

3

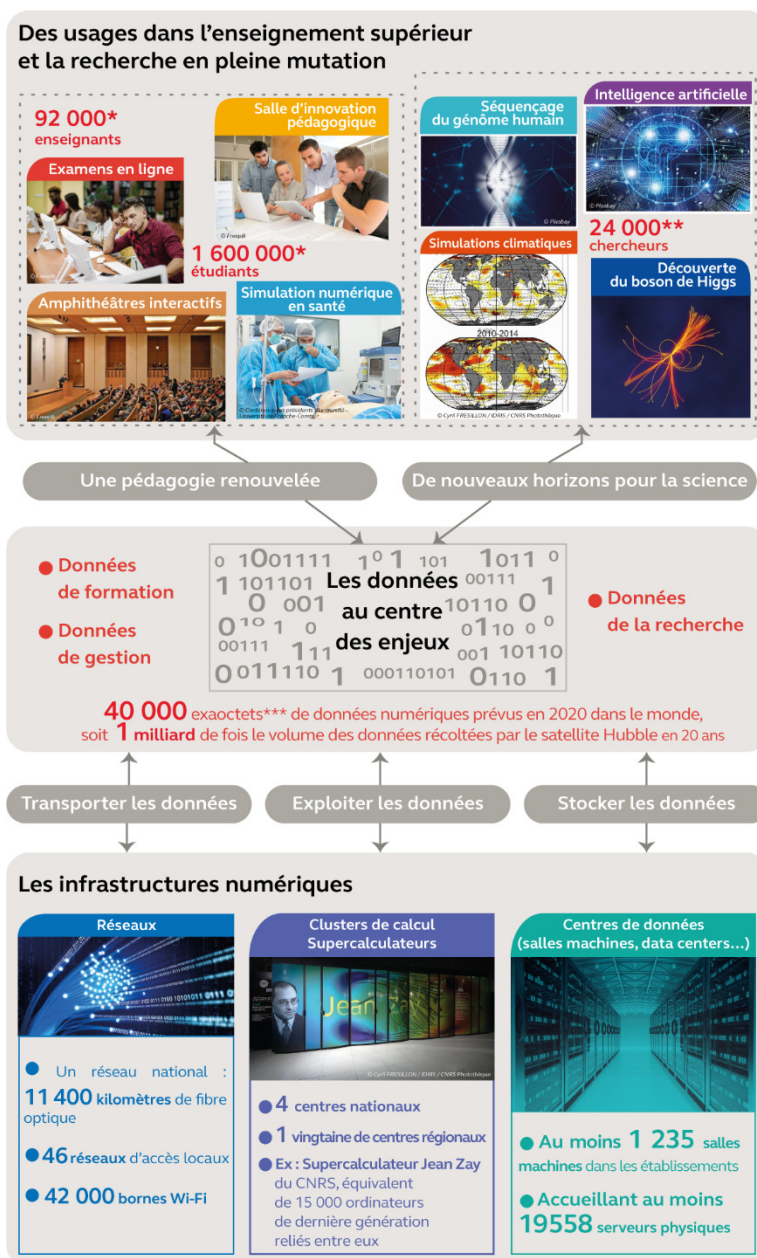
Les infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche : une consolidation nécessaire

PRÉSENTATION

En 2024, le radiotélescope « Square Kilometre Array », actuellement en construction en Afrique du Sud et en Australie, devrait produire un volume de données égal au double du trafic internet quotidien mondial. Cet exemple montre que, dans le domaine de l'enseignement supérieur et de la recherche (ESR), les besoins numériques évoluent dans des proportions qui sont sans commune mesure avec ceux du grand public.

La révolution numérique en cours est marquée par l'explosion des données et la mise en réseau des personnes et des contenus. Elle ouvre de nouveaux horizons à la science, grâce à la démultiplication de la puissance de calcul, ainsi qu'à la pédagogie, à travers le développement des ressources et des outils d'apprentissage numériques. Mais si l'évolution des usages et des services suscite de fortes attentes parmi les 1,6 million d'étudiants et les centaines de milliers d'enseignants, chercheurs et personnels administratifs, leur développement reste conditionné à la performance des équipements qui les supportent.

Les infrastructures numériques constituent ainsi la couche basse des systèmes d'information. Ce sont ces équipements matériels, à l'exclusion des infrastructures logicielles, qui permettent d'assurer le traitement des données (superordinateurs, grappes de serveurs, etc.), leur transport (fibres optiques, bornes wifi, routeurs informatiques, etc.) et leur stockage (serveurs informatiques, centres de données, etc.). L'exploitation des données et in fine la délivrance des services numériques reposent sur leur niveau de performance, d'accessibilité et de robustesse. La qualité de ces infrastructures constitue donc un enjeu majeur de compétitivité pour l'offre scientifique et pédagogique française.



Source : Cour des comptes

Or, dans l'enseignement supérieur et la recherche (ESR), celles-ci sont déployées et gérées à de multiples échelles (locale, nationale, européenne et internationale) et par de nombreux opérateurs (laboratoires, établissements, opérateurs nationaux, etc.). Se pose ainsi la question de savoir si cet écosystème, malgré son éclatement, est capable d'assurer l'acquisition, l'entretien et la modernisation des infrastructures, afin de soutenir la transformation numérique de l'ESR, en garantissant un service de qualité jusqu'à l'utilisateur, et ce au meilleur coût.

Les infrastructures numériques se sont jusqu'ici adaptées à l'évolution des usages, sous l'impulsion de quelques grands opérateurs (I). Face à l'explosion du volume de données et aux nouveaux défis qui l'accompagnent, des évolutions sont néanmoins indispensables pour garantir la qualité de service et soutenir un changement d'échelle (II). Enfin, les modalités de financement de ces infrastructures sont à repenser : éparpillées et fluctuantes, elles ne sont plus adaptées au caractère pérenne des usages du numérique (III).

I - Des investissements à la main de quelques opérateurs

A - Des infrastructures conçues par et pour la recherche

1 - Des besoins dictés avant tout par les activités de recherche

La recherche est à l'origine du développement de l'informatique et *a fortiori* du numérique. Le concept de « *World Wide Web* » a été mis au point au centre de recherche nucléaire (Cern) en 1989, pour que des scientifiques travaillant dans des universités du monde entier puissent s'échanger des informations. De fait, le dimensionnement des infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et la recherche résulte à titre principal de la prise en compte des besoins de la recherche. Car ces besoins peuvent être hors normes : plus de 50 % du trafic du réseau national de l'ESR (Renater) est lié à la seule exploitation des données du grand collisionneur de particules du Cern.

En France, en effet, l'enseignement supérieur est resté plus attentiste que la recherche face au développement du numérique. Les initiatives pédagogiques recourant au numérique (examens en ligne, classes inversées, simulation virtuelle pour les études de santé, cours en podcast, télésurveillance des examens, etc.) ne se sont multipliées que récemment et ne sont pas généralisées. De ce fait, elles n'ont pas encore modifié en profondeur la pédagogie, ainsi que le relevait en 2018 l'inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche (IGAENR)¹⁷⁰.

Si les usages au profit de l'enseignement supérieur n'ont que peu d'influence sur le dimensionnement des infrastructures en termes de capacités (volume de données, puissance de calcul, etc.), ils exigent davantage de garanties en termes de continuité de service : des calculs peuvent être décalés de quelques jours, des examens en ligne ne sauraient souffrir la moindre interruption.

Ces exigences sont renforcées par les attentes des usagers de l'ESR eux-mêmes (chercheurs, enseignants, étudiants), au premier rang desquelles se place la connectivité en tout temps, en tout lieu, et sur tout support. Celle-ci est essentielle pour ce public qui se déplace beaucoup, travaille en dehors des horaires de bureau classiques et avec du matériel personnel de tout type, et qui, en définitive, accorde une place centrale aux services numériques sans se soucier des infrastructures qui les supportent.

2 - Des capacités adaptées jusqu'ici à l'évolution des usages

a) Un réseau national autonome et performant

Renater¹⁷¹ assure l'interconnexion sécurisée à très haut débit entre les établissements d'ESR en France, ainsi que les liaisons avec les communautés scientifiques internationales et avec l'internet mondial. Propre à l'ESR, ce réseau a su répondre, entre 2007 et 2017, à une augmentation annuelle moyenne de son trafic de 32 %. Afin d'améliorer encore la desserte de ses 72 points d'accès, une nouvelle version (Renater 6) doit être finalisée en 2020. L'enquête de satisfaction conduite en 2017 par le comité des usagers et des besoins de Renater atteste par ailleurs de la qualité des services de connectivité du réseau national, avec près de 100 % d'établissements satisfaits en métropole.

¹⁷⁰ IGAENR, *Les innovations pédagogiques numériques et la transformation des établissements d'enseignement supérieur*, juin 2018.

¹⁷¹ Renater a été créé le 3 février 1993 sous forme de groupement d'intérêt public (GIP) associant l'État, la conférence des présidents d'université et les principaux organismes de recherche. Le GIP a alors fédéré les initiatives qui préexistaient.

En 2018, Renater estimait la sollicitation moyenne de ses liaisons à environ 40 %. Ce réseau national est en effet dimensionné essentiellement pour les pics d'activité de la recherche, et non sur une consommation moyenne. Cela le distingue des réseaux des opérateurs privés et justifie son existence. Le coût annuel de ce réseau mutualisé, estimé par Renater à 18,6 M€ en 2018, est nettement inférieur au total de ceux que chacun de ses membres devrait couvrir individuellement pour obtenir le même niveau de service.

b) Des capacités de calcul scientifiques renforcées

Le risque d'un retard français en matière de calcul intensif avait été pointé en 2005¹⁷². En 2007, le grand équipement national de calcul intensif (Genci) a donc été créé sous forme de société civile chargée d'acquérir et de mettre à disposition des moyens de calcul haute performance pour trois centres de calcul, dès lors considérés comme nationaux¹⁷³. Les moyens financiers engagés par ses associés¹⁷⁴ ont alors permis à la France de maintenir sa place au niveau mondial en matière de calcul intensif et d'organiser l'accès à des capacités de calcul de très haut niveau pour les chercheurs.

En juin 2019, les trois supercalculateurs du Genci étaient ainsi classés parmi les 500 supercalculateurs les plus performants au monde alors qu'aucune machine de la recherche académique n'était référencée en novembre 2006. En 2018, toujours grâce à Genci, dix fois plus d'heures de calcul qu'en 2010 ont été allouées aux chercheurs dans les centres nationaux. La France participe enfin à l'exploitation des données du Cern grâce au centre de calcul de l'IN2P3¹⁷⁵.

À cette mobilisation nationale, s'est ajouté un net renforcement des capacités locales des laboratoires de recherche. Il s'est opéré au sein de centres mutualisés, dits « mésocentres », qui agrègent des moyens matériels et humains pour offrir des capacités de calcul scientifique aux

¹⁷² Rapport du conseil général des technologies de l'information et de l'IGAENR, *La politique française dans le domaine du calcul scientifique*, 2005.

¹⁷³ Très grand centre de calcul (TGCC) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) à Bruyères-le-Châtel (Essonne), Institut du développement et des ressources en informatique (IDRIS) du Centre national pour la recherche scientifique (CNRS) à Orsay (Essonne) et Centre informatique national de l'enseignement supérieur (CINES) à Montpellier (Hérault).

¹⁷⁴ État, CEA, CNRS, Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria) et conférence des présidents d'université.

¹⁷⁵ Le centre de calcul de l'institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS à Lyon est spécialisé dans le traitement de données massives.

laboratoires d'un même site. D'après les données recueillies par la Cour en 2019, le rapport entre la puissance de calcul cumulée de ces mésocentres et celle des centres nationaux est passé de 1 pour 20 en 2008 à 1 pour 2,5 en avril 2019. Si ce rattrapage est notable, il laisse entière la question de la répartition géographique de ces centres et de leurs modalités d'accès.

c) Des infrastructures hétérogènes selon les établissements

La desserte finale des services aux usagers reste du ressort de chaque établissement, ce qui explique une grande hétérogénéité de situations. Répondant en priorité aux besoins des activités de recherche, nombre des infrastructures numériques (serveurs, calculateurs) sont acquises directement par les laboratoires. Il en résulte une grande dispersion des moyens, en dépit des démarches engagées par les organismes de recherche : 129 établissements d'enseignement supérieur et quatre organismes de recherche ont déclaré à la Cour un nombre, qu'ils ont eux-mêmes reconnu incomplet, de 1 235 salles machines pour 30 658 m² de surface, soit une moyenne de neuf salles par établissement et d'à peine 25 m² par salle, loin des standards des centres de données. Un important effort de rationalisation s'impose donc pour mutualiser les moyens et améliorer le service rendu.

La gestion de l'accès aux réseaux reste, elle, centralisée dans les établissements qui adaptent la desserte de leurs différents sites aux besoins. Le débit médian constaté dans les établissements d'enseignement supérieur, qui hébergent l'essentiel des laboratoires, est satisfaisant à ce jour, de l'ordre de 1 gigabit par seconde pour leur site principal, soit bien au-delà du débit de 30 mégabits par seconde retenu comme référence du « très haut débit » par le plan gouvernemental « France Très Haut débit ». Les réseaux sans fil se sont également largement développés dans les établissements : 41 915 bornes wifi étaient en service en 2019 dans 129 établissements d'enseignement supérieur, soit deux fois plus qu'en 2012.

Cette modernisation des infrastructures réseaux ne s'est toutefois pas accompagnée dans les universités d'une rénovation des espaces immobiliers de façon à les adapter aux nouveaux usages numériques. Le câblage électrique des salles d'enseignement est ainsi sans rapport avec le besoin réel des étudiants¹⁷⁶. Les enjeux énergétiques et environnementaux

¹⁷⁶ N'existent en moyenne que 17 prises électriques pour 100 places assises en amphithéâtre d'après les données recueillies par la Cour lors de son enquête.

ne sont pas davantage pris en compte par les établissements¹⁷⁷. Le ministère n'a pas adressé d'orientations générales en ce sens.

B - Un pilotage national peu affirmé

1 - Des infrastructures propres à l'enseignement supérieur et à la recherche

Le développement d'infrastructures numériques propres à l'ESR relève en France du pilotage du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et de l'innovation (Mesri), en partie autonome de la gestion interministérielle des grands projets informatiques de l'État. Cela diffère peu des solutions retenues par nos principaux partenaires européens. La plupart disposent de réseaux spécifiques (JISC en Grande-Bretagne, DFN en Allemagne) et de moyens de calcul scientifique plus ou moins concentrés au sein d'opérateurs (simple coordination en Allemagne). Les Pays-Bas présentent une organisation originale avec l'association SURF, qui réunit en son sein les missions de réseaux, d'offre de calcul scientifique et de développement de services numériques au profit des communautés scientifiques et éducatives.

Sous l'égide du Mesri, les opérateurs nationaux Renater et Genci sont en relation avec leurs homologues européens, voire internationaux¹⁷⁸, pour favoriser l'émergence d'un espace européen de la recherche et de l'enseignement supérieur. Le ministère investit également les démarches européennes, notamment de science ouverte ou de calcul scientifique.

2 - Le numérique, une priorité diluée

Si les réussites de Renater et Genci sont à saluer, l'élaboration des infrastructures numériques relève jusqu'à présent d'une approche empirique et de financements de circonstance, davantage que d'une politique à proprement parler. Le numérique est un secteur disruptif qui se prête mal à une planification rigide mais force est de constater que le sujet des infrastructures reste peu documenté ou seulement de manière

¹⁷⁷ Ces enjeux sont de trois ordres : les consommations énergétiques (caractère « énergivore » du numérique) ; l'empreinte environnementale liée aux matériels (cycle de vie, matériaux rares, etc.) ; la capacité des établissements à mieux gérer leur empreinte écologique grâce au numérique (logique de *smart campus*).

¹⁷⁸ Renater assure la connexion au réseau européen Géant, lui-même relié aux réseaux internationaux. Genci est l'interlocuteur français du programme européen PRACE.

sectorielle. Les moyens qui y sont consacrés par tous les établissements ne sont pas recensés. Chaque organisme conduit ses propres travaux (comité d'orientation technique, stratégique et scientifique de Renater ; forum des utilisateurs de Genci ; comités des centres de calcul ; mission calcul données du CNRS ; etc.) et peu d'établissements d'enseignement supérieur conduisent des enquêtes de besoins auprès de leurs usagers.

En dépit d'une stratégie numérique formalisée par le Mesri en 2013¹⁷⁹ et d'un plan d'actions pour la modernisation des infrastructures et services numériques établi en 2015¹⁸⁰, les objectifs de rationalisation des capacités de calcul et de stockage des données peinent à se concrétiser. D'autant que les instances de pilotage prévues dysfonctionnent. Le comité d'orientation du numérique, Codornum, ne se réunit plus depuis mars 2017. Les comités de pilotage (formation, systèmes d'information de l'ESR, science ouverte, infrastructures numériques) sont maintenus mais dépourvus de leur instance décisionnelle. Et une nouvelle feuille de route numérique ministérielle demeure en attente de publication.

En dépit de la création le 1^{er} juillet 2019 du département « Services et infrastructures numériques » au sein de la direction générale de la recherche et de l'innovation du Mesri, le numérique et *a fortiori* ses infrastructures ne semblent, en définitive, pas faire partie des premières priorités du ministère.

II - Un changement d'échelle peu préparé

A - L'enjeu stratégique de la gestion des données

Alors que la simulation numérique est devenue, aux côtés de la théorie et de l'expérimentation, le troisième pilier de la science, les données numériques concentrent désormais les enjeux et croissent de manière exponentielle. Le défi de leur stockage s'impose également aux pouvoirs publics. Lors de l'élaboration de la dernière stratégie nationale des infrastructures de recherche, en 2017, les estimations prévoyaient un quintuplement du volume de données à stocker d'ici à 2022, principalement issues des appareils d'observation et d'expérimentation, ainsi que des résultats de la simulation numérique et du calcul intensif. Cette explosion des données favorise une convergence des problématiques,

¹⁷⁹ MESRI, Agenda stratégique « France Europe 2020 », 2013.

¹⁸⁰ Celui-ci prônait « la transformation du modèle actuel vers un modèle mutualisant davantage renforcé et propre à soutenir un véritable changement d'échelle ».

et donc des infrastructures, entre les domaines du calcul de haute performance, du *big data* (avalanche de données), de l'intelligence artificielle (comme aide à l'analyse) et du stockage des données, le tout devant être desservi par un réseau adapté.

Mais avant de définir les infrastructures utiles, une réelle gestion des données, de leur collecte à leur exploitation, est nécessaire : précision de la nature des données (recherche, gestion, enseignement, etc.), application des règles de protection (règlement général sur la protection des données, protection du patrimoine scientifique, etc.), extraction des connaissances et mise en valeur (création de référentiels permettant d'exploiter les bases de données, etc.), diffusion (*open data* ou non), conservation (archivage ou suppression), etc.

Or les établissements se sont peu saisis de ce sujet. Selon les données recueillies par la Cour, 93 % des établissements d'enseignement supérieur n'ont pas de démarche de plan de gestion des données de la recherche¹⁸¹. Le livre blanc sur les données au CNRS de 2018 soulignait pour sa part que les plans de gestion étaient « loin d'être généralisés aujourd'hui ». Faute de gestion, de nombreuses données de la recherche seraient perdues. Ces constats devraient inciter les diverses communautés scientifiques à s'emparer pleinement de la question et à se doter de plans de gestion des données. La Cour attire l'attention des pouvoirs publics sur la nécessité d'adopter une politique plus volontariste en la matière.

B - Une culture de la sécurité numérique à forger

Les établissements sont confrontés aux problématiques de sécurité numérique, tant pour des risques habituels (vol ou dégradation d'équipement, intrusions par la messagerie, etc.), que pour des enjeux spécifiques (perte de données confidentielles, compromission d'information, etc.) dans un domaine où la sécurité s'oppose à la logique d'ouverture de la science. De fait, l'adaptation aux enjeux de sécurité tarde.

D'une part, étant donné la sensibilité des informations qui peuvent transiter par le réseau Renater, il est étonnant que celui-ci ne soit pas soumis aux audits de sécurité de l'agence nationale de sécurité des systèmes d'information (Anssi), voire qualifié d'opérateur de services

¹⁸¹ Le plan de gestion des données décrit comment les données de recherche seront gérées pendant et après le projet, lesquelles seront partagées, diffusées et conservées.

essentiels¹⁸². C'est une situation insatisfaisante et un facteur de risque. Un dialogue de sécurité entre le ministère, l'Anssi et Renater doit être instauré.

D'autre part, les établissements s'emparent trop peu de l'enjeu de la sécurité. Lors de l'enquête de la Cour, seuls 40 % des établissements d'enseignement supérieur ont déclaré disposer d'un document propre formalisant la politique de sécurité des systèmes d'information. La conservation des données critiques, notamment de la recherche, est un des points faibles. En effet, la très forte dispersion des salles machines ne permet pas des conditions de sécurité satisfaisantes (risque d'intrusion physique, d'incendie ou d'inondation, enjeu du maintien en conditions opérationnelles, etc.).

Ce manque de culture de sécurité informatique est également illustré par l'important recours des usagers de l'ESR aux services en ligne proposés par les entreprises du numérique (messagerie Gmail, stockage en ligne d'Amazon ou de Microsoft, etc.). Une étude du ministère de 2018 a ainsi montré qu'il existait plus de 460 000 comptes ouverts auprès de plateformes privées de stockage et d'échange de données avec des adresses professionnelles de l'enseignement supérieur et de la recherche. De tels usages peuvent affaiblir la protection des données.

Ces enjeux de souveraineté méritent une clarification de la position du ministère. Ce dernier doit également promouvoir, en collaboration avec l'Anssi, une meilleure prise en compte des impératifs de sécurité numérique par les chercheurs, les enseignants et les étudiants.

C - Les fragilités de l'écosystème actuel

1 - Mutualiser l'hébergement des données

Face à la dispersion des moyens de stockage dans les laboratoires, le ministère a encouragé la création de centres de données partagés (*data centers*). Cette réponse est adaptée car elle permet d'atteindre un meilleur niveau de service et de bénéficier de compétences humaines spécifiques, pour un coût partagé par les parties prenantes.

La cible de mutualisation retenue par le ministère, qui conduirait à doter chaque région d'un centre de données unique, n'est toutefois pas cohérente avec la politique de sites universitaires et de recherche promue

¹⁸² Au sens du décret du 23 mai 2018 relatif à la sécurité des réseaux et systèmes d'information des opérateurs de services essentiels et des fournisseurs de service numérique.

par ailleurs par le même ministère. En outre, elle ne s'appuie pas sur des justifications techniques probantes : aucune étude, prenant en considération les enjeux de réseaux ou de sécurité n'a fixé le nombre nécessaire de *data centers*, ni leur répartition géographique.

Aussi, dans la mesure où les données de la recherche constituent l'enjeu fondamental, l'adoption d'une échelle scientifique comme cible de mutualisation serait utile. Les sites reconnus initiative d'excellence (IDEX) dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA) grâce à leur haut niveau de recherche constitueraient une base plus cohérente, à élargir à un ou deux sites intensifs de recherche dépourvus d'IDEX et sous réserve d'apporter une solution concertée en Île-de-France. L'obtention de ce label devrait conditionner l'octroi des financements de l'État.

La Cour privilégie l'encouragement aux sites d'excellence. Elle préconise donc une politique de labélisation et d'incitation financière allant dans ce sens pour la sélection des projets.

Par ailleurs, compte tenu de la répartition actuelle des moyens dans les établissements et les laboratoires ainsi que des fortes réticences des acteurs, une importante étape de mutualisation au sein même de chacun des établissements, et sur tous les sites de l'ESR, paraît incontournable et à encourager, en parallèle, par le ministère. À défaut, les contraintes en termes de moyens financiers pourraient opérer une sélection darwinienne.

Ce double mouvement invite à concrétiser le projet de « *cloud* de l'ESR », à savoir une offre unifiée de services numériques portés par les *data centers* mutualisés, nationaux et de sites IDEX. Les établissements, les organismes de recherche, les opérateurs nationaux proposent en effet aujourd'hui des services au profit des chercheurs, enseignants-chercheurs, étudiants et personnels : hébergement de données, messagerie, visio-conférences, plateforme collaborative, etc. Or aucun cadre de cohérence n'existe, ce qui conduit à des développements parallèles, voire concurrents, sans que les offres publiques ne parviennent à rivaliser avec les solutions privées, prisées des chercheurs et étudiants, notamment car elles sont utilisées dans leur vie quotidienne. La création d'un portail unique assurant le recensement et l'accès aux différentes solutions publiques existantes constituerait une avancée indéniable.

2 - Accroître et faciliter l'accès aux capacités de calcul

En dépit de l'accroissement notable des capacités, Genci estime toujours le taux de pression sur ses machines de l'ordre de deux heures demandées pour une allouée. Dans le même temps, les besoins

s'accroissent¹⁸³ alors que toutes les communautés scientifiques ne se sont pas encore saisies pleinement du potentiel offert par le calcul scientifique et la simulation numérique : le taux de renouvellement des équipes accédant aux heures de calcul des centres nationaux n'est ainsi que de 25 % par an. Les communautés n'ont en effet ni la même maturité ni les mêmes besoins.

C'est à cette fin que le ministère et Genci cherchent à promouvoir une logique de « pyramide de calcul », articulant les différents niveaux de ressources en calcul (européen, national, mutualisé, local). Au-delà des capacités techniques, l'enjeu principal est d'accompagner les chercheurs vers le calcul scientifique, d'offrir une diversité et une souplesse des solutions techniques et de s'assurer de l'adéquation entre les besoins et les moyens utilisés. Les mésocentres jouent un rôle déterminant dans ce schéma grâce à leur proximité avec les équipes de recherche et la souplesse d'accès qu'ils offrent. Mais il n'existe à ce jour ni définition ni liste de ces derniers alors que tous ne répondent pas aux critères attendus. Des moyens de calcul ont ainsi parfois été acquis sans se soucier des conditions nécessaires à leur exploitation, notamment en termes de moyens humains.

Genci a eu un rôle utile dans la coordination du projet *equip@meso*, action financée par le programme d'investissements d'avenir, en animant un réseau de seize mésocentres dont le renforcement des capacités était financé par l'État. Cette mission, saluée par les partenaires, a pris fin en 2019. Il serait pourtant judicieux qu'elle soit poursuivie à l'avenir à deux titres. Tout d'abord, Genci, en coordination avec les mésocentres, pourrait assurer un rôle d'orientation des demandes de calcul scientifique vers les centres de calcul les plus adaptés. Par ailleurs, la labélisation de mésocentres par le ministère, en s'appuyant sur Genci et les organismes de recherche, s'impose afin de flécher les moyens financiers et humains nécessaires au maintien de centres de calcul performants.

3 - Garantir des connexions de « bout-en-bout »

L'exigence de continuité des activités et les perspectives de développement des services numériques nécessitent enfin un renforcement des garanties en matière de réseau. Or la desserte au dernier kilomètre et le niveau de l'offre de service proposée aux usagers finaux dépendent de l'interaction de trois niveaux d'acteurs : Renater, les réseaux d'accès locaux et les établissements. En effet, le réseau national de Renater est

¹⁸³ La satisfaction des besoins pour les simulations sur l'évolution du climat nécessiterait une multiplication par 30 des heures de calcul allouées.

composé de 72 nœuds de raccordement, à partir desquels des réseaux d'accès locaux assurent la desserte des différents établissements et sites.

Les 46 réseaux d'accès locaux existants, auxquels appartiennent les établissements de l'ESR¹⁸⁴, se sont construits au gré de l'histoire et constituent un paysage disparate, tant dans leur périmètre géographique qu'au regard de leur nombre d'adhérents, de leur statut, de leur modèle économique et financier ou de leur organisation technique¹⁸⁵. L'IGAENR, dans un rapport de 2018, relevait que « *les réseaux d'accès présentent un état technique très hétérogène [...]. La moitié des réseaux d'accès annoncent ne pas pouvoir assurer un service fiabilisé et sécurisé, fragilisant ainsi la prolongation des services de Renater* ». Les taux de disponibilité des réseaux d'accès s'avèrent ainsi inférieurs à ceux de Renater et 29 % des établissements interrogés par la Cour considèrent observer une déperdition de débit entre le nœud Renater et leur établissement du fait du réseau d'accès.

Jusqu'à présent, Renater nouait une relation contractuelle uniquement avec ses adhérents, mais l'opérateur ne conventionnait pas avec les réseaux d'accès, qui constituent pourtant une interface. Au vu des enjeux, il est souhaitable de formaliser davantage cette relation et de subordonner la desserte d'un réseau d'accès local par Renater au respect de conditions permettant la prolongation de la qualité de service offerte par l'opérateur national, comme la sécurité et la résilience des accès. Cette contrainte nécessitera une implication plus grande, y compris financière, des établissements dans ces réseaux locaux.

III - La nécessaire pérennisation des financements

Moderniser les infrastructures numériques de l'ESR nécessite d'adapter leurs modalités de financement.

¹⁸⁴ La moitié des réseaux est portée par une université, sans personnalité morale.

¹⁸⁵ IGAENR, *RENATER et les réseaux d'accès*, octobre 2018.

A - Des coûts à évaluer, des modèles économiques à définir

Il n'existe pas de données consolidées sur le coût du numérique pour les opérateurs de l'ESR¹⁸⁶. D'après les données recueillies par la Cour auprès de quatorze établissements d'enseignement supérieur, la moyenne consolidée des coûts de fonctionnement, de masse salariale et d'amortissement représenterait, en 2018, 4 % des coûts d'exploitation de cet échantillon. Très peu de comparaisons internationales existent, mais des établissements de renom s'engagent davantage, à l'image de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, qui y consacre depuis 2012 de l'ordre de 6 % de son budget. Les données recueillies auprès de quatre organismes de recherche suggèrent qu'ils ne sont pas très éloignés de l'étiage dégagé par l'enquête¹⁸⁷. Par extrapolation¹⁸⁸, le numérique représenterait de l'ordre de 1 Md€ pris en charge annuellement par les établissements d'enseignement supérieur et organismes de recherche, dont plus de la moitié serait consacrée à la masse salariale¹⁸⁹.

Ces données permettent seulement d'apprécier un ordre de grandeur, à considérer avec une grande prudence, tant les périmètres de prise en charge des coûts du numérique et les modalités de détermination peuvent varier d'un établissement à l'autre. Principal écueil relevé par la Cour : le niveau des dépenses des laboratoires de recherche en matière numérique est mal connu par les directions financières et les directions des systèmes d'information, ce qui ne permet pas de garantir l'homogénéité des informations. Par ailleurs, le coût des fluides associés au numérique, dont l'électricité, est ignoré. Et si le montant des charges acquittées par les établissements au titre du numérique est mal identifié, le coût des infrastructures numériques n'est pas isolé sein de ce montant. Les établissements et organismes n'assurent pas de suivi détaillé à ce niveau.

¹⁸⁶ Le « numérique » comprend ici les infrastructures, l'équipement courant, les solutions logicielles et les moyens associés aux usages.

¹⁸⁷ 33,4 M€ soit 3,7 % pour l'Inserm, 14,7 M€ soit 6,1 % pour l'Inria spécialisé dans le domaine du numérique, 76,6 M€ soit 2,3 % pour le CNRS selon les regroupements fonctionnels de son référentiel budgétaire (2017) et 93 M€ soit 2,9 % pour le CEA civil selon sa nomenclature budgétaire.

¹⁸⁸ En considérant 4 % des charges d'exploitation des établissements d'enseignement supérieur financés par le programme 150 du budget de l'État et des organismes de recherche financés par le programme 172.

¹⁸⁹ Pour les établissements d'enseignement supérieur de l'échantillon, le coût du numérique est composé à 56 % de masse salariale, 24 % de coûts de fonctionnement et 20 % d'investissements.

Une partie des coûts du numérique et de ses infrastructures, supportés par les établissements, demeure ainsi « cachée », ce qui conduit à une mauvaise appréhension des enjeux financiers et des modèles économiques afférents. Les amortissements des infrastructures ne sont pas connus des directions des systèmes d'information ou des laboratoires et ne sont pas pris en compte lors des analyses comparatives. Rares sont donc les valorisations complètes du coût des services numériques. Or ces coûts sont comparés aux prix des offres de service attractives des entreprises privées du numérique (calcul, hébergement). Ces dernières ne prennent pourtant pas en compte les coûts des réseaux, les personnels nécessaires au sein des établissements, etc. La Cour alerte les établissements sur l'indispensable objectivation des coûts du numérique.

B - Des modes de financement à faire évoluer

Dans la mesure où la gestion de l'informatique scientifique demeure en grande partie pilotée par les laboratoires eux-mêmes, le mode le plus courant d'acquisition et de financement d'infrastructures repose sur les ressources obtenues par ces derniers dans le cadre d'appels à projets ou de contrats de recherche collaborative. Mais il n'existe aujourd'hui aucune traçabilité de ces acquisitions (inventaire, estimation financière, etc.). Le renouvellement ou la modernisation de ces équipements, détenus en propre, ne font donc l'objet d'aucune programmation ; ils demeurent donc suspendus à l'obtention de financements ponctuels.

Ce mode de financement, majoritairement sous la forme d'aide à l'investissement, favorise des achats occasionnels et isolés au détriment d'une rationalisation des processus d'acquisition des équipements. Il promeut par ailleurs systématiquement une logique d'achat là où le recours à un service externalisé pourrait être, parfois, alternativement envisagé. Enfin, ce type de financement est à la fois peu propice à une logique de mutualisation entre des équipes de recherche en compétition entre elles et entièrement tourné vers des projets à lancer plutôt que vers l'entretien et la modernisation de capacités existantes.

De manière plus générale, les financements sur appels à projets préparent mal à la nécessité d'assurer le renouvellement des équipements, à l'image des contrats de plan État-Région (CPER) et du PIA.

En outre, dans les CPER, l'investissement dans les infrastructures numériques varie selon les régions et selon les générations de contrats. Pour la période 2015-2020, 79,47 M€ des programmes 150 et 172 ont été prévus pour accompagner plus de 327 M€ de projets numériques, dont la majeure partie correspond à la création ou la réhabilitation de *learning centers*. Si

les réhabilitations immobilières engagées grâce aux contrats de CPER permettent une modernisation au cas général, tout comme dans le cadre du Plan Campus pour les sites qui en bénéficient, peu de CPER comportent des volets consacrés aux infrastructures numériques de l'ESR et encore moins anticipent l'exploitation des infrastructures acquises.

S'agissant du PIA, peu d'actions jusqu'à présent ont ciblé les infrastructures numériques, en dehors de quelques cas isolés, à l'image des équipements d'excellence *equip@meso* et *stockage*. Des moyens ont été alloués à la modernisation d'infrastructures numériques mais dans le cadre de projets génériques du PIA, ce qui rend leur identification impossible. Des actions futures du PIA 3 seront en revanche réservées à cet objectif : 105 M€ de l'action « Programmes prioritaires de recherche » sont ainsi destinés au financement du plan en faveur de l'intelligence artificielle et 350 M€ sont affectés à l'action « équipements structurants pour la recherche » consacrée « au soutien d'équipements en lien direct avec la transition numérique ». Le secrétariat général pour l'investissement entend faire du modèle économique des projets un critère d'évaluation. Cette orientation est à soutenir au vu des écueils constatés par exemple pour le secteur de la bio-santé, confronté à l'absence de modèle économique de substitution lors de l'arrêt de financements du PIA en 2019.

C - Un défaut de programmation des investissements à corriger

1 - De nouveaux défis technologiques à financer

Deux défis majeurs nécessitent de mieux programmer pour l'avenir les crédits budgétaires de l'État consacrés aux infrastructures numériques.

D'une part, le modèle économique de Genci n'est pas conçu, à l'heure actuelle, pour faire face au défi des futurs supercalculateurs, les machines exascale¹⁹⁰, alors que la France envisage d'en acquérir une dans le cadre d'un projet européen. Son coût d'acquisition et de fonctionnement est estimé à 320 M€ par le Mesri. Bien que la moitié soit prise en charge par l'Union européenne, le changement d'échelle financière est conséquent : le budget d'une machine exascale correspond à cinq années

¹⁹⁰ C'est-à-dire capables d'effectuer plus d'un milliard de milliard d'opérations à la seconde.

de coût complet de Genci¹⁹¹. Si l'acquisition initiale semble envisageable, il faudra en assurer le renouvellement, Genci n'étant *a priori* pas en capacité de mettre en réserve les fonds suffisants à cette fin.

D'autre part, demeurent les perspectives incertaines de l'intelligence artificielle. L'État a initié un programme national, « AI for Humanity », en mars 2018, doté d'1,5 Md€ de 2018 à 2022, dont une partie est consacrée aux infrastructures numériques. En la matière, une montée en puissance progressive se justifie dans la mesure où les communautés scientifiques doivent encore s'approprier des architectures matérielles différentes de celles connues jusqu'à présent. Les résultats des expérimentations menées sur le supercalculateur Jean Zay au CNRS et dont une partie est consacrée pour la première fois à l'intelligence artificielle sont très attendus dans cette perspective.

Sans contester la pertinence de ces options, la Cour alerte le ministère sur les risques de mobiliser l'intégralité des crédits destinés aux infrastructures numérique à ces seuls projets alors qu'ils n'épuisent pas l'ensemble des besoins.

2 - Des crédits récurrents à prévoir pour la maintenance et le renouvellement des équipements

Enfin, se pose la question de la programmation des crédits récurrents nécessaires au renouvellement et à l'exploitation des matériels. Face à la méconnaissance des coûts du numérique et alors que les contrôles de la Cour soulignent de manière régulière le défaut de programmation pluriannuelle d'investissement dans les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, il paraît indispensable d'attirer l'attention des gestionnaires sur le renouvellement des équipements. Il pourrait ainsi être utile, dans le cadre du nouveau dialogue de gestion instauré avec les opérateurs, que le ministère et les établissements identifient et programment les crédits destinés à la modernisation des infrastructures numériques. La notion de gros entretien renouvellement (GER), employée pour l'immobilier et qui a permis une réelle prise de conscience des enjeux par les exécutifs, serait à répliquer sous la forme d'un « GER numérique ».

Cette programmation des moyens financiers récurrents doit s'accompagner d'une réflexion sur les ressources humaines, puisque la masse salariale représente plus de la moitié des crédits consacrés au

¹⁹¹ Voir Cour des comptes, *Le pilotage et le financement des très grandes infrastructures de recherche*, communication à la commission des finances du Sénat, mai 2019, disponible sur www.ccomptes.fr.

numérique. Alors que la transformation de l'ESR sous l'effet du numérique déplace la plus-value des directions des systèmes d'information vers les services, peu d'entre elles sont parvenues à changer de culture et à en tirer toutes les conséquences quant à la gestion de leurs infrastructures. L'appui à l'informatique scientifique, à la gestion des données et l'accompagnement des nouveaux usages numériques constituent autant de services pour lesquels sont attendues ces directions, davantage désormais que la prise en charge technique de ces infrastructures.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La France a su mettre en place des infrastructures nationales performantes pour l'ESR et répondre ainsi aux principaux besoins des usagers. Le caractère empirique de leur développement, le foisonnement des initiatives à différentes échelles et le déficit de pilotage global exposent les infrastructures de l'ESR au risque de ne plus suffire face aux nouveaux défis de la transformation numérique.

Dans ce contexte, la Cour formule quatre recommandations à l'attention des pouvoirs publics et des opérateurs :

- 1. retenir les sites reconnus initiatives d'excellence comme cible de la démarche de labélisation de data centers du ministère dès 2020, y associer une labélisation d'un réseau de centres mutualisés de calcul scientifique (mésocentres), conditionner l'octroi de financements de l'État à l'obtention de ces labels (Mesri) ;*
 - 2. soumettre Renater aux audits de sécurité de l'Anssi, en vue de sa qualification en tant qu'« opérateur de services essentiels » (Mesri, Anssi, Renater) ;*
 - 3. consacrer des financements récurrents à l'entretien et au renouvellement des infrastructures numériques, à la fois en inscrivant des crédits dans la prochaine loi de programmation pour la recherche et en utilisant le dialogue de gestion avec les établissements et organismes sous tutelle pour flécher ces dépenses (Mesri) ;*
 - 4. proposer à la communauté scientifique un portail recensant les services numériques publics existants (Mesri).*
-

Réponses

Réponse du ministre de l'action et des comptes publics.....	232
Réponse de la ministre de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation	233
Réponse du directeur général de l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI)	237
Réponse du directeur du groupement d'intérêt public du réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche (Renater).....	238
Réponse du président-directeur général de la société civile Grand équipement national de calcul intensif (Genci).....	238
Réponse du président-directeur général du Centre national de la recherche scientifique (CNRS).....	240
Réponse du président-directeur général de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM)	243
Réponse du président-directeur général de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA).....	244

Destinataire n'ayant pas d'observation

Administrateur général du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)
--

RÉPONSE DU MINISTRE DE L'ACTION ET DES COMPTES PUBLICS

J'ai pris connaissance avec la plus grande attention de votre chapitre et j'en partage l'essentiel des constats et recommandations. Il appelle de ma part les observations retracées ci-dessous.

En ce qui concerne, tout d'abord, le dimensionnement des infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche en France, je partage vos constats sur leur adaptation progressive aux besoins de la recherche. Jusqu'ici, ces infrastructures ont en effet permis de répondre à l'évolution des usages, ainsi qu'en témoigne l'enquête de satisfaction conduite par le ministère chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche auprès de ses établissements. Les investissements consentis depuis la création en 2007 du Grand équipement national de calcul intensif (Genci) ont en particulier fourni aux chercheurs français un accès à des supercalculateurs parmi les plus performants au monde. La mise en réseau des capacités numériques a également permis d'en mutualiser les coûts, qui sont estimés à 18,6 M€ en 2018 par le Réseau national de télécommunications pour la technologie, l'enseignement et la recherche (Renater).

En ce qui concerne, ensuite, le morcellement et le déficit de pilotage global des infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche en France je partage vos recommandations qui appellent à un pilotage consolidé. Bien que formalisée par le ministère chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche dans un agenda stratégique « France Europe 2020 » puis un plan d'actions établi en 2015 pour la modernisation des infrastructures et services numériques, la mise en œuvre des objectifs de rationalisation des capacités de calcul et de stockage des données semble encore peu avancée. En particulier, entamer dès 2020 une démarche de labélisation de data centers et de mésocentres conditionnant l'octroi de financements de l'État permettrait, comme vous le recommandez, d'accélérer le changement d'échelle requis par la vitesse de développement du volume de données.

S'agissant des audits de sécurité de l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information que vous recommandez, ils semblent plus judicieux à court et moyen terme que la qualification de Renater en « opérateur de services essentiels » au sens du décret du 23 mai 2018. Il convient en effet de rappeler que la protection en confidentialité des informations transportées sur différents réseaux relève des services qualifiés des ministères traitant l'information. Par souci de cohérence, ces mesures de protection, notamment par des moyens de

chiffrement cryptographiques, devraient être appliquées de la même façon qu'il s'agisse de Renater ou des différents réseaux d'accès locaux soumis à des menaces d'interception ou d'écoute des données transportées. S'agissant de la désignation du groupement d'intérêt public Renater en opérateur de services essentiels, elle ne semble pas envisageable au vu de l'annexe du décret du 23 mai 2018 qui ne retient pas les opérateurs de transport de données dans la liste des services déterminant cette désignation. En outre, elle serait facteur de surcoûts qui n'ont pas fait l'objet d'une évaluation à ce stade.

S'agissant enfin des modalités de financement des infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche, vous estimez à 1 Md€ le coût annuel pris en charge par les établissements, dont la moitié serait consacrée à la masse salariale, et appelez à leur évolution. S'il est consensuel que ces financements doivent faire l'objet d'une programmation pluriannuelle compte tenu de la nature des investissements réalisés, une part majoritaire de ces dépenses demeure également relative à la masse salariale et au fonctionnement. Le nouveau cycle de contrats de plan État-Région, ainsi que la poursuite de la contractualisation des programmes d'investissements d'avenir pourront y contribuer. Il me semble néanmoins utile de souligner la nécessité pour la France d'être davantage impliquée dans les programmes de financements européens, afin que les équipes françaises bénéficient autant que possible des enveloppes qui seront prévues dans le cadre du prochain budget 2021-2027.

**RÉPONSE DE LA MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION**

Je souhaite remercier la Cour pour l'important travail de consolidation qu'elle a réalisé auprès d'un panel très complet d'établissements et d'infrastructures qui sont au cœur de la transformation numérique du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI), et pour la qualité de son analyse, qui conforte les orientations déjà engagées et propose des pistes d'amélioration supplémentaires, formalisées par les recommandations n° 1, 2 et 4, que le ministère prendra en compte pour renforcer sa démarche de consolidation des infrastructures et services numériques.

Les analyses développées par la Cour et les recommandations formulées en conclusion de ce projet d'insertion appellent de ma part les observations suivantes.

Le MESRI est, par nature et par métier, un utilisateur précurseur d'outils numériques et, par ses travaux, un contributeur aux évolutions des technologies et des usages du numérique. Il a identifié dès 2013 les grands enjeux de sa transformation numérique, en particulier :

- l'accélération des usages, qui concerne tous les acteurs de l'ESRI (étudiants, enseignants, enseignants-chercheurs, chercheurs et personnels) et qui s'accompagne de l'émergence de nouveaux services et d'une évolution constante des outils numériques ;*
- l'identification des besoins toujours croissants de moyens de calcul de plus en plus performants ;*
- l'accroissement rapide des volumes de données générées, traitées et diffusées : données personnelles, données pour la recherche, données de la recherche, publications... ;*
- la nécessité de maîtriser la dépense énergétique liée au déploiement de services numériques et de prendre en compte les exigences liées à la sécurité, la souveraineté, la qualité, le respect des normes et l'évolution des obligations réglementaires.*

L'organisation particulière de l'ESRI suppose d'accompagner de manière coordonnée vers la transition numérique des établissements et organismes nombreux et autonomes, notamment à travers des actions dédiées à la mutualisation. Le ministère et ses opérateurs sont ainsi résolument engagés depuis 2015 dans un plan de modernisation et de consolidation des infrastructures numériques. Une démarche volontariste a été initiée, qui a pour objectifs :

- de cibler un parc réduit de data centers nationaux et régionaux, alors que plusieurs milliers de salles machines de taille et de performance variables existent aujourd'hui dans l'ESRI. Conformément à la recommandation n° 1, le MESRI s'attachera à labelliser des data centers en région, en prenant en compte la répartition territoriale des grands producteurs et utilisateurs de données et en veillant au meilleur niveau de mutualisation et de rationalisation à la bonne échelle, idéalement celle de la région ;*
- d'accompagner les transformations numériques engagées par les sites qui ont déjà initié des services mutualisés par du soutien permettant de poursuivre et d'étendre leur projet de mutualisation ;*

- de moderniser et rationaliser les infrastructures, en vue du déploiement de services numériques de qualité et sécurisés dans les data centers labellisés et disposant des réseaux desserte indispensables ; dans ce cadre, et comme préconisé par la Cour (recommandation n° 1), une démarche de labellisation des mésocentres sera conduite ;
- de proposer de sécuriser les offres de services à l'échelle inter-régionale et développer des services communs à cette échelle autant que de besoin ;
- de faire converger les offres de services, les modèles économiques, la qualité de service ; ceci permettra de développer un portail recensant l'ensemble des services numériques disponibles, comme le préconise la Cour (recommandation n° 4) ;
- d'accompagner le nécessaire changement des organisations, des compétences, des technologies.

La Cour invite le MESRI à poursuivre et renforcer sa démarche de consolidation de ses moyens numériques et souligne les risques qu'il y aurait à ne pas suffisamment prendre en compte l'importance des infrastructures numériques dans le champ de l'ESRI.

Elle considère indispensable de limiter la dispersion des moyens et de réduire ce qu'elle identifie comme des fragilités.

Elle relève que, ces dernières années, les infrastructures numériques déployées à de multiples échelles ont su s'adapter aux besoins, aux défis et aux enjeux dans tous les domaines d'activité de l'ESRI et souligne la qualité des infrastructures nationales mutualisées de longue date, en particulier Renater et Genci.

Le Mesri poursuivra le soutien de ces opérateurs et les engagera à proposer des services mutualisés. En écho à la recommandation n° 2, à travers des audits de sécurité, une attention particulière sera portée à Renater et à son niveau de qualification dans le dispositif national de sécurité.

Je partage l'analyse de la Cour selon laquelle les besoins « recherche » dimensionnent les infrastructures numériques de l'ESRI, et justifient leur caractère « hors norme ».

De ce fait, les infrastructures supportent sans difficulté l'élargissement à d'autres besoins, et notamment ceux de l'enseignement supérieur. On note l'usage grandissant du numérique pour les besoins d'enseignement supérieur, l'intensification de leur développement et la nécessité dans ce domaine de s'appuyer sur une qualité de service importante.

Le Mesri prend note de la remarque de la Cour relative au manque d'affirmation du pilotage de la transformation numérique, et veillera à renforcer cette gouvernance pour poursuivre et conforter la démarche engagée.

Concernant les modalités de financement, qui font l'objet de la recommandation n° 3, la Cour encourage l'ESRI à faire évoluer ses modèles économiques en intégrant les perspectives de renouvellement et d'évolution (usages, organisations, obsolescence...). Elle considère les modes de financements utilisés comme inadaptés par leur caractère irrégulier et leur multiplicité et plaide pour la mise en place de financements récurrents qui pourraient s'inscrire dans le cadre de la future loi de programmation pour la recherche.

Je confirme que la question du financement des grandes infrastructures numériques, comme plus largement celui des grandes infrastructures de recherche, a toute sa place dans les travaux d'élaboration de la future loi de programmation pluriannuelle.

La question du renouvellement des équipements que le MESRI prévoit de financer aujourd'hui via le Programme d'Investissements d'Avenir rentre dans ce cadre.

Concernant le fonctionnement et l'investissement courants dans les établissements d'enseignement supérieur et les organismes de recherche, c'est bien, comme le suggère la Cour, dans le cadre du dialogue qui se noue entre le ministère et ses opérateurs à l'occasion de la préparation de leurs contrats, mais aussi dans le cadre des dialogues de gestion, ou encore lors de la préparation des conseils d'administration, que la question de l'investissement nécessaire dans les infrastructures numériques doit être traitée.

Il s'agira pour le Mesri de s'assurer que l'évolution des besoins des communautés scientifiques en la matière est bien prise en compte par les établissements et organismes de l'ESRI dans la définition de leurs priorités stratégiques et dans les choix budgétaires qu'ils font, étant observé que la dimension pluriannuelle de certains investissements doit aussi être considérée. Sur ce dernier point, le Mesri examinera avec attention le principe du Gros Entretien Renouvellement (GER) évoqué par la Cour.

Par ailleurs, pour que ce dialogue puisse s'établir sur la base d'éléments objectifs, les opérateurs de l'ESRI doivent au préalable se mettre en capacité de rendre compte, par des outils de comptabilité analytique, des moyens consacrés non seulement à l'investissement, mais aussi au fonctionnement des infrastructures numériques.

**RÉPONSE DU DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AGENCE
NATIONALE DE LA SÉCURITÉ DES SYSTÈMES
D'INFORMATION (ANSSI)**

L'agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI) a fait une lecture attentive du chapitre relatif aux infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche du rapport annuel 2020 de la Cour des comptes.

La Cour y relève l'importance du réseau Renater dans l'exercice des missions des établissements et institutions du secteur et préconise sa désignation en qualité d'opérateur de services essentiels. L'ANSSI rejoint ce diagnostic. Des échanges préliminaires en vue de cette désignation ont été initiés au début du second semestre 2019, en étroite collaboration avec le fonctionnaire de sécurité des systèmes d'information du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Concernant l'accroissement des capacités de calcul et de simulation pour la recherche, l'ANSSI va accompagner le grand équipement national de calcul intensif (GENCI) sur le volet sécurité numérique de ce projet visant à atteindre une capacité de calcul exaflopique.

La Cour fait également le constat que la gouvernance actuelle des infrastructures et des données de recherche ne permet pas de répondre aux enjeux et aux risques auxquels le secteur de la recherche est aujourd'hui confronté. Certaines des mesures que préconise la Cour face à ce constat peuvent constituer des leviers d'accroissement du niveau de maturité des acteurs du secteur en matière de sécurité numérique :

- *la relance d'une instance de gouvernance des infrastructures et des grands projets du numérique du secteur constituerait une opportunité pour assurer la bonne prise en compte de la sécurité numérique ;*
- *la constitution d'un comité national des données de l'enseignement supérieur et de la recherche, sous le patronage de l'administrateur ministériel des données, permettrait :*
 - *d'élaborer une politique nationale de gestion et de protection des données de l'enseignement supérieur et de la recherche ;*
 - *de définir une posture vis à vis des offres de services en ligne opérées par les entreprises du numérique, tenant compte de la sensibilité des données de la recherche, de la politique de protection du patrimoine scientifique et technique de la nation et du règlement général de protection des données personnelles ;*

- la mise en place de financements pérennes pour les infrastructures et les grands projets du numérique serait l'occasion de dédier des moyens à l'élévation du niveau de sécurité numérique des projets et acteurs du secteur.

L'agence prévoit de poursuivre et d'approfondir son action en direction de l'enseignement supérieur et de la recherche afin d'assurer que son niveau de sécurité et de résilience corresponde à son importance pour l'activité économique et sociale de la nation.

**RÉPONSE DU DIRECTEUR DU GROUPEMENT D'INTÉRÊT
PUBLIC DU RÉSEAU NATIONAL DE COMMUNICATIONS
ÉLECTRONIQUES POUR LA TECHNOLOGIE,
L'ENSEIGNEMENT ET LA RECHERCHE (RENATER)**

Je souscris aux quatre points de conclusion présentés.

J'insiste cependant, par ailleurs, sur l'importance de la qualité de bout en bout des services réseau.

À ce titre il est essentiel que les réseaux d'accès au réseau national Renater assurent la même qualité et pérennité de services. Notons que ces réseaux d'accès sont gérés par des acteurs variés (fréquemment des collectivités territoriales).

**RÉPONSE DU PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL
DE LA SOCIÉTÉ CIVILE GRAND ÉQUIPEMENT NATIONAL
DE CALCUL INTENSIF (GENCI)**

Cette lettre vise à préciser certains éléments du chapitre destiné à figurer dans le rapport annuel de la Cour des comptes.

Genci tient à souligner l'intérêt scientifique et économique lié aux machines Exascale, un intérêt notamment reconnu par l'ensemble des États Membres et la Commission Européenne qui a contribué à la création de l'initiative EuroHPC (Joint Undertaking consacré aux développements de machines Exascale dédiées au calcul à haute performance, au traitement de données massives et à l'intelligence artificielle). Comme indiqué (ci-après) dans le plan stratégique de Genci adopté le 9 avril 2019 :

• *L'acquisition d'une machine Exascale permettra, en plus de l'accès à la part européenne de ce supercalculateur, d'une part de **traiter des problèmes scientifiques qu'on ne peut traiter actuellement et d'autre part d'accroître la part nationale en puissance de calcul actuellement insuffisante pour nos communautés scientifiques.***

- *S'agissant du premier point, l'Exascale est nécessaire pour répondre à de nouveaux besoins en calcul/traitement de données en termes de résolution de modèles (ex : maillages de 1km sur tout le globe en modélisation du climat), nouvelles méthodes numériques (ex : utilisation de la simulation numérique directe DNS en combustion), simulations multi-échelles et multi-physiques (ex : matériaux, santé), médecine personnalisée, gestion des incertitudes et optimisation de modèles. Certains domaines comme l'aéronautique (modélisation multi-physiques complète d'un avion en vol) considèrent que l'Exascale est une étape et affichent déjà des besoins futurs allant même au Zetascale (1024 opérations par seconde) attendu vers 2030...*
- *S'agissant du second point, le taux de pression sur les machines actuelles de Genci implique un très fort taux de sélectivité des projets de recherche retenus et une attribution d'heures de calcul réduite par rapport aux besoins, qui devient préjudiciable au développement des recherches actuelles et futures. La très forte capacité de calcul attendue pour la machine Exascale permettra ainsi de franchir une marche en termes d'ambition et de moyens dédiés à la science à venir et de desserrer les contraintes, et ce d'autant plus que les besoins en capacité de calcul de certaines communautés scientifiques croissent à une vitesse soutenue alors même que d'autres commencent à peine à s'intéresser aux potentialités de la simulation numérique associée au traitement de données massives et à l'intelligence artificielle.*

• *L'accès à des systèmes Exascale permettra aux scientifiques de **tirer pleinement parti de la convergence d'usages entre la simulation numérique et l'IA**, couplant les codes de simulation avec des modèles appris, post-traitant à la volée les données générées par les simulations pour ne stocker que les données pertinentes et ainsi gagner temps et énergie, permettant un apprentissage massif et automatique (autoDL, autoML) de réseaux de neurones tout en développant une IA explicable (comme préconisé dans le rapport Villani) basée par exemple sur un couplage entre réseaux de neurones et IA symbolique. Il permettra aussi l'avènement de nouveaux usages comme le couplage des supercalculateurs avec les très grands instruments de recherche (TGIR) pour leur dimensionnement/calibration en amont mais aussi et surtout*

l'analyse et la valorisation de leurs résultats en aval, de par le volume des données générées par la nouvelle génération d'instruments (SKA, LSST, CTA, HL-LHC, séquenceurs génomiques, réseaux de capteurs, ... Internet des objets) et répondra ainsi aux besoins de nouvelles communautés (médecine personnalisée, aide à la décision...).

• Enfin, dans un contexte de forte compétition internationale et de guerre commerciale naissante dans le domaine des technologies, l'accès à des systèmes Exascale permettra aux scientifiques français et européens de continuer à développer des compétences en matière de technologies (matérielles, logicielles et applicatives) ou de cyber-sécurité. De tels systèmes seront en outre un accélérateur de technologies et d'infrastructures propres, assurant un accès souverain à des moyens de calcul et de stockage de données aux chercheurs scientifiques et industriels européens.

RÉPONSE DU PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)

Les remarques du CNRS sur le chapitre consacré aux infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche à paraître dans le rapport annuel 2020 de la Cour des comptes sont les suivantes, dans l'ordre de leur apparition dans le chapitre :

Il nous semble très curieux de commencer le document par l'exemple de SKA, certes dimensionnant, mais infrastructure internationale pour laquelle la participation française n'est pas arbitrée.

Par ailleurs, la comparaison semble confondre flux et volume de données. Le flux indiqué est probablement le flux interne à chacun des deux sites (Afrique du Sud et Australie) de l'installation. Les données destinées aux chercheurs, issues du prétraitement des données initiales, induiront un flux certes important mais sans commune mesure avec le flux de l'internet mondial.

Concernant les défis de données auxquels participent de façon majeure les équipes françaises, nous proposons de considérer : LHC Haute luminosité, LSST, et les synchrotrons de 4^{ème} génération (ESRF-EBS, XFEL, etc.).

Comme la Cour le reconnaît elle-même, le nombre de salles machines, 1 235, est certainement très sous-estimé.

Les conclusions de l'enquête de satisfaction du comité des usages et besoins de Renater doivent être prises avec précaution. Elle interroge essentiellement des DSI et se limite à une réponse unique par organisme. Elle ne reflète pas forcément la diversité des usages d'un organisme comme le CNRS (centres de calcul nationaux, infrastructures de recherche, systèmes d'information des services centraux, utilisateurs finaux appartenant généralement à des laboratoires qui ne sont pas hébergés par le CNRS, etc.). À noter aussi que l'utilisateur final s'intéresse à une performance globale du réseau sans forcément appréhender ce qui relève du réseau national mis en œuvre par Renater ou du réseau de collecte qui le dessert. Comme la Cour le souligne, Renater fournit un excellent service sur le « backbone », a priori bien dimensionné.

Il serait plus exact de dire que le CC-IN2P3 « est spécialisé dans le traitement de données massives », plutôt que dans le « calcul à haut débit ». Ce centre de calcul national a vocation à s'ouvrir à d'autres utilisateurs que ceux de l'IN2P3. Il héberge déjà, par exemple, la base de données HumaNum des sciences humaines.

Peut-être faudrait-il souligner que la grande dispersion des moyens de calcul s'accompagne d'un besoin accru de support humain pour les gérer. La mutualisation et la rationalisation des moyens doit porter non seulement sur les machines et les salles machines mais aussi sur les personnels de support.

La mission calcul-données du CNRS est mentionnée comme l'instrument d'une politique autonome du CNRS en la matière, ce qui est inexact. La décision de création de la mission la charge explicitement « de représenter le CNRS au sein des instances des structures tant publiques que privées de niveau national ou international dont les activités relèvent du domaine du calcul de haute performance et de grandes masses de données ». La mission représente le CNRS notamment auprès de Genci et de Renater ainsi que dans les réunions organisées sur ces questions par le ministère (INFRANUM...), justement pour assurer la compatibilité de l'action du CNRS avec la politique, notamment de rationalisation, du ministère. Cet objectif a d'ailleurs été une des motivations de la création de la mission en 2015.

Comme la Cour, le CNRS déplore l'absence d'une réelle « gouvernance du numérique » de l'ESR, susceptible de piloter les grandes orientations. Le CODORNUM n'a pas pu, ou su, jouer ce rôle.

La création du département « services et infrastructures numériques » est trop récente (mission créée au 1/07/2019, nomination du responsable fin octobre ou début novembre) pour reprocher au ministère le retard de publication d'une feuille de route numérique.

Le CNRS partage le constat de la Cour d'une nécessité d'adopter une politique volontariste en matière de données et d'éviter en particulier la perte de données de recherche faute d'une gestion adaptée. Cette politique relève d'une feuille de route ministérielle car ne peut être le fait d'un organisme seul (les communautés scientifiques recouvrent souvent plusieurs organismes et établissements).

Le CNRS est convaincu, comme la Cour, de la nécessité de rationaliser et mutualiser les infrastructures, avec des incitations financières adaptées. S'appuyer sur les sites significatifs de recherche est certainement plus judicieux que sur les régions, dont l'importance dans le paysage de l'ESR est extrêmement variable. Ainsi 80 % des chercheurs CNRS sont affectés sur 13 sites universitaires, et 90 % sur 19 sites.

La coordination des mésocentres, comme une meilleure articulation des moyens nationaux et régionaux, sont nécessaires. La mise en œuvre butte sur une réalité pragmatique : les mésocentres sont essentiellement financés et opérés par des acteurs locaux tandis que l'Etat peine à promouvoir mutualisation et rationalisation, à défaut de contributions significatives. L'action de GENCI de pilotage de l'Equip@meso est positive, mais finalement limitée par une contribution marginale à l'équipement des mésocentres.

La performance de bout en bout des connexions réseau, seule perçue par l'utilisateur final, est fondamentale. Le modèle actuel, armature centrale Renater et réseaux de collecte, comme l'architecture géographique des réseaux résultent de l'histoire et doivent probablement être réinterrogés en regard de deux éléments :

- *Renater devrait, a minima, assurer la connectivité entre centres universitaires significatifs. On notera qu'en Italie, par exemple, GARR assure la connectivité de bout en bout.*
- *La réorganisation des Régions comme la labélisation des datacentres suggère de repenser l'architecture du réseau, plutôt que promouvoir la montée en performance de l'existant.*

De telles actions supposeraient d'élargir les missions de Renater et de revoir la répartition des financements.

Les chiffres donnés dans la note de bas de page n° 18 sont très difficiles à comparer. Ainsi, le CNRS n'est pas l'hébergeur de la plupart de ses unités de recherche qui bénéficient des services informatiques mis à disposition et financés par la tutelle locale.

Notre compréhension de l'action « équipements structurants pour la recherche » du PIA 3 pour 350 M€ est sa division en trois parties : 126 M€ pour des décisions déjà prises dans le cadre de procédures de gré-à-gré (dont 80 M€ pour la machine de calcul exascale), 90 M€ pour des « projets numériques de modernisation et de transformation », 134 M€ pour des « projets de grands équipements scientifiques ».

Le CNRS partage l'inquiétude de la Cour associée au projet d'une machine française « exascale » dans le cadre du programme EuroHPC : le risque d'assèchement des autres financements liés au numérique, compte tenu des montants en jeu, lui semble important.

**RÉPONSE DU PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL
DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ
ET DE LA RECHERCHE MÉDICALE (INSERM)**

Je confirme que votre analyse reflète globalement l'état des lieux de l'organisation des infrastructures numériques de l'ESR, et que les recommandations que vous formulez sont de nature à renforcer son efficacité ainsi que sa pérennité au service de la recherche.

L'Inserm est conscient des défis techniques, financiers et environnementaux liés aux infrastructures numériques (stockage/calcul/réseau) pour la recherche. Afin d'y répondre, nous avons amorcé une mue depuis 2018. En effet, notre nouveau plan stratégique contient un chapitre sur la science ouverte et sa composante données. Afin de mener à bien cet objectif, nous avons dessiné une stratégie basée sur une offre de services d'hébergement destinée aux unités.

Cette offre s'appuie sur un socle national au CINES (Datacenter national labélisé par le MESRI) complété par une offre locale au plus près des chercheurs, basée sur des Datacenter régionaux (ceux qui obtiendront la labélisation MESRI). Afin de concrétiser cette démarche :

- 1 Nous avons initié une série de rencontres en régions afin d'identifier les besoins et favoriser des synergies entre les besoins et notre engagement dans des projets de datacenters régionaux.*

- 2 *Nous avons rencontré le département « services et infrastructures numériques » du MESRI en octobre. À cette occasion nous avons renouvelé notre engagement total et notre disponibilité (dans la continuité de notre participation depuis 2016 aux CoPil et ateliers InfraNum) pour participer à la construction et au pilotage d'une stratégie ESR partagée.*
- 3 *Nous avons formulé notre soutien à différents projets de Datacenter régionaux dans le cadre de la campagne CPER en cours pour la prochaine période.*

Par ailleurs, la pérennisation de nos données de recherche, et plus généralement des infrastructures qui les portent, constitue un enjeu majeur. Leur soutenabilité budgétaire à long terme pour l'institut devient une variable à suivre et un critère d'arbitrage. Dans l'esprit de la recommandation n° 3, nous identifions les financements récurrents dédiés à l'entretien et au renouvellement des infrastructures numériques pour qu'ils soient portés par le prochain SDN sous la forme d'une programmation pluriannuelle, à l'image de ce qui est fait dans les schémas directeurs de l'immobiliers.

La DSI de l'Inserm reste disponible pour partager son catalogue de services numériques sur un portail national et plus largement pour participer à des réflexions nationales.

Comme évoqué lors de notre précédent échange et dans l'esprit de vos recommandations, l'Inserm s'efforcera à mutualiser et pérenniser ses infrastructures numériques en son sein et plus largement à l'échelle de l'ESR au bénéfice de la recherche biomédicale.

**RÉPONSE DU PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL
DE L'INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (INRIA)**

En préambule, nous tenons à remercier la Cour pour le travail d'enquête et de synthèse qu'a nécessité la rédaction du chapitre « Les infrastructures numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche ».

Nous partageons pleinement le constat de la Cour d'une fragmentation des moyens consacrés par l'ESR aux infrastructures numériques matérielles, que ce soit pour leur développement, leur maintien en conditions opérationnelles ou leur évolution. C'est pourquoi nous avons engagé, à l'échelle d'Inria, une démarche de rationalisation.

Nous regrettons néanmoins que l'analyse de la Cour n'ait pu être étendue aux infrastructures numériques logicielles, qui sont devenues aussi stratégiques pour la souveraineté que les infrastructures matérielles, et qui sont désormais d'un ordre de grandeur de coût comparable.

Enfin, nous souhaitons souligner l'importance d'expérimenter le recours au cloud, pour en estimer l'impact financier et organisationnel, dans un cadre de politique industrielle d'émergence d'une offre française ou européenne dans le domaine (tel que cela est pratiqué depuis plusieurs années aux États-Unis).

Inria partage pleinement le constat de la Cour d'une fragmentation des moyens consacrés par l'ESR aux infrastructures numériques matérielles, et a engagé, à son échelle, une démarche de rationalisation.

Partageant le constat de la Cour sur la fragmentation des moyens consacrés par l'ESR au développement, au maintien en conditions opérationnelles et à l'évolution des infrastructures numériques, nous avons engagé plusieurs actions à l'échelle d'Inria :

- *Inria participe aux projets de mutualisation inter-établissements, avec une implication forte au sein de GENCI, relevée par la Cour, mais aussi plus localement au sein de certains mésocentres, comme à Grenoble par exemple, où les machines de calcul d'Inria sont hébergées au sein de l'UMS GRICAD. De même, Inria participe au comité de pilotage Infranum et partage la volonté de rationaliser les salles machines, les machines de calcul ainsi que le stockage des données nécessaires à ces machines ;*
- *Inria vient de lancer une démarche de mutualisation en interne, pour rapprocher la gestion ainsi que l'offre de services des clusters de centres comme Plafim (Bordeaux), Gulliver (Saclay), NEF (Sophia), et les infrastructures nationales comme Grid'5000/FIT et leur évolution SILECS (sur la feuille de route TGIR), et SLICES, instrument mutualisé à l'échelle européenne par le biais d'une soumission à ESFRI. Cette démarche est rendue possible par des évolutions organisationnelles de l'institut conduites en 2019 : création d'un service national de développement technologique et d'une DSI unique. L'existence même de ces infrastructures nationales prouve qu'il est possible d'avoir une plateforme gérée de manière mutualisée mais qui offre une souplesse des solutions techniques, aussi bien pour des besoins d'expérimentation que de production.*

Cette démarche de mutualisation respecte la pyramide de calcul portée par GENCI : selon les besoins des équipes de recherche, nous les accompagnerons vers des infrastructures nationales dédiées comme GENCI, vers une infrastructure nationale distribuée comme Grid'5000, ou alors vers des infrastructures régionales comme les mésocentres, et in fine vers une infrastructure de centre. Ce choix ne doit plus être dicté par l'origine des financements mais bien par le niveau de service attendu.

Inria regrette que l'analyse de la Cour n'ait pu être étendue aux infrastructures numériques logicielles, qui sont désormais aussi stratégiques et coûteuses que les infrastructures matérielles.

Au-delà des enjeux liés à la nécessaire rationalisation des moyens consacrés aux infrastructures numériques matérielles, Inria tient à souligner l'importance stratégique des infrastructures logicielles, et de l'enjeu d'élargir la réflexion sur les infrastructures numériques à celles-ci.

Chez Inria, les besoins exprimés par les équipes de recherche concernent certes des demandes d'infrastructures matérielles, concernant en priorité le stockage massif de données de la recherche, mais aussi de fortes demandes logicielles. Cela est vrai notamment, mais pas exclusivement, dans le domaine de l'IA.

Ceci n'est bien entendu pas propre à Inria, et explique le succès des offres commerciales en Cloud de type Platform as a Service (PaaS) ou Infrastructure as a Service (IaaS). Ce secteur est dominé par les acteurs américains : Amazon, Microsoft, et dans une mesure un peu moindre, Google. De manière intéressante, certains nouveaux entrants sur ce marché, comme Databricks (également américain), ont même conquis une position forte sur la simple base d'une infrastructure logicielle, déployée sur des infrastructures matérielles appartenant d'autres entreprises.

La création de telles infrastructures logicielles nécessite de disposer en grand nombre de compétences techniques très rares, et représente un coût très significatif, ce qui explique la barrière à l'entrée pour des concurrents de ces grandes entreprises américaines.

Ces offres n'ont, à ce stade, pas percé dans la recherche publique, probablement notamment en raison de l'offre de services interne aux établissements d'ESR. Mais il y a clairement un enjeu fort à rationaliser l'investissement public dans les infrastructures logicielles, aussi bien que dans les infrastructures matérielles. Contrairement aux infrastructures numériques matérielles, cet investissement correspond à des dépenses de personnel et non à des achats.

Inria souhaite souligner l'importance d'expérimenter le recours au cloud, pour en estimer l'impact financier et organisationnel, en lien potentiel avec une politique industrielle de soutien à l'émergence de « champions » telle qu'elle est pratiquée aux États-Unis.

L'enjeu de rationalisation des investissements publics dans les infrastructures logicielles s'accompagne d'un enjeu de souveraineté nationale et européenne.

D'autant qu'aux offres Cloud étrangères susmentionnées sont classiquement associées des services proposés gratuitement pour améliorer l'environnement de travail des utilisateurs, services qui ces derniers relativement captifs. Il s'agit d'applications peu connues du grand public, comme par exemple des services très pratiques de type Jupyter notebook pour programmer directement dans un navigateur web en Julia, Python ou R (cf. Colaboratory de Google). Quand on sait l'importance de ces outils dans le domaine du machine learning, et plus généralement pour les sciences des données, on comprend qu'il y a un enjeu de souveraineté à ce que nos étudiants et chercheurs aient accès à des Jupyter notebooks hébergés dans des clouds académiques français : une fois que l'habitude est prise d'utiliser des services de firmes étrangères faute d'alternatives nationales ou européennes convaincantes, il devient très difficile de changer les pratiques, et ce sont des générations entières d'étudiants qui s'habituent à partager leurs données et leurs codes avec des entreprises étrangères, et qui adoptent leurs standards.

L'ESR pourrait jouer un rôle majeur dans l'émergence d'une offre française ou européenne, au travers de la commande publique. Cette modalité de politique industrielle est pratiquée avec succès aux États-Unis : à titre d'exemple, Databricks a bénéficié à sa création d'un contrat étatique de 10 M€, et, plus récemment, Microsoft vient de signer un contrat de 10 Md\$ avec le Pentagone.

Si l'État lui confiait ce rôle en tant qu'institut national de recherche en sciences du numérique sous double tutelle du ministère de la recherche et de l'industrie, et en tant que coordinateur du plan IA, Inria pourrait porter cette politique pour l'ensemble de l'ESR, et expérimenter, à son échelle, l'impact financier, organisationnel et environnemental d'un tel recours au Cloud.
