouvelle, justifiée par l'importance du budget qui y était affecté. Or, bien que les parrains fussent intellectuellement exceptionnels et appréciés de la presse, que les sommes soient importantes – ce qui constitue un signal fort en période de crise –, et que les outils soient nouveaux, les problèmes traditionnels sont réapparus, avec la volonté de chaque structure de se perpétuer et d'adhérer au PIA pour survivre, avec la contrainte du maillage territorial, qui s'est traduite par la multiplication des sociétés de transfert dès lors que chaque région souhaitait disposer de la sienne, et des pôles de compétitivité, lesquels sont au demeurant très antérieurs.



Ainsi, étaient mobilisés un budget, de nouveaux outils et les mêmes chercheurs et laboratoires qui ont besoin de financement et de perspectives, et pouvaient se tourner vers les entreprises avec des thèmes nouveaux de recherche comme la transition énergétique et l'environnement. Certaines thématiques sont apparues avec davantage de force que par le passé mais se sont nourries des mêmes chercheurs, laboratoires et entreprises.

La question est aujourd'hui de savoir si ce rendez-vous a été manqué ou non. Votre jugement est nuancé : ce n'est pas si insatisfaisant, dès lors qu'il aurait pu s'agir d'un échec complet. Pourriez-vous en expliquer les raisons ?

**Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes.** S'agissant de la première question portant sur les problématiques autour de la « vallée de la mort » et l'importance du maillage territorial, nous avons relevé que les outils existaient déjà. Alors même que nous mettions en place des dispositifs visant à soutenir des pôles de valorisation d'excellence, le fait d'avoir voulu couvrir l'ensemble du territoire national a été problématique. Certains, s'agissant notamment des SATT, ne survivront pas ou vivront difficilement.

Concernant la fameuse « vallée de la mort », je crois savoir qu'un certain nombre d'actions sont prévues en la matière par le prochain Programme d'investissements d'avenir. Peut-être aurons-nous le plaisir de nous retrouver au cours des prochaines années pour en reparler.

Il ne faut pas forcer le trait de la critique de la Cour. Nous n'avons pas parlé de financement sans contrainte. Il est vrai que ces outils ont prospéré et ont été créés en partie en dehors du droit commun, sans contrainte budgétaire réelle et avec des points de rendez-vous qu'il convient de préparer soigneusement, ce qui est au demeurant l'objet même de nos analyses. Modestement, la Cour a surtout insisté sur la nécessité de se concentrer sur les outils les plus efficaces.

S'agissant de la valorisation du doctorat, j'évoquerai les qualités que nous reconnaissons au dispositif des conventions CIFRE, dont l'avantage principal tient à sa souplesse mais aussi à sa grande efficacité et à son faible coût pour les finances publiques. Nous pouvons nous interroger en constatant le nombre de conventions CIFRE prévues dans le budget au regard des réalisations, qui sont inférieures. La Cour a adressé un référé sur l'organisation et la valorisation du doctorat début 2016, insistant sur l'importance d'une meilleure valorisation et sur les problèmes posés par la « concurrence » avec les ingénieurs. Les relations seraient probablement beaucoup plus fluides entre le monde de la recherche, le monde académique et celui de l'entreprise s'il y avait davantage de docteurs que d'ingénieurs en entreprise. Bien que ces aspects évoluent très lentement, des progrès sont toutefois constatés en la matière

Vous nous interrogez sur les instituts pour la transition énergétique (ITE). Je suis dans l'incapacité de répondre car nous les avons délibérément exclus du périmètre de notre rapport dès lors qu'ils sont assez différents des IRT. Il s'agit souvent de fondations de coopération scientifique. Les ITE sont plutôt des sociétés par actions simplifiées. Il se trouve que leur mise en place a mis plus de temps encore que les IRT. Fonctionnant au sens du droit européen comme des organismes d'entreprise et non de recherche, leurs projets devaient passer individuellement par la procédure de notification à la Commission européenne.

La question des freins au maillage territorial dans l'écosystème est très vaste. Nous en dressons le constat. Certaines de nos recommandations visent à répondre à ce sujet.

S'agissant de la recommandation n° 10, nous avons constaté, avec nos travaux sur la recherche civile du CEA, que ce dernier menait une politique très dissonante par rapport à d'autres organismes de recherche et mettait notamment en œuvre des dispositifs très intéressants de valorisation d'ingénieurs et de certains personnels d'appui technique, de nature à rapprocher puissamment le monde de la recherche et celui du développement à proprement parler. Nous n'avons pas en revanche effectué de recherches vers les modèles étrangers sur ce plan.

S'agissant du crédit impôt recherche, il s'agit d'un dispositif lourd et puissant. L'articulation avec les outils du PIA n'est pas directe, mais nous savons les conditions avantageuses dans lesquelles le développement d'activités de recherche des entreprises en direction des laboratoires de recherche académique est soutenu avec cet outil fiscal. Une particularité concerne les IRT puisque les avantages du CIR mis en œuvre par les entreprises sont parfaitement éligibles lorsqu'une entreprise favorise les activités de recherche propres de l'IRT, mais ne le sont pas dans le cadre du financement d'un projet auquel elle est intéressée et qui est développé par cet IRT. Toutefois, nous n'avons pas autrement développé l'ensemble des articulations. Ce sujet extrêmement complexe nécessiterait une analyse sur des échantillons d'entreprises.

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** Le sujet demeure donc ouvert, et votre contribution est décisive. Je suis convaincu que les propositions concrètes seront reprises par des collègues députés ou sénateurs qui interpellent le ministre compétente, Mme Frédérique Vidal.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** Vos réponses et commentaires forment un ensemble cohérent qui enrichit utilement un débat récurrent. Certains de ces aspects étaient évoqués dans un précédent rapport de l'Office publié sous la présidence et la signature de Jean-Yves Le Déaut et Bruno Sido, portant sur l'évaluation de la stratégie nationale de recherche « France-Europe 2020 ». Vos propos approfondissent certaines remarques préliminaires qui avaient alors été formulées.

Vous avez restreint le périmètre principal de votre étude au PIA, qui venait s'ajouter à des outils existants et à d'autres qui ont été créés hors PIA. Les auditions de l'Office en 2014 et 2015 avaient évalué à 62 le nombre d'outils qui, sous forme d'incitations, de programmes ou d'institutions, venaient en soutien à la valorisation, les dispositifs d'incitation, comme les contrats CIFRE par exemple, faisant d'ailleurs mieux que les dispositifs institutionnels.

J'insiste sur l'importance de la mise en contact locale dans un contexte où les régions, qui ont la compétence économique, sont souvent le bon niveau pour mettre en œuvre un programme de développement et de valorisation de la recherche, par la rencontre entre les acteurs de la recherche et les acteurs économiques.

Vous avez évoqué le rôle du Commissariat aux grands investissements (CGI) qui a vocation à développer certains outils et qui s'est retrouvé dans un partage des rôles avec les ministères compétents, à tel point que l'on a pu se demander parfois où était la tête pensante du dispositif.

S'agissant de l'intégration des docteurs aux entreprises, vous évoquiez l'interpénétration et la mobilité des équipes. Les dispositifs permettant de faire aller et venir les chercheurs ou les acteurs du monde économique et de les mettre ainsi en contact direct sont d'autant plus importants qu'ils participent efficacement au transfert de culture, à la veille et à la sensibilisation et qu'ils peuvent au demeurant être évalués.

Il a été dit que la puissance publique disposerait de certains outils qu'elle n'utilise pas actuellement ou qu'elle ne peut utiliser, sous la forme d'incitations *via* la commande publique. Aux États-Unis, les *Buy American Act* et *Small Business Act* permettent de développer préférentiellement les PME et les solutions américaines par la commande publique. Le *Buy European Act* est en réflexion depuis un certain temps dans les cercles européens et faisait partie du programme de l'actuel Président de la République. J'espère que nous serons en capacité d'utiliser de tels outils qui, par de simples règles, incitent les acteurs à développer l'expertise pour les solutions innovantes sur notre territoire. Il s'agit d'un enjeu important.

**Mme Sophie Moati, présidente de la 3<sup>e</sup> chambre de la Cour des comptes.** Nous en retrouvons l'écho lointain et atténué dans la loi de 2013 qui fait état de l'importance des retombées sur le territoire national de l'activité des organismes de recherche.

Monsieur le président, il m'est difficile de répondre à votre interrogation politique. Je dirais simplement qu'un délai et un décalage sont survenus entre le rapport Juppé-Rocard et la mise en œuvre réelle de la politique des grands investissements. Les bonnes questions ont été posées, mais les mesures mises en œuvre ne correspondent pas exactement à ce qui était envisagé initialement. Nous en avons rendu compte dans notre rapport public thématique de 2015 sur le lancement du PIA.

**M. Roland Lescure, député, président de la Commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale.** Cette audition prolonge un travail qui se poursuivra avec l'examen du projet de loi PACTE, qui évoquera notamment la question du statut de chercheur ainsi que le fonds de l'innovation. C'est toujours un plaisir de tenir ces auditions communes avec l'Office, car nous en sortons un peu plus intelligents mais également un peu plus utiles. Dans ces réunions, j'apprécie que nous soyons très rapidement dans l'identification concrète de ce qui peut être mis en œuvre pour faire avancer des sujets importants. Cette réunion n'a pas démenti cette tradition désormais tertiaire et qui, je l'espère, aura une suite prochaine.

Madame la présidente, je tiens à vous remercier sincèrement et chaleureusement pour la qualité de votre intervention et de vos réponses ainsi que pour votre capacité à répondre à l'ensemble des questions de manière convaincante et précise.

Je remercie également le président et le premier vice-président de l'Office pour l'organisation de cette audition.

**– Présentation du rapport sur les enjeux technologiques et numériques des *blockchains* (chaînes de blocs) – Rapporteurs : Mme Valéria Faure-Muntian et M. Claude de Ganay, députés, et M. Ronan Le Gleut, sénateur**

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** – Nous examinons le rapport sur les enjeux technologiques des *blockchains* de nos trois collègues, Valéria Faure-Muntian, Claude de Ganay et Ronan Le Gleut.

**M. Claude de Ganay, député, co-rapporteur.** – Le rapport que nous présentons ce matin fait suite à la note courte que nous avons présentée devant l'Office le 12 avril dernier. Nous ne reviendrons pas sur les éléments que nous avons alors exposés devant vous et aborderons plutôt les points approfondis à l'occasion de ce rapport. Je reviendrai sur les avantages et les inconvénients des différentes méthodes de *consensus* ainsi que sur les caractéristiques des *blockchains* propres à chaque cryptomonnaie. Ronan Le Gleut décrira les différentes applications possibles de ces technologies, les enjeux en matière de sécurité et les qualités et défauts des ICO (*Initial Coin Offerings*). Valéria Faure-Muntian abordera plusieurs grands enjeux des *blockchains*, à savoir la question de leur consommation énergétique, les problématiques juridiques ainsi que la question de leur diffusion à la lumière du principe de souveraineté, plaidant ainsi pour des *blockchains* européennes qui, sans être souveraines, respectent nos valeurs politiques, philosophiques et morales.

Je vous rappelle tout d'abord ce que sont les chaînes de blocs ou *blockchains* : il s'agit de technologies de stockage et de transmission d'informations, permettant la constitution de registres répliqués et distribués, sans organe central de contrôle, sécurisées grâce à la cryptographie et structurées par des blocs liés les uns aux autres, à intervalles de temps réguliers.

Les procédures par lesquelles les blocs sont validés sont dénommées méthodes de *consensus*. La plus ancienne et principale cryptomonnaie, le bitcoin, a recours à une compétition cryptographique appelée « preuve de travail » ou *proof of work* (POW), qui pose notamment un problème de consommation électrique ; c'est pourquoi des alternatives sont développées pour chercher à la remplacer. Cependant, ces autres méthodes présentent un risque de centralisation et leur sécurité est souvent moins certaine, avec un plus grand risque d'utilisation malveillante.

La principale alternative à la preuve de travail est appelée « preuve d'enjeu » ou *proof of stake* (POS), mais son déploiement reste lent. Son principe consiste à attribuer la validation de chaque bloc de manière aléatoire à un utilisateur, selon une probabilité qui n'est pas liée à une capacité de calcul spécialisée, comme c'est le cas pour la preuve de travail. La POS recouvre en réalité deux preuves distinctes : la preuve de participation, qui consiste à attribuer les blocs en fonction de la quantité de cryptomonnaies possédée par un nœud, tandis que la preuve d'enjeu, à proprement parler, va plus loin en exigeant de mettre en gage ces monnaies, qui seront détruites en cas de fraude. Des dérivés de la preuve d'enjeu existent : on peut citer la « preuve de possession » (*proof of hold*), fondée sur la durée de possession, la « preuve d'utilisation » (*proof of use*), en fonction du volume de transactions, la « preuve d'importance » (*proof of importance*), reposant sur la « réputation », la « preuve de capacité » (*proof of space*), qui consiste à mettre en gage de l'espace disque disponible, ou encore la « preuve de destruction » (*proof of burn*), qui revient à détruire des cryptomonnaies pour obtenir la confiance du réseau.

On peut donc, pour simplifier, distinguer une méthode fiable et sécurisée mais lente et coûteuse en énergie, la preuve de travail, et une seconde méthode, plus économe tant en énergie qu'en matériel spécialisé mais à la sécurité encore contestée, la preuve d'enjeu. Celle-ci est difficile à mettre en place et n'a toujours pas été adoptée par Ethereum, dont le passage à la preuve d'enjeu est prévu depuis l'origine mais a été repoussé à plusieurs reprises depuis deux ans. En termes de pourcentage de la capitalisation de l'ensemble des monnaies cryptographiques, les monnaies reposant sur la preuve de travail sont passées de 99 % en 2013 à 80 % en juin 2018. Certains acteurs estiment qu'une *blockchain* ouverte sans preuve de travail ne peut fonctionner.

Toutes les *blockchains* des 1 600 cryptomonnaies existantes sont plus ou moins des avatars de celle du bitcoin. Je ne reviens pas sur le détail de ces 1 600 systèmes, je relève surtout l'ouverture de nouvelles perspectives grâce au protocole Ethereum évoqué à l'instant, appuyé sur la monnaie ether. Celui-ci facilite l'automatisation de programmes et d'opérations, que l'on appelle les « *smart contracts* ». Ce système comporte cependant des risques en termes de sécurité et pose des problèmes en termes de fonctionnement centralisé d'un réseau pourtant présenté comme décentralisé, mais aussi de capacité de montée en charge. Ainsi, certaines applications sur le réseau sont susceptibles de ne plus pouvoir fonctionner lors de pics d'utilisation. Ce fut, par exemple, observé avec la première vague de « *crypto-kitties* », application de collecte et d'échanges de « chats virtuels », plus grand succès à ce jour de la *blockchain* Ethereum, mais ayant alors totalement congestionné le réseau.

**M. Ronan Le Gleut, sénateur, co-rapporteur.** – La sécurité est probablement la caractéristique des *blockchains* la plus mise en avant. En effet, il semble plus ardu de pirater un registre copié sur plusieurs milliers de serveurs disséminés à travers le monde que s'il était présent sur un unique serveur centralisé. Plus une *blockchain* possède un réseau étendu et dispersé, plus il est difficile de modifier son code ou de faire passer une transaction frauduleuse. Ces transactions frauduleuses sont bien souvent des double dépenses, permettant qu'une même somme soit dépensée deux fois.

De ce point de vue, la longévité de la *blockchain* du bitcoin semble garantir l'intégrité des transactions. Pourtant, elle n'est pas exempte de failles et a déjà été attaquée. Les autres protocoles, en particulier ceux qui développent des applications complexes, sont eux aussi exposés à des attaques. Ce risque est bien souvent croissant avec leur valeur financière : plus un système est valorisé par le marché, plus il va subir d'attaques et plus celles-ci vont mobiliser de fortes puissances de calcul.

Dans le rapport, nous avons choisi de présenter les attaques possibles en les distinguant selon quatre catégories, en fonction de la nature de leur cible.

Les attaques contre les interfaces sont les plus courantes. Elles ne portent pas sur la *blockchain* en elle-même mais sur les plateformes qui permettent à tout un chacun d'interagir avec elle, en particulier les sites internet permettant d'acheter, de vendre ou d'échanger des cryptomonnaies. Ces attaques consistent à voler les « clés privées » des utilisateurs, celles qui leur garantissent l'utilisation de leurs monnaies. Cela s'apparente à de simples vols de mot de passe mais avec des conséquences considérables. 850 000 bitcoins ont ainsi été dérobés en février 2014 sur la plateforme japonaise MtGox, ce qui équivalait alors à 660 millions de dollars. Plus récemment, en août 2016, l'équivalent de 93 millions de dollars ont été subtilisés à Bitfinex, l'une des principales « bourses » de bitcoins. Selon une estimation, un tiers des plateformes d'échange auraient ainsi été *hackées* depuis 2009.

Les attaques contre les applications vont, quant à elles, utiliser les failles de systèmes plus développés, qui prennent la forme de programmes informatiques inscrits dans la *blockchain*, les *smart contracts*. Ces derniers ajoutent de la complexité dans le protocole. Par voie de conséquence, ils ouvrent de nouvelles failles, exploitables par des attaquants, d'autant plus qu'ils ont souvent été conçus très rapidement et n'ont pas subi les tests qui prévalent à la création de logiciels plus traditionnels. Le piratage de l'application The DAO (« *The Decentralized Autonomous Organization* »), développée sur la *blockchain* Ethereum, est probablement le plus emblématique à ce titre. Alors que ce projet très ambitieux avait réussi le tour de force de lever la somme de 150 millions d'euros sous forme de cryptomonnaie, il a été *hacké* en juin 2016. Le *hacker* a utilisé une vulnérabilité du programme pour détourner 5 % de l'ensemble des ethers en circulation. Comme vous l'a expliqué notre collègue Claude de Ganay, les ethers sont la monnaie d'Ethereum. Les conséquences de cette attaque ont toutefois été annulées grâce à un « *hard fork* », c'est-à-dire à une modification des règles applicables à la *blockchain* elle-même.

Certaines attaques vont plutôt détourner le fonctionnement normal du protocole. Ces attaques sont d'autant plus pernicieuses qu'une *blockchain* publique ne prévoit, par définition, aucun moyen de contrôle ou de sanction.

Pour une *blockchain* qui utilise la preuve de travail, l'attaque la plus connue est celle dite « des 51 % ». Il s'agit, pour un mineur, de réunir plus de 50 % de la puissance de calcul à un instant donné afin de pouvoir valider des blocs plus rapidement que l'ensemble des autres utilisateurs. Cela lui permet alors d'effectuer des double dépenses, c'est-à-dire de réaliser plusieurs transactions avec la même unité de cryptomonnaie. Le dernier exemple qui peut être cité est celui de la *blockchain Bitcoin Gold*, dont la capitalisation dépasse les 500 millions de dollars et qui a subi une telle attaque le 24 mai dernier. De ce point de vue, la *blockchain* du bitcoin semble particulièrement sûre : au vu du nombre de mineurs, aucune double dépense ne semble suffisamment rentable au vu des moyens à investir dans une attaque 51 %. Toutefois, un gouvernement ou une organisation, qui serait prêt à investir environ 3 milliards d'euros, pourrait mener une telle attaque à la seule fin de détruire toute confiance dans le réseau bitcoin.

Enfin, bien que le code source des protocoles de *blockchain* soit en accès libre et qu'il puisse donc ainsi être facilement surveillé, une faille dans le code lui-même n'est pas inenvisageable, y compris pour les plus anciens protocoles. Ainsi, le bitcoin a été attaqué avec succès le 15 août 2010 en raison d'une erreur dans le code utilisé pour vérifier les transactions. À l'époque, cette faille n'a toutefois eu que des conséquences très limitées. Elles seraient bien plus importantes aujourd'hui. De plus, les algorithmes cryptographiques ont tous une durée de vie limitée, qui est tout de même estimée au minimum à vingt ans pour la fonction de hachage du bitcoin, SHA-256. Ces attaques contre le protocole lui-même restent néanmoins parmi les moins probables car celui-ci bénéficie de la vérification collective de développeurs dans le monde entier.

Le rôle de la *blockchain* en tant que technologie sous-jacente des nombreuses cryptomonnaies est aujourd'hui dominant. Cependant, ses protocoles se déclinent dans de nombreux autres secteurs et pourront donner naissance à des applications nouvelles variées, dépassant le cadre strict de la finance. Peuvent notamment être cités les services d'attestation et de certification (*proofs of existence*) pouvant concerner l'état civil, le cadastre, les contrats de type notarié ou encore des mécanismes de protection de la propriété intellectuelle. Une autre application pourrait être les opérations de vote, sur laquelle nous revenons dans le rapport.

Une autre catégorie d'applications est celle des *smart contracts*, programmes informatiques inscrits dans la *blockchain*, qui ne sont pas des contrats au sens juridique mais qui facilitent, vérifient ou exécutent un contrat au stade de sa négociation ou de sa mise en œuvre. Ils pourront accompagner le déploiement des objets connectés tout en garantissant la confiance dans les informations échangées entre les appareils. Cependant, la mise en œuvre de ces cas d'usage est conditionnée à l'import et l'export d'informations. Or, nous avons souligné, en avril dernier, que de tels systèmes aboutissent au retour d'un « tiers de confiance » puisque, pour relever une température, livrer un colis, prouver la réalisation d'un travail ou donner l'heure d'arrivée d'un avion, un tiers, qualifié d'« oracle » dans l'écosystème Ethereum, doit faire le lien entre la *blockchain* et le reste du monde.

Je voudrais enfin aborder les ICO, *Initial Coin Offerings*, en français « offres initiales de monnaie », qui sont des formes de levée de fonds où les investisseurs échangent des cryptomonnaies contre des jetons, *tokens* en anglais. Assez proches du *crowdfunding*, ces levées de fonds, spécifiques à l'écosystème des cryptomonnaies, connaissent un succès absolument considérable. Elles ont représenté un total cumulé de plus de 8 milliards d'euros en mars 2018. Ce succès peut sembler peu rationnel puisque la possession de *tokens* n'offre aucune garantie aux investisseurs. Elles posent aussi des problèmes de transparence, d'intérêt de l'actif vendu, de spéculation, voire tout simplement d'escroqueries.

Cependant, ces ICO représentent une opportunité nouvelle pour les start-up qui évoluent dans le secteur des nouvelles technologies de l'informatique, ou *deep tech*. En effet, les moyens traditionnels de levée de fonds tels les crédits bancaires et le capital-risque (*venture capitalism*) ne répondent que rarement à leurs besoins spécifiques de rapidité et de souplesse, à la forte technicité de leurs projets et au caractère *open source* de leurs innovations.

Les projets financés sont, aujourd'hui encore, en grande partie propres au monde des *blockchains*. Certes, les ICO doivent être regardées avec prudence mais aussi sous l'angle des perspectives nouvelles de développement économique qu'elles ouvrent.

**Mme Valéria Faure-Muntian, députée, co-rapporteuse.** – Comme vous avez pu le constater à travers les présentations de nos collègues Ronan Le Gleut et Claude de Ganay, nous sommes en présence d'une technologie encore assez jeune et méconnue, qui pose de vraies questions. Nous avons, en particulier, voulu soulever les enjeux énergétiques, juridiques et de souveraineté liés aux *blockchains*.

En ce qui concerne l'énergie, la preuve de travail ou POW, qui nécessite, pour les seules *blockchains* publiques, une compétition entre mineurs pour remporter une rémunération, conduit à ce que beaucoup de supercalculateurs travaillent en permanence. Cela nécessite une consommation énergétique extrêmement importante. Les *blockchains* privées, *a contrario*, nécessitent beaucoup moins d'énergie, mais nous avons vu que leur pertinence en comparaison des *blockchains* publiques est moins évidente.

Trois méthodes d'estimation de la consommation énergétique des *blockchains* peuvent être citées, sachant qu'aucun calcul exact n'est possible. Ces méthodes donnent des valeurs allant d'au minimum 46 TWh/an jusqu'à 200 TWh/an. On peut comparer ces résultats à la production électrique d'un réacteur nucléaire, qui est de 6 TWh/an, ou encore à la consommation électrique française, qui est de 530 TWh/an. La croissance de cette consommation peut d'autant moins persister que les fermes de minage se situent

principalement en Chine, pays qui présente, pour sa production électrique, l'intensité carbone la plus élevée au monde.

La preuve de travail pose aussi, au-delà des questions de consommation énergétique, des problèmes de gaspillage de matériel informatique spécialisé. En effet, les supercalculateurs, qui pourraient être utilisés au bénéfice de l'innovation, de la recherche ou du test de nouvelles technologies, tournent en quelque sorte « dans le vide », exclusivement au bénéfice de celui qui emporte la mise en calculant des preuves de travail pour la *blockchain*.

Il est donc nécessaire de s'orienter vers une autre méthode de *consensus* que la preuve de travail. Beaucoup de projets alternatifs sont d'ailleurs envisagés, comme l'a indiqué Claude de Ganay. Néanmoins, aucun n'a encore totalement abouti en termes de sécurité. La recherche doit aider à trouver des preuves d'enjeu qui présentent le même niveau de sécurité que la preuve de travail. Sinon, au vu de l'augmentation du nombre de transactions sur les *blockchains*, on risque d'arriver à une situation critique en termes de consommation énergétique.

En ce qui concerne les enjeux juridiques, l'immutabilité et la distribution globale et ouverte de la *blockchain* interrogent forcément le législateur.

Ainsi, on a pu dire que les cryptomonnaies faciliteraient les utilisations frauduleuses et prêter, par exemple, au bitcoin une utilisation significative dans l'économie parallèle. Cela doit toutefois être relativisé au regard du poids total du crime organisé, estimé à environ 900 milliards de dollars par an.

Par ailleurs se pose la question de la responsabilité, le réseau étant distribué sans centralisation. Vers qui se tourner en cas de problème, avec quelles preuves et à qui demander réparation ? C'est une question importante.

Le régime fiscal de la cryptomonnaie pose, lui aussi, question, surtout avec les ICO qui permettent de lever des fonds importants. Quel régime fiscal leur appliquer ? C'est une question à laquelle il faut apporter des réponses.

Enfin, face au règlement général sur la protection des données (RGPD), entré en vigueur le 25 mai dernier, on peut s'interroger sur le respect du droit de rectification et du droit à l'oubli. La *blockchain* étant immuable, un bloc ne peut plus être modifié une fois qu'il est validé par *consensus*. Nous avons discuté de ce point avec la CNIL, qui nous a indiqué l'existence de solutions technologiques qui permettraient d'apporter des rectificatifs, grâce à une écriture nouvelle, sans cependant réécrire les précédents blocs de la chaîne. C'est une piste mais on n'est pas dans un respect total du droit à l'effacement.

Il y a finalement une contradiction forte entre l'exigence de transparence, surtout si l'on prête à la *blockchain* le risque d'usages frauduleux par le crime organisé, et celle de l'anonymisation, qui permet de protéger les données personnelles. Il faudra trouver un compromis.

Enfin, en termes de souveraineté, et comme nous l'avons déjà souligné dans la note courte, les fermes de minage sont plutôt concentrées géographiquement, 60 % d'entre elles se trouvant en Chine. La Russie encourage, elle aussi, l'implantation de *pools* de mineurs à des fins stratégiques, notamment parce qu'elle dispose de capacités énergétiques.



Par ailleurs, la compétition entre les protocoles est très forte. Une fois que des protocoles à la consommation énergétique maîtrisée auront été trouvés, l'un de ceux-ci risque de devenir un monopole.

Nous avons constaté, à travers nos auditions, que l'idée d'une *blockchain* souveraine, contrôlée par un État, serait peu pertinente. Si l'on veut réaliser des enregistrements sécurisés, il n'est pas forcément besoin d'un registre distribué, d'autant plus que, dans ce cas, les acteurs du réseau seraient nommés par avance. Cependant, nous souhaitons insister sur la nécessité de la recherche et du développement, à travers nos *start-up*, de technologies qui respectent les valeurs européennes liées à la protection du consommateur et aux données personnelles.

Il nous paraît important d'encourager cette technologie prometteuse des *blockchains*. Mais les usages actuels étant principalement adossés aux *blockchains* Bitcoin et Ethereum, il serait opportun de promouvoir une création d'origine européenne avec un protocole légèrement modifié pour permettre le respect de nos valeurs. Des acteurs s'y attellent et ont déjà levé des fonds à cette fin.

La Commission européenne a, il est vrai, lancé un Observatoire des *blockchains*. Mais celui-ci est géré par une organisation extérieure, l'entreprise Consensus, entreprise américaine adossée à la technologie Ethereum, qui a été choisie alors même que des acteurs français et européens existent dans ce domaine. Nous sommes déçus. Il nous semble dommage de prendre le risque d'oublier nos particularités européennes, voire notre souveraineté.

Pour conclure, les perspectives ouvertes par les *blockchains* sont considérables et ne doivent pas être ignorées. Il est nécessaire de continuer la R & D, qu'elle soit publique ou privée, voire en coopération. Les limites technologiques sont sérieuses et il faut y répondre avant de pouvoir massifier les usages. La France et l'Union européenne devront se saisir pleinement de cette technologie et en être à l'avant-garde. Puisqu'aucune législation n'a encore été mise en place dans le monde sur cette technologie, nous pourrions être précurseurs, en proposant des normes qui nous ressemblent. Je vous remercie.

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** – Vous nous remerciez mais c'est surtout nous qui vous remercions pour ce travail collectif très impressionnant et passionnant. Il montre accessoirement toute la légitimité, non seulement de l'Office mais aussi de l'ensemble du travail parlementaire, sur ces questions. C'est un document qui fera date, sans mettre de point d'arrêt à un débat extraordinairement vivant.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** – Mes chers collègues, je voudrais vous adresser mes sincères félicitations. Depuis que cette technologie des *blockchains* est apparue, j'ai eu l'occasion d'en discuter dans divers contextes, y compris dans des conférences scientifiques ou avec de grandes entreprises, mais ce rapport est, de très loin, le meilleur document que j'ai vu sur le sujet. Votre travail est remarquable et offre des réponses quantitatives à certaines questions qui n'étaient identifiées que qualitativement, telles que la consommation énergétique ou la comparaison des différentes technologies.

Ma première question porte sur la preuve de travail, qui, comme vous l'avez bien expliqué, conduit à une débauche énergétique insoutenable. Beaucoup d'alternatives sont envisagées mais j'ai l'impression que l'on revient, finalement, avec des yeux nouveaux sur un débat classique en théorie économique, qui est une question politique et sociale : sur quoi fonde-t-on la valeur de la monnaie ?

J'ai une seconde question à propos de la fiscalité et du crime organisé. A-t-on idée de la mesure dans laquelle le bitcoin pourrait, au contraire, être utilisé pour lutter contre la fraude ? En effet, il a une face sombre mais aussi une face plus claire, étant donné que ses registres sont transparents. Permettrait-il de lutter contre la fraude ou contre l'évasion fiscale ?

Et enfin, quelle pourrait être une politique de sensibilisation des acteurs pouvant être intéressés par ces technologies, que ce soit des entreprises ou la puissance publique ? Y a-t-il un travail de sensibilisation dans les ministères, ou ailleurs, pour lancer la réflexion ?

**M. Stéphane Piednoir, sénateur.** – Je voudrais féliciter les trois rapporteurs pour ce travail qui nous éclaire et qui nous emplit d'humilité, pour connaître un tout petit peu le sujet. Évidemment, je vais moi aussi porter beaucoup d'attention à ce rapport très complet. Le concept de « fermes de minage » est assez surprenant et pose beaucoup de questions, notamment énergétiques, mais aussi sur l'aspect irréversible de ces technologies. Et puis malgré la dimension virtuelle, il y a tout de même une réalité réelle, avec des gens qui investissent, certains qui spéculent. La volatilité du bitcoin et des autres cryptomonnaies m'interpelle.

**Mme Catherine Procaccia, sénatrice, vice-présidente de l'Office.** – Même avec vos explications, cela demeure tout de même quelque chose de très complexe. J'ai une interrogation sur la partie du rapport consacrée aux procédures électorales et au vote, sujets qui nous intéressent particulièrement en tant que législateurs. Je me souviens que, pour les élections de 2017, on a suspendu les élections par internet pour les Français de l'étranger car la sécurité n'était pas suffisante. Peut-être avons-nous là une technologie qui permettrait de répondre à ces questions ?

**M. Claude de Ganay, député, co-rapporteur.** – Je voudrais revenir sur un point abordé par Valéria Faure-Muntian avec beaucoup de diplomatie : le fait que la Commission européenne ait confié son Observatoire de la *blockchain* à une entreprise américaine qui devient donc juge et partie. Elle a dit que nous étions déçus, je dirais, pour enfoncer le clou, que nous dénonçons fortement un tel choix.

**Mme Huguette Tiegna, députée, vice-présidente de l'Office** – Je voudrais également féliciter les trois rapporteurs qui ont fait un bon travail malgré le temps court imparti. Ma première question portait sur l'observatoire européen mais Claude de Ganay vient d'aborder le sujet. Mon autre question porte justement sur l'Europe : y-a-t-il une filière qui se dessine ? Des grands groupes se structurent-ils dans ce domaine au niveau français ou européen ?

**M. Ronan Le Gleut, sénateur, co-rapporteur.** – Je vais d'abord aborder la question des alternatives à la preuve de travail, méthode qui a l'avantage d'apporter une sécurité à la chaîne de blocs mais l'inconvénient principal d'avoir une consommation énergétique que je qualifierais de folle. Je vous renvoie, pour bien comprendre, à la page du rapport où se trouvent deux photos qui représentent, pour la première, de grands hangars et, pour la seconde, ce qui se trouve à l'intérieur, c'est-à-dire des rangées multiples de processeurs : voilà ce que l'on appelle des « fermes de minage ». Ces systèmes informatiques produisent des calculs et sont inhérents au fonctionnement du bitcoin. Il y en a dans le monde entier et c'est de là que provient cette consommation énergétique.

Le problème est que cette consommation a tendance à être exponentielle, au sens commun du terme du moins. Or, comme nous sommes déjà à des niveaux très élevés, de l'ordre de 100 TWh/an, cela signifie qu'un jour, on ne pourra simplement plus produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de la *blockchain*.

Dans le rapport, le problème initial des monnaies virtuelles est bien décrit : un utilisateur peut toujours faire semblant qu'il représente des millions d'utilisateurs avec des millions d'identités. C'est pourquoi on a besoin de ce temps de calcul, de ces exercices à résoudre, pour éviter ce problème. Ces calculs n'ont aucun but sinon de prouver qu'on est en train de faire travailler une machine, c'est le principe même de la preuve de travail.

Il s'agit du modèle de Satoshi Nakamoto, l'inventeur du bitcoin dont on ignore l'identité précise, qui l'a décrit fin 2008 dans un article fondateur, un *white paper*, qui a une valeur quasiment religieuse pour les partisans de la *blockchain* du bitcoin. Dix ans plus tard, on constate que ce texte fondateur résout toujours la problématique de la sécurité mais, en revanche, la consommation énergétique arrive à un tel niveau qu'il devient nécessaire d'envisager d'autres solutions.

C'est ainsi qu'Ethereum, deuxième cryptomonnaie en termes de volume, indique depuis son lancement qu'elle va résoudre le problème en passant de la preuve de travail à la preuve d'enjeu. Tout le monde attend un peu ce changement, mais, annoncé depuis deux ans, il n'est toujours pas mis en œuvre, ce qui montre que cette transition soulève des problèmes techniques importants même si, depuis environ quatre mois, une nouvelle version d'Ethereum avec preuve d'enjeu est en cours de test. Pour nous, la question reste en suspens : existe-t-il véritablement une alternative viable à la preuve de travail ?

**Mme Valéria Faure-Muntian, députée, co-rapporteuse.** – Concernant la participation du bitcoin au crime organisé, il est vrai que celui-ci est assez transparent en termes d'enregistrement : ce n'est pas un système anonyme mais plutôt pseudonyme. Par exemple, on a vu que la *National Security Agency* (NSA) avait les moyens de remonter certaines pistes et de faire considérablement diminuer l'usage du bitcoin dans l'économie parallèle. En revanche, il existe d'autres *blockchains*, plus petites et moins connues, pratiquement anonymes. On y a constaté une recrudescence des transactions qui pourraient être imputées au crime organisé. Évidemment, la transparence est un gage de contrôle. Cependant, en Europe, avec le RGPD, c'est un enjeu compliqué car on a aussi un besoin d'anonymisation pour la protection des données personnelles.

Concernant la fiscalité, le premier objectif est déjà de donner une existence juridique au bitcoin et à la *blockchain* qui, pour l'instant, n'existe pas. On ne peut travailler à la fiscalité des cryptomonnaies sans les qualifier juridiquement ; d'ailleurs, la qualification de « monnaie » est très contestée. Est-ce un revenu ou un placement ? C'est une monnaie qui n'a pas d'autre fondement qu'elle-même. L'Autorité des marchés financiers (AMF) travaille depuis plusieurs mois sur le sujet, et en particulier sur les ICO.

C'est aussi un marché qui, aujourd'hui, fonctionne sans aucune régulation. Ainsi, lorsque le bitcoin a connu une explosion de sa valeur, personne ne pouvait décider de fermer le marché, le temps de trouver une solution. Le choix américain a été de très peu légiférer mais de contrôler tout de même et, ainsi, de geler, par exemple, les avoirs en dollars des possesseurs de bitcoins jusqu'à ce que ceux-ci se mettent en règle. Mais ce n'est sans doute pas une solution envisageable chez nous et je ne pense pas qu'on en arrivera là.

Concernant les ICO, là encore, il est complexe de rattacher les *tokens* à telle ou telle qualification juridique. Car, finalement, on ne peut en tirer profit ; ce n'est pas un titre de propriété ni un titre obligataire : il ne rapporte pas d'intérêt et ne donne aucun pouvoir vis-à-vis de l'auteur de la levée de fonds. Le but est différent, il s'agit de donner en toute confiance, à une personne ou une entreprise, de l'argent pour développer une innovation sans rien attendre en retour d'autre que l'usage futur de cette technologie.

Ainsi, si quelqu'un veut voir émerger un jeu avec des petits chats et qu'une structure le lui propose, il peut financer ce projet sans qu'il n'y ait aucun lien d'obligation entre celui qui investit et celui qui récupère l'argent. Imposer une fiscalité sur cette opération reviendrait exactement à imposer une fiscalité sur le *crowdfunding*, et je ne sais pas où l'on en est sur ce sujet.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** – Si je comprends ce qui se dégage des réponses : premièrement, le bitcoin a été introduit pour répondre à deux grands objectifs, d'abord l'infalsifiabilité, ensuite l'absence de pilote à bord. Par rapport à une monnaie étatique, le premier objectif séduit tandis que le second effraie. Il faudrait savoir si l'on peut garder l'un de ces aspects sans toucher à l'autre, d'où des réticences des États, ce qui semble être un sujet de fond.

Deuxièmement, la *blockchain* est un principe technologique qui peut se réaliser de nombreuses façons différentes mais qui ne dit rien, au fond, de ses usages précis. La législation devrait, en revanche, s'appuyer sur des finalités données. La question est de savoir sur quoi on veut légiférer, si c'est le bitcoin en soit ou si c'est sur tel ou tel aspect, or ce n'est pas clair. Si nous devons écrire la loi demain, nous serions bien embarrassés. J'ai cru comprendre que la Chine avait légiféré sur le bitcoin ; comment a-t-elle fait ?

**Mme Valéria Faure-Muntian, députée, co-rapporteuse.** – Je voudrais rappeler qu'il y a plusieurs missions parlementaires en cours : celle de la commission des finances du Sénat, celle de la commission des finances de l'Assemblée nationale et celle commune à trois commissions permanentes à l'Assemblée nationale, présidée par Julien Aubert. Ces trois missions sont censées trouver des réponses à toutes ces questions ou, en tout cas, essayer.

En ce qui concerne la législation chinoise, il est compliqué d'en connaître les justifications et les détails car il y a peu de communication dessus. En tout cas, la Chine a pris cette question au sérieux, d'abord à cause de la prolifération des fermes de minage, alors qu'elle essaie de sortir du cercle vicieux de la pollution, qui commence à faire sentir ses effets sur la mortalité dans le pays, ensuite, en raison de l'aspect totalement anarchique des usages des *blockchains*, qui ne convient pas au régime.

En effet, on peut légiférer sur beaucoup de choses mais y a-t-il un intérêt à le faire maintenant ? Peut-on imaginer une sorte de TVA sur des transactions entre un Australien et un Néo-zélandais, validées par un Chinois ? C'est compliqué à envisager et quasiment impossible à contrôler.

Je crois que, pour l'instant, il faut s'intéresser aux *blockchains* avec l'idée qu'elles ouvrent certaines possibilités inédites. En particulier, les ICO sont ce que l'on a vu de plus pertinent. Ces opérations sont souvent sans but lucratif, car les entreprises ne tireront pas toujours profit de leurs projets, et c'est généralement parce qu'elles ont du mal à se financer sur le marché bancaire classique qu'elles y ont recours.

Pour répondre à la question sur l'existence d'une filière, je dirais qu'il n'en existe pas encore, que les initiatives sont assez dispersées et que les seuls usages bien organisés pour le moment sont les *blockchains* privées. Par exemple, il existe de grands réseaux bancaires qui utilisent ces solutions. Ces *blockchains* privées ont une gouvernance qui n'a rien à voir avec la technologie ouverte des *blockchains* publiques.

Faire des profits avec des applications sur une *blockchain*, ce que tentent, par exemple, les entreprises qui travaillent sur Ethereum, ne nous a pas semblé très concluant pour le moment.

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** – Qui investit et comment ces personnes sont-elles rémunérées pour leurs investissements ?

**M. Ronan Le Gleut, sénateur, co-rapporteur.** – Il y a un système de rémunération : lorsque la ferme de minage gagne la compétition cryptographique, elle obtient actuellement une récompense à hauteur de 12,5 bitcoins, récompense qui est décernée toutes les dix minutes. Le niveau de cette récompense est divisé par deux tous les quatre ans. À cela s'ajoutent des frais de transaction qui sont imputés à chacune des différentes transactions inscrites dans les blocs. Bien que la volatilité reste forte aujourd'hui, elle est en partie trompeuse car un graphique logarithmique montrerait que cette volatilité était beaucoup plus importante au début de la vie du bitcoin.

Sur la filière française, je voudrais indiquer que nous avons rencontré les créateurs d'une *blockchain* française, Neurochain, qui ont réussi à lever des fonds par ICO, en ayant d'abord échoué à mobiliser des fonds bancaires ou par capital-risque. Ces investisseurs classiques leur avaient expliqué que le projet était trop technique, ou plus exactement qu'ils ne le comprenaient pas. Les ICO permettent donc de toucher un public plus large qui a la capacité de comprendre l'invention. Ces mêmes créateurs ont été confrontés à un autre problème par la suite, car ils n'ont trouvé aucune banque capable de leur ouvrir un compte bancaire. Il y a là une vraie question quant à la capacité de la France à être une terre d'innovation. Si les banques françaises n'offrent pas de garanties, il n'y aura pas d'écosystème favorable en France pour ces jeunes *start-up*. C'est un vrai sujet pour le législateur, afin que nos inventeurs et entrepreneurs n'aillent pas ouvrir leur compte en banque dans un pays voisin. En l'occurrence, il ne s'agit pas d'un problème de réglementation européenne puisque d'autres banques en Europe ouvrent de tels comptes.

**Mme Catherine Procaccia, sénatrice, vice-présidente de l'Office.** – Mais ces comptes sont-ils ouverts en euros ou en cryptomonnaies ?

**M. Ronan Le Gleut, sénateur, co-rapporteur.** – Les cryptomonnaies peuvent être échangées sur un marché de change, elles sont donc convertibles. La plateforme Kraken, par exemple, rend ce service. On est typiquement, actuellement, dans une sorte de *Far West* de l'innovation. Il est donc normal qu'il y ait beaucoup d'incertitudes sur ces *start-up* car il faut tester les nouveaux produits ou services pour voir ce qui va fonctionner. Il faut néanmoins que la France se positionne pour offrir un environnement favorable à ces inventeurs et qu'ils puissent développer leurs activités.

Sur la question de la souveraineté, il a été rappelé qu'effectivement plus de 60 % de la puissance de calcul du bitcoin se trouve en Chine, ce qui soulève une vraie question car nous savons tous que le pouvoir chinois est capable de prendre la main sur ces usines.

Sur le vote électronique, on a effectivement abordé le sujet dans le rapport, en évoquant un certain nombre d'exemples, en Estonie ou en Colombie, qui ont donné satisfaction. Je pense qu'il faut encore regarder ces innovations avec une certaine prudence car il n'y a pas vraiment encore de maturité technologique. Dans ce domaine, il vaut mieux utiliser des technologies matures et qui ont fait leurs preuves.

D'une manière générale, face à ce type de technologies nouvelles, il faut faire attention à ne pas aller vers l'écueil d'un excès de réglementation, l'innovation ayant besoin de liberté pour être créative.

**Mme Valéria Faure-Muntian, députée, co-rapporteuse.** – Pour revenir à la réglementation et à l'ouverture de comptes en banque, ce qui pose problème, c'est la réglementation TRACFIN. Les banques refusent d'ouvrir des comptes car elles ne savent pas d'où vient l'argent. Cette exigence de traçabilité explique ce refus systématique. Il faudrait trouver un moyen pour que l'argent puisse être utilisé, en assurant sa traçabilité, ce qui démontrerait, par exemple, qu'il ne provient pas du crime organisé.

En ce qui concerne la diffusion de l'information sur cette technologie, il faut savoir qu'il y a des chercheurs, des *start-up*, des PME et, même, dans une certaine mesure, des grandes entreprises qui travaillent sur le sujet. Il faut trouver la voie d'une collaboration étroite entre le secteur public et le secteur privé afin d'utiliser cette technologie sans tomber dans l'effet de mode, mais de manière à ce qu'elle apporte, pour le consommateur comme pour les entreprises, des solutions pérennes.

**M. Cédric Villani, député, premier vice-président de l'Office.** – Merci pour toutes ces explications. Sur la question des banques, il est paradoxal d'observer que des grandes banques investissent beaucoup dans la recherche sur les technologies autour du bitcoin mais n'ouvrent pas de comptes aux *start-up* agissant dans ce domaine !

**M. Gérard Longuet, sénateur, président de l'Office.** – Je vous propose de féliciter à nouveau nos rapporteurs, d'autoriser la publication de ce rapport et de mobiliser nos services, à l'Assemblée comme au Sénat, pour assurer la notoriété de celui-ci.

***La publication du rapport sur les enjeux technologiques des blockchains (chaînes de blocs) est autorisée à l'unanimité.***

*La séance est levée à 12 h 55*

### **Membres présents ou excusés**

#### **Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques**

Réunion du jeudi 14 juin 2018 à 9 h 30

##### Députés

*Présents.* - Mme Valéria Faure-Muntian, M. Jean-Luc Fugit, M. Claude de Ganay, Mme Anne Genetet, M. Pierre Henriot, Mme Huguette Tiegna, M. Cédric Villani

*Excusés.* - M. Christophe Bouillon, M. Jean-François Eliaou, M. Jean-Paul Lecoq

##### Sénateurs

*Présents.* - M. Roland Courteau, M. Ronan Le Gleut, M. Gérard Longuet, M. Stéphane Piednoir, Mme Catherine Procaccia

*Excusés.* - Mme Annie Delmont-Koropoulis, M. Pierre Médevielle