



© Christian MOREL / LIPN / CNRS Images

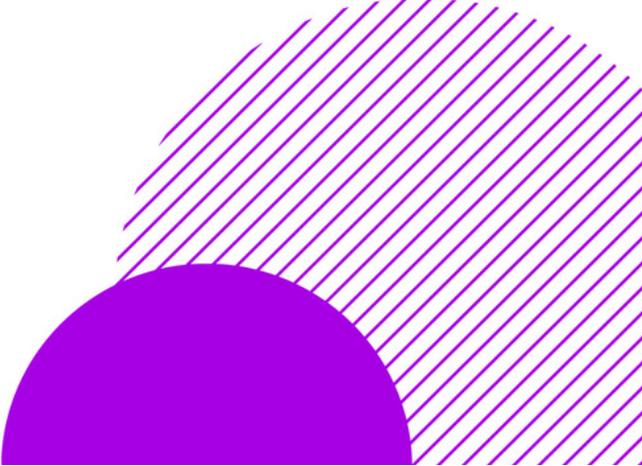
**CSI
INS2I**

2023

RAPPORT DE PROSPECTIVE

CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

Comité national de la recherche
scientifique



Rapport de Prospective du Conseil Scientifique de l'Institut des Sciences Informatiques et leurs Interactions (INS2I)

Novembre 2023

Gilles SASSATELLI *Président*; Maël LE TREUST *Secrétaire scientifique*; **Bureau** :Xavier URBAIN, Thierry ARTIERES, David ILCINKAS, Myriam CAUDRELIER; **Membres** : Caroline APPERT, Jocelyn CHANUSSOT, Giuseppe DI MOLFETTA, Caroline FONTAINE, Elisa FROMONT, Laetitia JOURDAN, Daniel LE BERRE, Dominique MARTINEZ, Silviu-Iulian NICULESCU, Luc PRONZATO, Jean-Luc SCHWARTZ, Sylvie SERVIGNE, Christine TASSON, David TREBOSC, Marilena VENDITTELLI

1 Préambule

Le Conseil Scientifique d'Institut (CSI) de l'INS2I est une instance du Comité National (CoNRS) qui est adossée à cet institut. Composé de 12 membres élus représentant les 3 collèges ainsi que de 12 membres nommés, il joue un rôle consultatif à travers les conseils qu'il émet à l'attention de l'INS2I, de la direction de l'organisme et plus largement à divers acteurs du paysage de l'ESR et au-delà, en particulier par le biais de motions qu'il vote et publie sur son site internet¹. Le CSI se réunit quatre fois par an et inscrit ses travaux et sa réflexion en concertation avec les sections 06 et 07 du Comité National ainsi qu'avec les sections interdisciplinaires CID51 et CID55 qui, ensemble, structurent le paysage scientifique de l'institut et ses interfaces. Le présent rapport de prospective conclut le mandat 2019-2023 et a pour vocation de reprendre et projeter une vision à l'attention de l'institut, de l'organisme et du Comité National, mais également à l'attention des communautés scientifiques relevant du champ disciplinaire de l'institut.

1. <http://csi-ins2i.cnrs.fr>

Table des matières

1	Préambule	1
2	Objectif du document et méthodologie	3
3	Le spectre disciplinaire des sciences informatiques	4
4	Quelques réalisations et grandes tendances scientifiques	5
5	Impacts sociétaux	14
5.1	Sciences informatiques et responsabilité environnementale	14
5.1.1	Les sciences informatiques dans la solution (<i>green-by-IS</i>)	14
5.1.2	Les sciences informatiques dans le problème et les solutions proposées (<i>green IS</i>)	15
5.1.3	Bouleversements possibles et débats nécessaires	16
5.1.4	Possibles préconisations, notamment pour l'INS2I	18
5.2	Souveraineté, confidentialité et sécurité ; libertés individuelles et surveillance	18
5.2.1	Protection des structures et protection des libertés individuelles	19
5.2.2	Acceptabilité des décisions algorithmiques	20
5.2.3	Contrôle de l'information	20
5.2.4	Préconisations	21
5.3	Impact des systèmes cyberphysiques	21
5.3.1	Les enjeux des recherches associées aux systèmes cyberphysiques	22
5.3.2	Points de vigilance associés aux systèmes cyberphysiques	23
5.3.3	Conclusions et recommandations	24
5.4	Sciences informatiques, santé & dépendance	25
5.4.1	Les enjeux des recherches en santé numérique	25
5.4.2	Points de vigilance en santé numérique	27
5.4.3	Conclusions et préconisations	28
5.5	Culture scientifique : numérique & enseignement	28
5.5.1	L'informatique comme une discipline du secondaire au supérieur	28
5.5.2	Pédagogie et outils numériques	29
5.5.3	Fracture numérique dans la société	29
5.5.4	Futur des métiers des sciences informatiques	30
5.5.5	Possibles préconisations, notamment pour l'INS2I	30
5.6	Le cas de ChatGPT	30
6	Conclusions et recommandations	31
6.1	Un contexte fort	31
6.2	Des pressions croissantes	32
6.3	Des lieux de débats	32
6.4	Sciences informatiques et responsabilité	33
6.5	Rôle du Conseil Scientifique d'Institut dans l'écosystème CNRS	33
7	Remerciements	34
	Annexe 1 : lexique	36
	Annexe 2 : recommandations émises durant la mandature	37

2 Objectif du document et méthodologie

Les sciences informatiques et leurs interactions ont un effet profondément transformatif sur nos sociétés contemporaines. À l'heure où ces lignes sont rédigées, l'accélération du phénomène est déjà sensible : l'actualité fournit des illustrations régulières, quasi-quotidiennes, des profondes mutations induites par diverses sciences de l'information telles que l'intelligence artificielle, la robotique, les technologies immersives comme la réalité virtuelle, ou encore l'informatique quantique pour n'en citer que quelques-unes. Les impacts immédiats s'entendent sur divers plans sociétaux et civilisationnels et concernent aussi bien l'économie, la géopolitique, l'environnement que les questions de souveraineté, de libertés individuelles ou encore de santé. Ce constat est aujourd'hui largement partagé et on note une volonté nette de structurer et rationaliser les liens entre science et société en s'appuyant sur une approche orientée missions à travers des objectifs identifiables et mesurables, volonté récemment illustrée par la communication de la Commission Européenne sur les *Missions Européennes*².

Si la rédaction d'un rapport de prospective scientifique relève d'une obligation statutaire des Conseils Scientifiques d'Instituts du CNRS, celui de l'INS2I a souhaité, en accord avec la direction de l'institut, construire une réflexion s'articulant autour de grandes questions de société. Ce choix d'articuler notre rapport autour des impacts sociétaux participe d'une démarche qui nous semble indispensable pour contribuer à restaurer une certaine confiance dans la parole scientifique, aujourd'hui très ébranlée. Nous souhaitons par là-même souligner nos inquiétudes, mais aussi nos espoirs, quant aux perspectives qui se dessinent à l'horizon de la fin de cette décennie et au-delà. Il nous apparaît également important d'évoquer les questions d'éthique scientifique, de prise de parole scientifique, et de détourner les responsabilités de la science face aux grands défis de notre temps. Nous jugeons ce dernier point crucial et souvent source d'incompréhensions, aussi faut-il clairement l'affirmer : l'argument de l'avancée scientifique ne peut en aucun cas servir de point d'appui exclusif à des programmes de développement technologique dont les réelles motivations ont parfois d'autres racines, économiques notamment³. Au vu de l'envergure de leur impact, certains choix de développement mériteraient des débats impliquant l'ensemble de la société civile⁴ (voir le § 5.1.3 pour ce qui touche au contexte de la crise climatique).

Nous distinguons ainsi plusieurs grands sujets dans lesquels les sciences informatiques jouent ou sont amenées à jouer un rôle de premier plan, indépendamment ou conjointement avec d'autres disciplines du paysage scientifique. La mise en perspective proposée dans ce rapport s'inscrit ainsi dans une volonté de souligner des préoccupations et opportunités quant aux transpositions de ces sciences en applications, à l'aune des pas de géants réalisés par certaines disciplines comme l'intelligence artificielle, et à leurs projections sur d'autres en émergence, telle que l'informatique quantique.

Ce travail s'est inscrit dans la durée et s'appuie largement sur des consultations qui ont significativement nourri et enrichi notre réflexion. En particulier, les différents GdR (Groupements de Recherche) associés à l'INS2I nous ont apporté largeur et profondeur dans la réflexion menée et nous les remercions chaleureusement pour leurs nombreuses contributions de grande qualité.

Préalablement à ces consultations, le conseil scientifique a défini cinq thèmes, avec autant de groupes de travail en charge de l'animation des débats, de la construction du message et de sa rédaction :

1. Sciences informatiques et responsabilité environnementale,
2. Souveraineté, confidentialité et libertés individuelles,
3. Impact des systèmes cyberphysiques,
4. Sciences du numérique, santé et dépendance,
5. Culture scientifique : numérique et enseignement.

Pour chacun de ces thèmes, la réflexion est construite autour de sujets identifiés, des disciplines scientifiques participant à leur essor et des impacts sociétaux, qu'ils soient positifs ou négatifs, actuels

2. <https://www.horizon-europe.gouv.fr/presentation-des-missions-europeennes-31696>

3. Voir par exemple l'ouvrage collectif « Débrancher la 5G ? », éditions Ecosociété, 2022, pour une mise en regard des arguments de progrès technologique et de gains d'efficacité avec les fondements économiques et financiers de la décision.

4. L'ouvrage « Technologies partout, démocratie nulle part », Y. Benayoun et I. Régnault, FYP éditions, 2020, permet par exemple de mesurer l'ampleur des besoins en la matière.

ou potentiels. Des points de vigilance sont également mentionnés le cas échéant, ainsi que des opportunités scientifiques naissantes qui seraient de nature à contribuer positivement à ce sujet, la prise en compte d'impacts négatifs ou de point de vigilance pouvant être source de motivation pour l'ouverture de nouveaux champs de recherche.

Après avoir précisé le spectre disciplinaire de l'institut (§ 3), nous proposons un énoncé (non exhaustif) de grandes avancées réalisées ces dernières années (§ 4), puis abordons dans le § 5 les impacts sociétaux des sciences informatiques, avant de conclure ce rapport dans le § 6 en émettant quelques recommandations.

3 Le spectre disciplinaire des sciences informatiques

Dans l'ensemble du rapport, la dénomination « *sciences informatiques et ses interactions* » (ou de façon plus concise « *sciences informatiques* ») doit être prise dans son acception la plus large, comme couvrant l'ensemble du spectre disciplinaire de l'INS2I, c'est-à-dire celui des sections 06 et 07 ainsi que des sections interdisciplinaires CID51 et CID55 du CoNRS.

Ceci recouvre l'ensemble des recherches en informatique et sciences de l'information comprenant des thématiques telles que l'algorithmique, le calcul, les sciences du logiciel, les réseaux et systèmes distribués, l'intelligence artificielle, le traitement automatique du langage et des langues, l'informatique graphique, la cybersécurité, l'informatique quantique, les sciences des données, le traitement du signal et des images, l'automatique, la robotique, les interactions humain-machine, la vision par ordinateur, les architectures intégrées matériel-logiciel, la bioinformatique, les neurosciences computationnelles, l'analyse de données génomiques, etc.

Nous voulons tout d'abord souligner que si les sciences informatiques ont naturellement de riches interfaces de par leurs applications ubiquitaires, leur propos ne se limite pas pour autant au développement d'outils, aussi indispensables soient-ils, au service d'autres sciences, ou à la transposition en codes numériques de modèles ou formalismes mathématiques. D'une part, certains axes de recherche (logique, théorie des graphes, cryptographie, etc.) mènent depuis longtemps leur existence propre à côté du champ des mathématiques ; d'autre part, l'émergence de problématiques directement liées à la numérisation de l'information a fait naître de nouveaux champs de recherche pour lesquels l'avancée du front des connaissances figure parmi les objectifs premiers, au-delà de leurs retombées applicatives : théorie de l'information, optimisation, théorie de l'apprentissage, avec des noms emblématiques comme C. Shannon, A. Turing, J. Von Neumann, N. Wiener, etc.

Ainsi, l'étendue disciplinaire des sciences informatiques dans leurs interfaces est considérable et couvre, souvent en interaction avec d'autres disciplines, l'ensemble des champs de la connaissance impliqués dans ce qu'on appelle communément « le numérique », sous toutes ses formes, depuis ses fondements théoriques jusqu'aux incarnations à l'interface avec le monde physique. Les sciences informatiques sont omniprésentes et incontournables dans l'intégralité du paysage scientifique au CNRS, de la biologie à la physique des particules en passant par la chimie et les sciences humaines et sociales (SHS). Non seulement elles constituent le socle de validation de théories par la transposition en simulation d'expérimentations *in situ*, mais elles contribuent également à l'élaboration de théories, en révélant par exemple l'existence de corrélations, voire de causalité, entre phénomènes à partir de l'analyse de grandes masses de données. Que ce soit en physique ou en sciences du vivant, la mise en œuvre de codes de simulation s'appuyant sur des modèles mathématiques de complexité croissante permet d'approcher la réalité de phénomènes en les explorant plus intensément. Leur modélisation précise permet d'évaluer l'impact de divers événements ou de tester des configurations risquées mais prometteuses en termes de performance, sans nécessiter la mise en œuvre d'expérimentations *in situ* ou la construction de prototypes. La nature des systèmes étudiés est ainsi très large, allant de systèmes informatiques ou physiques, macro ou microscopiques, à des systèmes biologiques ou des écosystèmes variés, et jusqu'aux organisations humaines et sociales dans tous leurs aspects. En conséquence, ce spectre scientifique s'organise largement en interaction intime avec d'autres sciences, comme les sciences du vivant, les sciences cognitives ou les sciences de la vie et de la terre, pour lesquelles aujourd'hui les sciences informatiques ne constituent plus uniquement un ensemble d'outils mais s'agrègent souvent pour former

des thématiques scientifiques propres reconnues⁵, la bioinformatique et le calcul neuromorphique en étant deux exemples prégnants.

4 Quelques réalisations et grandes tendances scientifiques

Des avancées significatives ont été réalisées ces dernières années dans de nombreuses disciplines relevant du champ scientifique de l'INS2I, ou à l'interface avec celui-ci. Bien qu'un énoncé exhaustif de ces avancées du front de la science ne soit pas le propos de ce document, il convient cependant d'asseoir le message scientifique de ce rapport à travers *certaines* illustrations des progrès réalisés qui sont à l'origine des mutations discutées dans le paragraphe suivant.

L'Intelligence Artificielle dans toutes ses dimensions. Les avancées en Intelligence Artificielle (IA) et particulièrement en apprentissage automatique et statistique⁶ s'enchaînent à un rythme effréné, avec des innovations notables quasi-hebdomadaires. Il convient certainement de mentionner les IA génératives reposant sur l'apprentissage profond qui occupent le devant de la scène médiatique, avec une succession de modèles qui ont étonné par leurs capacités, tels que les GAN (réseaux antagonistes génératifs) ou bien évidemment les *transformers*. À l'heure de la rédaction de ce rapport, la généralisation des modèles « fondation » qui permettent de décliner des solutions dans divers domaines est un phénomène d'une ampleur étonnante. Les applications s'entendent en traitement d'image (modèles de diffusion au cœur d'outils comme *Dall.E* ou *Midjourney*) et bien au delà, avec l'apparition de modèles convaincants capables de produire des vidéos. En traitement du langage naturel (TAL) ainsi qu'en génération, les modèles de langage géants (LLM : *Large Language Models*), tels que ChatGPT et les modèles sous-jacents tels que GPT4 d'OpenAI, Llama de Meta etc., sont au cœur de l'actualité. Une tendance forte, partiellement motivée par la philosophie « science ouverte », repose sur les modèles libres dont les paramètres sont disponibles pour tous. Une initiative d'ampleur s'inscrivant dans ce prolongement est le projet BigScience, appuyé par le CNRS et la communauté française, qui a donné lieu au modèle multilingue Bloom, entraîné sur le supercalculateur Jean Zay porté par l'INS2I. Les avancées en apprentissage montrent des performances non moins étonnantes dans divers champs applicatifs, comme l'assistance et la génération de code avec Microsoft Copilot, mais aussi en reconstruction d'images et de scènes 3D. D'autres champs d'application ont connu des avancées remarquables grâce à des modèles spécifiques, c'est le cas pour les véhicules autonomes, et les domaines de la biologie, de la santé, de l'environnement et du climat qui ont également été impactés. Ainsi, des progrès significatifs sont à relever en bio-informatique, pour le séquençage massif et l'étude de la biodiversité et des pathogènes, avec des retombées directes en génomique, transcriptomique, épigénétique, protéomique, métabolomique, etc. On note également d'important progrès en synthèse de molécules et étude de propriétés physico-chimiques avec l'apparition de modèles prometteurs pour des applications en santé, thérapeutique et pharmacologie.

Des percées significatives sur les volets sécurité, confiance, explicabilité interpellent pour de nombreux cas d'usage, par divers impératifs de qualification, de robustesse aux attaques (adverses) ou encore de protection de la vie privée. Ici des disciplines telles que l'IA symbolique, en particulier la représentation des connaissances, viennent en appui de l'apprentissage automatique pour des progrès déjà visibles (via par exemple le développement de méthodes hybrides d'apprentissage symbolique / numérique) et des avancées majeures sont à anticiper dans les prochaines années.

Un autre sujet important et d'actualité concerne la notion de frugalité, avec un quasi consensus sur le besoin de progresser dans la lutte contre la boulimie computationnelle des modèles d'apprentissage automatique à l'œuvre. Cette ambition est appuyée par des travaux montrant incontestablement le potentiel très significatif de réduction de la taille des modèles à performance équivalente. La tendance de fond vers l'IA à la périphérie (*Edge AI*) impulsée par la volonté de disposer de solutions applicatives distribuées au plus proche de l'usage (et pas hébergées) motive également des recherches connexes

5. Nombre de ces thématiques sont inscrites dans les CID51 et CID55.

6. Kate Crawford, "The atlas of AI : Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence", Yale University Press, 2021 : <https://www.sydney.edu.au/engage/events-sponsorships/sydney-ideas/2021/kate-crawford-atlas-of-ai.html>

sur le sujet de l'efficacité énergétique, des supports de calculs adéquats et, par extension, des modèles utilisés pour l'apprentissage. Ainsi, des modèles de calcul émergents, exploitant des fondements mathématiques puisant dans la physique fondamentale (Inférence Bayésienne, EBM) ou bien dans la biologie et les neurosciences (réseaux à impulsion) et considérant des approches d'apprentissage différentes telles que l'apprentissage fédéré, la multimodalité, l'apprentissage continu/incrémental, l'IA autonome, sont à mettre en exergue, avec des premiers résultats très encourageants obtenus par les communautés. Ces recherches posent les bases de ce que sera l'IA de demain, une IA de confiance, sobre énergétiquement et responsable.

Gestion des données massives. La gestion des données massives est au cœur de nombre de révolutions du numérique au sens large, et en particulier l'apprentissage automatique pour lequel la disponibilité de données massives, de qualité et annotées est incontournable. Les environnements de stockage et de calcul virtualisés sont actuellement souvent fournis par des acteurs privés (Google Colaboratory, Kaggle, Databricks, Amazon AWS, Microsoft Azure) toutefois la politique française centrée sur des nœuds majeurs (souvents opérés par GENCI) et des mésocentres fournit une alternative de qualité pour la recherche académique. Appuyée par une montée en maturité des solutions *open source*, la solidité de cette alternative est notamment démontrée par des initiatives d'ampleur comme le projet BigScience. Ces solutions sont nécessaires non seulement pour le stockage de données « typiques » mais également pour celles de nature spécifique et non moins volumineuses, comme pour les séquençages ADN. La création de connaissances sur ces données massives et souvent non structurées appelle des recherches sur des techniques d'extraction de connaissances, et sur les structures sous-jacentes, souvent en graphes, permettant le stockage et la mise en place de moteurs de recherche efficaces. La question de l'interaction avec ces données, de leur représentation et visualisation, aussi bien à l'échelle individuelle que collective, joue également un rôle important. Au-delà des données produites par des spécialistes ou par des réseaux de capteurs dédiés, on assiste à un élargissement extraordinaire des données produites par des utilisateurs (dont une grande partie produite de manière inconsciente) par le biais de la numérisation de leurs activités quotidiennes. Ces masses de données sont souvent référencées spatialement et temporellement, donc souvent géographiques, collectées à partir de processus conventionnels ou non (cartographie volontaire VGI – *Volunteered Geographic Information*), de la multiplication des capteurs à toutes échelles, de vastes réseaux sociaux, de la mobilité numérique et d'observatoires scientifiques. Elles amènent de nouvelles problématiques de recherche autour du GéoWeb et de la GéoDataScience (comme la GéoDataViz, la GéoVisualAnalytics). L'émergence de modèles Web 3D voire nD en parallèle des représentations 2D permet d'envisager, par exemple, une meilleure compréhension de l'évolution de nos villes et territoires et la projection de scénarios d'évolution et de phénomènes naturels ou humains au regard d'enjeux comme ceux liés au climat par exemple. Ces nouveaux modèles accroissent cependant la complexité des IHM, des traitements et des architectures informatiques (modélisation, indexation, intégration, interrogation, extraction, visualisation, navigation inter-dimensionnelle) en raison de la masse de données bien sûr mais aussi en raison de la constante évolution des normes et formats. D'autres questions plus larges, au niveau scientifique comme au niveau sociétal, sont soulevées autour de ces masses de données et requièrent des approches pluridisciplinaires : pérennité du stockage (stockage de l'information sur ADN⁷ ou sur polymères), fiabilité des données (sources, généalogie, qualité, fraîcheur), modélisation de la valeur des données et du partage de cette valeur, gouvernance de ces données (sujet majeur notamment dans les grandes organisations socio-productives et les États) et de leur préservation — ce qui fait patrimoine ou non, le *Born Digital* — ou encore gouvernance des territoires par les données. Le Géoweb est, par exemple, au cœur de questionnements sur la souveraineté et la régulation informationnelle des territoires au niveau international.

Informatique et cryptographie quantique. Ces dernières années a été observée une croissance rapide du développement d'algorithmes quantiques dans le domaine de la simulation quantique, des méthodes d'optimisation, de la recherche, de la factorisation. Une nouvelle et récente tendance se tourne

7. Voir les travaux menés au sein du PEPR exploratoire MoleculArXiv, piloté par le CNRS, sur le stockage de données massives sur ADN et polymères artificiels et la médaille d'innovation <https://www.cnrs.fr/fr/presse/cnrs-decouvrez-les-laureats-2023-de-la-medaille-de-linnovation>

vers des procédures d'optimisation heuristiques, pour tenir compte des forces et des limites du matériel et pour tirer parti des progrès réalisés dans les techniques d'optimisation conventionnelles. La vague d'approches qui en résulte utilise généralement une rétroaction entre un dispositif quantique et un ordinateur conventionnel. Des stratégies d'atténuation des erreurs peuvent être incluses dans la boucle d'optimisation quantique. Dans la littérature, cette famille de méthodes comprend les algorithmes quantiques variationnels, les solveurs quantiques variationnels (en particulier dans le contexte des problèmes de simulation quantique), les algorithmes d'optimisation approximative quantique, les algorithmes hybrides quantiques-classiques et d'autres méthodes d'*Ansatz*⁸. Parmi les plus récents champs d'application on peut mentionner l'apprentissage automatique quantique qui a connu un important développement. Un autre défi récent est posé par les réseaux et les architectures distribuées qui pourraient former un partenariat mutuellement bénéfique dans un avenir proche avec le calcul quantique. D'une part, il est plus facile de construire un certain nombre de petits ordinateurs quantiques plutôt qu'un seul grand. D'autre part, en exploitant les effets de la mécanique quantique tels que la superposition et l'intrication, un ordinateur quantique peut s'attaquer à des classes de problèmes, dans le domaine du calcul distribué, qui sont hors de portée des machines conventionnelles. Un exemple paradigmatique est donné par les solutions quantiques de l'élection du leader, où l'élection du leader est résolue sans communication, à condition qu'un certain enchevêtrement pré-partagé soit déjà en place. Bien qu'en théorie l'algorithmique quantique distribuée semble prometteuse et réalisable, on ne sait toujours pas comment maintenir des états intriqués robustes à grande échelle.

Enfin, il existe des liens entre quantique et sécurité qui se déclinent de deux manières. La première concerne la réalisation d'ordinateurs quantiques lesquels permettraient de mettre en œuvre des attaques efficaces contre la plupart des systèmes de chiffrement et signature classiques. C'est pourquoi les cryptographes se concentrent sur la conception d'algorithmes dits post-quantiques, qui résisteraient à de telles attaques. Nous en parlerons plus loin. L'autre application de la physique quantique à la sécurité concerne l'utilisation des photons comme support pour permettre des échanges de clés secrètes qui peuvent ensuite servir pour du chiffrement symétrique. Ces techniques offrent un avantage énorme par rapport aux échanges de clés classiques car elles pourraient permettre à terme l'utilisation de la technique de chiffrement du masque jetable, qui nécessite des clés aléatoires de très grande longueur mais offre une sécurité inconditionnelle. Des expérimentations d'ampleur ont d'ores et déjà été réalisées mais la recherche se poursuit, à l'interface de l'informatique et de la physique, pour répondre aux questions techniques soulevées tant pour la conception et le déploiement de cette technologie que pour la recherche d'attaques nouvelles s'appuyant sur des propriétés spécifiques.

Interaction Humain-Machine. Les contextes d'utilisation des systèmes informatiques sont en constante mutation, en raison de l'évolution de l'espace technologique, de la nature des usages et de l'organisation des utilisateurs. L'Interaction Humain-Machine (IHM) étudie le phénomène qui se produit au sein d'un système composé de dispositifs numériques, d'êtres humains et de données manipulées. Cela implique notamment des travaux sur les aspects de la perception, de l'action, de la cognition et de l'organisation sociale.

Les dispositifs numériques évoluent rapidement. Les avancées dans les environnements immersifs ou mixtes sont nombreuses. La démocratisation de certaines nouvelles plateformes, telles que les casques de réalité augmentée ou de réalité virtuelle, permet de réduire la distance entre le virtuel et le réel en plaçant du contenu virtuel directement dans l'environnement. Les progrès en IHM pour ces environnements immersifs passent à la fois par l'étude des visualisations immersives et situées, ainsi que par l'évolution des modalités d'entrée (notamment la manipulation à main nue avec un potentiel retour haptique se rapprochant de la manipulation d'objets physiques) et des modalités de sortie potentiellement multisensorielles (au-delà de la vue et de l'ouïe, on peut également stimuler l'odorat ou le goût). Ces nouveaux environnements présentent des avantages directs dans des domaines tels que la santé, l'éducation ou l'organisation du territoire. Certains alimentent même l'idée, potentiellement discutable, d'un monde virtuel où nous pourrions évoluer via des avatars (un « Métavers »). Les agents virtuels deviennent, d'ailleurs, de plus en plus réalistes grâce aux progrès en rendu graphique et en intelligence artificielle. En outre, au-delà des systèmes immersifs, la définition même d'un système interactif est

8. Méthodes reposant sur des conjectures exploitées en informatique quantique.

mouvante avec le développement de solutions telles que le textile interactif, les objets interactifs, ou les solutions de fabrication permettant de produire des objets personnalisés (approche dite *Do It Yourself* - DIY). La forme d'un système interactif est désormais très ouverte.

Les données évoluent également rapidement. La gestion des données massives pose des questions d'interprétation, de représentation et d'analyse par l'humain, qui sont l'objet de nombreuses contributions en visualisation de l'information. La possibilité d'interagir par le biais du langage naturel a connu un essor phénoménal grâce aux avancées dans les modèles de langage naturel (LLM). Les progrès en IHM développent des systèmes où les humains et les machines collaborent efficacement pour des tâches impliquant l'analyse de données complexes et hétérogènes, mais aussi pour d'autres tâches telles que la programmation et d'autres tâches créatives.

Les humains évoluent également dans leurs modes de travail, avec une augmentation du travail collaboratif entre des utilisateurs répartis géographiquement. La pandémie de COVID-19 et l'urgence climatique ont accéléré l'utilisation de plateformes de collaboration. Les travaux sur la collaboration à distance profitent à de nombreux domaines, y compris des domaines critiques tels que la santé ou la gestion de crise, où les experts peuvent se trouver éloignés du lieu d'expression des besoins. Enfin, au-delà des avancées technologiques constantes, l'IHM joue également un rôle inclusif des humains tels qu'ils sont. Les progrès visant à renforcer l'accessibilité des systèmes, à concevoir des environnements intelligents pour les personnes vieillissantes ou à développer des interactions basées sur l'activité cérébrale sont autant d'exemples de contributions visant à réduire la fracture numérique au sein d'une population diversifiée.

Traitement du signal, de l'image et communications numériques. Ces disciplines sont à présent confrontées aux nouveaux défis que posent le gigantesque volume des données à traiter ainsi que la grande dimension (multimodalité) de celles-ci. Par exemple, en astrophysique, le télescope spatial James Web est équipé de nombreux capteurs pour lesquels les nouveaux traitements permettent d'obtenir des images d'objets célestes avec une résolution incomparable. Le flux de données généré par le projet de radiotélescope géant (Square Kilometre Array - SKA) serait de l'ordre du trafic mondial. À ce sujet, la conception des antennes devient un enjeu crucial. De nouvelles opportunités apparaissent ainsi pour explorer des techniques innovantes.

L'un des fils conducteurs des recherches en cours concerne la réduction de la dimension. Différentes approches permettent d'y parvenir, que ce soit par l'utilisation de décompositions tensorielles ou de représentations parcimonieuses, des outils de géométrie de l'information, ou des traitements sur graphes et/ou distribués. D'importantes contributions ont été réalisées au sujet des grandes matrices aléatoires pour les communications, les traitements radar, les antennes massives, etc.

En parallèle, nous assistons à la naissance de nouvelles thématiques, comme par exemple le codage pour le stockage sur ADN ou sur polymères qui doit prendre en compte de nouveaux types de contraintes. D'autres, plus anciennes, ré-émergent, comme c'est le cas pour les communications sécurisées ou confidentielles ou pour les processus déterminantaux qui s'avèrent d'une grande utilité dans les problèmes d'échantillonnage. Plus récemment, la communication sémantique permet d'encoder de l'information en tenant compte d'éventuelles requêtes d'apprentissage ; les outils de traitement du signal et de la théorie de l'information (information mutuelle, divergence de Kullback-Leibler...) sont largement utilisés pour détecter des causalités, analyser la sensibilité, et caractériser le fonctionnement des modèles d'apprentissage.

Ce dernier sujet forme aujourd'hui une thématique transverse qui structure la communauté. Sur le versant optimisation, les méthodes proximales ont permis de développer des algorithmes extrêmement efficaces et d'assurer une garantie de leur performance grâce à une analyse fine de leur comportement et de la consommation énergétique. Sur le versant applicatif, de nouveaux champs se présentent, que ce soit en imagerie médicale ou satellitaire, en biologie, en communications numériques (allocation de ressource en MIMO massif, surfaces intelligentes reconfigurables). Une convergence s'opère ainsi entre disciplines théoriques et apprentissage, guidée par la physique des problèmes, et une véritable alliance se noue entre les compétences métiers en traitement du signal, image, communications, et une connaissance experte des stratégies d'apprentissage.

Sûreté, sécurité, confiance. Les défaillances des systèmes informatiques coûtent considérablement à la société. Avec un poids sur les économies nationales toujours important, les problèmes dans le logiciel peuvent aussi parfois mener à la tragédie. C'est un sujet qu'on ne peut bien sûr pas ignorer. Au niveau de la recherche, cette problématique est transverse, à l'échelle de l'apport des systèmes informatiques dans la plupart des disciplines.

Les défaillances peuvent être catégorisées en fonction de leur origine. Une première famille concerne les problèmes dûs à des erreurs d'implantation ou de conception, c'est-à-dire la sûreté de fonctionnement. Une deuxième famille rassemble les fautes provoquées par un attaquant, c'est le registre de la sécurité. Une troisième famille, enfin, s'inscrit dans le cadre global de l'IA de confiance et résulte de divers facteurs comme les comportements inattendus des programmes reposant sur l'apprentissage automatique : qu'ils soient soumis à un entraînement supervisé ou non, ces programmes doivent proposer des réponses correspondant à ce qu'on en attend et dans certains cas pour les raisons qu'on attend.

En ce qui concerne la sûreté de fonctionnement, c'est-à-dire la vérification du bon comportement des programmes, tant pour le respect des conditions nominales que de la correction fonctionnelle, on peut souligner la montée en puissance des méthodes formelles. Les approches utilisant des assistants à la preuve, outils logiciels permettant de garantir qu'une preuve est correcte, passent maintenant à l'échelle. Au-delà de preuves de concepts, même remarquables comme la preuve du fameux théorème des quatre couleurs, la preuve formelle assistée a récemment atteint des objectifs considérés naguère inaccessibles : compilation certifiée (CompCert avec Coq), vérification d'un micro-noyau (SeL4 avec Isabelle/HOL)... et dans le contexte de mathématiques très jeunes, la preuve formelle en 2022 du théorème principal des espaces vectoriels liquides de Clausen et Scholze⁹ (Liquid Tensor Experiment avec Lean). Ces succès assurent en filigrane une percolation des bénéfices des approches formelles dans des milieux qui n'en sont pas spécialistes, répondant en cela à une demande de plus en plus pressante de grands acteurs et à une légitime attente de la société en termes de responsabilité du monde du logiciel.

Les approches par analyse statique ne sont pas en reste, proche de la maturité dans le cadre du model-checking probabiliste, elles s'attaquent désormais, en composant leurs approches (model-checking, solveurs modulo théories, etc.) à la vérification des réseaux de neurones, aujourd'hui omniprésents.

La notion de confiance est centrale dans les travaux mentionnés dans ce paragraphe : confiance dans un appareil, dans la véracité des informations fournies ou transmises, dans une image médicale ou satellite ou encore servant pour de la biométrie, etc. La frontière entre sûreté et sécurité est parfois fine, même si les objectifs sont différents. Quand on parle de sécurité, on considère qu'un adversaire va mener une attaque sur un appareil, un système, un réseau, une infrastructure, avec une intention malveillante. L'objectif de l'attaquant peut être d'empêcher un service informatique ou une infrastructure de fonctionner, ou encore de voler des données sensibles (personnelles, de santé, financières, ou d'intérêt stratégique/économique/politique). Il exploite pour cela une faille, qui peut se trouver à n'importe quel niveau : algorithmique, logiciel, système, matériel. Assurer la sécurité demande donc d'englober cette dimension plurielle et nécessite des interactions entre des champs disciplinaires variés : cryptographie, méthodes formelles, système, logiciel et compilation, réseau, matériel, IA, multimédia, etc.

Les approches formelles mentionnées plus haut offrent aussi des réponses dans ce contexte malveillant, formalisant et automatisant les actions possibles de l'attaquant. Certains outils permettent par exemple aujourd'hui d'analyser des programmes binaires pour y déceler la présence de trappes ou composants malveillants de type virus ou chevaux de Troie. D'autres permettent d'analyser des protocoles cryptographiques, de plus en plus gros, qui font partie de notre quotidien et doivent assurer confidentialité des informations sensibles et personnelles, authenticité des données et personnes, et intégrité des communications. Des exemples typiques de tels protocoles sont TLS, Signal, ou encore les protocoles de vote électronique. Ces protocoles s'appuient sur des briques de base cryptographiques, dont certaines sont standardisées et d'autres se développent suite aux besoins émergents, comme le besoin de s'adapter à des architectures légères pour les objets connectés, à la déportation de données sensibles dans le Cloud, ou encore à la menace d'attaques exploitant les ordinateurs quantiques. La communauté française s'est particulièrement distinguée en étant partenaire de tous les finalistes de la compétition

9. Peter Scholze est récipiendaire de la médaille Fields en 2018.

internationale du NIST ¹⁰ qui s'est déroulée depuis 2016 ¹¹. Elle est également très active et à la pointe sur de nombreuses techniques de cryptanalyse mêlant savoirs-faire mathématiques, algorithmiques et d'optimisation allant jusqu'à la réalisation d'outils performants menant à des records mondiaux (crible algébrique / cado-nfs, cryptanalyse différentielle avancée, résolution de problèmes difficiles liés à la sécurité post-quantique / fpLLL, etc.). Une autre contribution marquante en cryptographie est toute la dynamique qui accompagne le développement de techniques de chiffrement avancées (homomorphe, fonctionnel) permettant d'effectuer des calculs ou traitements sur des données chiffrées, et permettant donc de les protéger y compris lorsqu'elles sont impliquées dans des traitements ou serveurs externalisés. Les progrès réalisés tant en théorie qu'en pratique ont été énormes ces dernières années dans ce domaine.

Mais pour appréhender la sécurité de ces techniques on ne peut faire abstraction de leur implémentation logicielle, ni des répercussions de leur exécution sur les composants matériels qui constituent les appareils. De nombreux travaux envisagent cette dimension matérielle, en analysant les fuites de données qui résultent d'attaques par canaux auxiliaires ou encore d'attaques par injection de fautes. Le matériel est également une source précieuse pour apporter de la sécurité via la production de données aléatoires (pour les primitives cryptographiques probabilistes, pour éviter les attaques par rejeu ou la copie de composants ou données sensibles).

Robotique. Au-delà de l'engouement général autour de la robotique, notamment humanoïde, souvent adossée à l'intelligence artificielle, de nombreuses tendances et avancées sont à relever ces dernières années dans ce domaine. Les robots souples et continus (serpents par exemple) font l'objet de nombreuses recherches, au même titre que la robotique mobile, modulaire ou encore les essaims de robots (*swarm robotics*). De telles réalisations sont porteuses de promesses applicatives dans de nombreux domaines allant de la robotique médicale à l'exploration spatiale en passant par les tâches de maintenance en environnement difficile ou encore l'agriculture. Naturellement l'apprentissage automatique est au premier plan à la fois pour les questions de perception mais aussi de contrôle, comme par exemple l'apprentissage par renforcement mené dans des environnements simulés préalablement, jusqu'au déploiement dans des incarnations physiques sur site. L'impression 3D joue également un rôle important pour la création de mécanismes innovants en robotique, grâce aux capacités de prototypage rapide mais aussi aux possibilités de fabrication de structures hors de portée des méthodes usuelles d'usinage ou de moulage. Le caractère pervasif du déploiement de systèmes autonomes et de robots innovants fait émerger de nouvelles formes d'interaction robots-humains, ouvrant de nouvelles voies de recherche (robotique développementale, robotique sociale) et posant de nouvelles questions, notamment éthiques et juridiques. Le progrès des environnements virtuels d'interaction ainsi que de manière générale l'intégration de la robotique dans un contexte de systèmes cyberphysiques ouvre de nouvelles perspectives. La robotique est à ce titre souvent mise en avant dans le cadre de la lutte contre les effets du changement climatique et l'appauvrissement des ressources, notamment en développant des composants et systèmes pour la dépollution ou le recyclage, la surveillance ou la sauvegarde de la biodiversité, le démantèlement de centrales nucléaires ou la production d'énergie propre, etc.

Dans le domaine industriel, les tendances autour de la création de jumeaux numériques permettent en amont du déploiement de juger ou simuler les bénéfices à attendre de plusieurs alternatives. Dans le domaine de la santé, les applications potentielles sont nombreuses et couvrent la robotique chirurgicale et la téléopération pour lesquelles les dernières années ont vu le déploiement de solutions, désormais industrialisées, issues d'initiatives de recherche récentes. La robotique mini-invasive sera probablement à l'origine d'avancées sur le diagnostic et le traitement des cancers notamment. La robotique autonome joue un rôle transversal avec des avancées ici encore à l'interface avec l'intelligence artificielle sur des sujets tels que la navigation en environnements structurés pour les véhicules terrestres, la localisation, la prise de décision et planification en environnements mal connus et dynamiques, potentiellement dangereux dans le contexte de la robotique aérienne ou sous-marine.

10. <https://www.nist.gov/>

11. Sur les 69 candidats à la standardisation de cette compétition internationale, 16 ont impliqué des français, et les standards retenus impliquent tous des français.

Automatique. L'automatique s'intéresse au rôle et aux effets induits par la *rétroaction*¹² sur les comportements (quantitatifs et qualitatifs) d'un système dont le caractère dynamique (évolutif par rapport au temps et l'espace) est essentiel tout en exploitant la structure du système concerné. La rétroaction est omniprésente dans les processus physiques, chimiques, bio-chimiques, systèmes biologiques, naturels et sociaux et elle est introduite dans d'innombrables applications (industrielles et technologiques) pour en garantir (et/ou prédire) un bon fonctionnement en présence (ou pas) des contraintes liées à la nature du processus/phénomène/application. Du contrôle quantique aux neurosciences et à la santé et au sport, des systèmes énergétiques économes (au sens large) et adaptatifs aux villes intelligentes, de la robotique aux véhicules autonomes, des systèmes dynamiques en présence de l'homme dans la boucle de décision à la gestion des risques, le périmètre d'application du principe de rétroaction ne cesse de s'élargir tout en permettant un enrichissement méthodologique à travers de nouvelles approches et des outils d'analyse et de synthèse issus des applications.

La formalisation et la mathématisation du concept d'interconnexion comme mise en relation des systèmes/composantes (ou sous-systèmes/phénomènes) a ouvert la perspective d'une vision intégrée des interactions existantes entre les composantes pouvant partager des paramètres et variables dont un des objectifs est une meilleure compréhension du comportement global de la structure sous-jacente tout en assurant (et/ou en prédisant) un comportement sûr et robuste dans un environnement complexe et incertain. Une grande partie des approches pour l'analyse et le contrôle des systèmes cyberphysiques (CPS) et du contrôle des systèmes/agents en réseau s'inscrit dans cette vision. L'impact de tels systèmes fait l'objet d'une discussion approfondie en § 5.3. Par ailleurs, cette vision se trouve également à l'origine d'un certain nombre de développements des techniques pour la modélisation, l'analyse et le contrôle des systèmes en dimension infinie¹³ qui ont permis de revoir des problématiques spécifiques pour la compréhension de l'évolution du système, l'observation, la simulation, la prédiction et la construction des lois stabilisantes pour des phénomènes/processus spatio-temporels qui restaient difficiles à maîtriser auparavant.

Côté prospectives¹⁴, on constate une intersection croissante entre l'apprentissage automatique et la théorie du contrôle en mettant un accent sur les aspects liés à la structure des interconnexions, à la scalabilité et au caractère dynamique du système vu dans sa globalité sans oublier des propriétés qualitatives, comme, par exemple, la stabilité du système étudié. Par exemple, on peut citer (1) le contrôle basé sur les données¹⁵, où les lois de commande sont conçues directement à partir d'un ensemble des données entrées/sorties du système concerné sans qu'un modèle préalable soit connu avec des garanties sur le comportement du système en boucle fermée en termes de stabilité et de robustesse ou (2) les approches par noyaux pour l'identification¹⁶. Ensuite, les représentations formelles de la sécurité des données par la théorie du contrôle¹⁷ fournissent un nouveau paradigme pour définir, tester et garantir un comportement sûr dont la finalité est son utilisation dans des systèmes du monde réel où la scalabilité et la connectivité sont essentielles. Si la notion de résilience était évoquée naturellement avec d'autres propriétés des systèmes dynamiques dont, en particulier, la robustesse et la fiabilité, la complexité accrue des systèmes interconnectés due, entre autres, à l'hétérogénéité des systèmes et à leur grande taille nécessite de mieux formaliser cette notion tout en la différenciant des autres notions du langage de l'automatique et de développer des approches (modélisation, analyse et contrôle) adaptées pour mieux comprendre l'effet induit par les ruptures, c'est-à-dire des perturbations qualifiées comme non prévisibles mais à fort impact sur le comportement et la capacité voire l'aptitude du système considéré à revenir à un état considéré comme (qualitativement) stable. En ce sens, à titre d'exemple, à l'interface entre la théorie du contrôle et les sciences et les techniques de production, les travaux explorant la manière d'éviter les risques de ruptures des chaînes de distribution et d'approvisionnement¹⁸ en proposant des outils

12. La rétroaction est à prendre dans le sens introduit par Wiener au siècle précédent sous le nom de *feedback*.

13. Le modèle est représenté par des EDP ou des équations différentielles fonctionnelles.

14. Voir également A.M. Annaswamy, K. H. Johansson, and G.J. Pappas (Eds) : *Control for Societal-scale Challenges : Road Map 2030*, IEEE Control Systems Society Publication, 2023, <https://ieeecs.org/control-societal-scale-challenges-roadmap-2030>

15. Il est à noter qu'un lien entre « adaptation » et « apprentissage » existe depuis les années 1960 ; par ailleurs, la commande adaptative est l'approche la plus ancienne dans cette classe de méthodes.

16. Le fondement mathématique se trouve dans la théorie des RKHS : *Reproducing Kernel Hilbert Spaces*.

17. Il s'agit une nouvelle vision de la notion de *safety-critical systems*.

18. Ces chaînes (*Supply chains*) sont vues et interprétées comme des systèmes dynamiques.

spécifiques, tels qu'une structure de jumeau numérique, ouvrent un cadre intéressant qui peut s'adapter à d'autres problématiques similaires. Par ailleurs, sous l'angle du contrôle, la place de l'humain au sein du jumeau numérique prend une autre dimension et permet de le positionner comme aide à la décision dans un environnement complexe.

Systèmes et réseaux distribués. Les recherches dans ces domaines ont catalysé une révolution dans la manière dont les données sont gérées, partagées et sécurisées à l'échelle mondiale. Le consensus distribué, problème bien connu et étudié, constitue le pilier fondamental de la technologie blockchain qui a émergé comme une solution pour parvenir à un accord sans nécessiter une autorité centrale. Les applications vont bien au-delà des cryptomonnaies, avec l'émergence de nouvelles méthodes pour des applications spécifiques par essence distribuées, comme par exemple les établissements en concurrence dans un cadre financier ou économique ou bien encore avec la mouvance vers la science décentralisée (DeSci) ¹⁹ s'inscrivant dans la démarche Science Ouverte discutée plus loin dans cette section. Ces travaux s'inscrivent à la frontière avec d'autres approches, comme notamment la théorie des jeux. Les recherches menées dans ces disciplines ont également rendu possible des mutations observées ces dernières années, consistant essentiellement en une convergence entre réseaux et systèmes. Certaines fonctions au cœur ou à la bordure du réseau se retrouvent par exemple virtualisées (routage, serveur de noms) pour une meilleure efficacité dans la gestion des ressources, et notamment une approche plus frugale du calcul distribué permettant l'extinction de nœud par la non-spécificité des fonctions assurées. Des tendances avec des objectifs analogues sont également observées dans l'architecture système, visant à la désagrégation des ressources permettant une meilleure modularité opérationnelle rendue possible industriellement par des protocoles tels que RDMA ou CXL sur des réseaux optiques rapides. À l'échelle du système d'exploitation également un intérêt marqué existe dans les micronoyaux / la microkernalisation et la spécialisation des couches système pour certains profils d'applicatifs. On note des travaux d'importance visant à revisiter les *first-class abstractions*, c'est-à-dire les abstractions historiques toujours en vigueur dans les systèmes d'exploitation actuels. La question de l'isolation fait également l'objet d'une attention particulière via des approches de co-conception matérielle/logicielle, pour des préoccupations relevant de la sécurité (confidentialité, résilience aux attaques) ou bien de la fiabilité. On note des évolutions dans les plateformes de recherche, dont un des objets est ici de tester *in vivo* des algorithmes distribués. Ces travaux, menés sur des plateformes bien implantées dans le paysage actuel telles que Grid5000 ²⁰ ou encore Planetlab ²¹ et plus récemment Slices-RI ²² permettent de trouver un support d'expérimentation conforme à la question scientifique posée et aux grandeurs qui souhaitent être quantifiées (empreinte mémoire, temps de calcul, volume de données transmis, etc.). Des recherches sont menées à l'interface entre apprentissage automatique et systèmes distribués, dans le cadre originel de l'apprentissage fédéré ou, par extension, l'apprentissage purement distribué qui pose des questions scientifiques difficiles, et présente des fragilités relatives au caractère distribué comme la sensibilité à l'empoisonnement du modèle. Des pistes sont enfin mentionnées quant à ce que pourrait offrir l'intrication quantique, au-delà de son utilisation usuelle orientée passage de clé en communication quantique, couplée à des techniques de construction de systèmes et réseaux distribués.

Parallélisme et architectures embarquées. Les avancées en termes d'architectures de machines, de systèmes embarqués et de microélectronique sont le point d'appui commun à de nombreuses disciplines relevant de l'INS2I. Les technologies de fabrication installées dans l'ère du nanométrique approchent des limites fondamentales de la physique qui ont des inductions directes sur les questions de recherche. La conquête de la 3^e dimension comme parade aux contraintes des technologies jusqu'ici planaires et l'hybridation technologique avec l'intégration de mémoires non volatiles au sein des circuits pousse à repenser les fondements même de l'architecture de Von Neumann. On pourra à ce titre citer les propositions de calcul en mémoire (*in-memory computing*) qui portent la promesse d'une diminution drastique de la consommation d'énergie par la diminution de la distance de transport des données entre

19. Decentralized Science <https://ethereum.org/en/desci/>

20. <https://www.grid5000.fr>

21. <https://www.planet-lab.eu>

22. <https://www.slices-ri.eu>

les deux unités historiquement distinctes et distantes que sont calcul et mémoire. La communauté est largement à l'œuvre sur différents fronts, allant des architectures matérielles (architectures de processeurs et d'accélérateurs) et logicielles (modèles de programmation, contrôle adaptatif du calcul) pour un calcul intensif plus sobre, jusqu'aux travaux relevant des systèmes cyberphysiques et de l'internet des objets. Dans ce dernier domaine, de multiples investigations sont menées sur la définition de systèmes énergie-proportionnels, la récupération d'énergie, le contrôle dynamique pour l'efficacité énergétique, la sécurité des systèmes, les systèmes implantés, le test et la fiabilité, etc. Un accent est mis sur la question de l'IA à la périphérie (*Edge AI*) qui revêt une importance particulière pour lutter contre l'explosion du trafic internet et la pression induite sur les centres de données souvent en charge de l'exécution de l'algorithmique associée. De nombreux travaux sont en cours dans la communauté, avec des démonstrations déjà abouties de la meilleure adéquation entre des modèles alternatifs d'IA souvent neuromorphiques (réseaux impulsionsnels, modèles basés sur l'énergie, inférence Bayésienne, etc.) et les opportunités que ces approches offrent pour de l'apprentissage embarqué frugal en données, efficace, voire incrémental. Enfin, il convient de mentionner l'émergence de recherches autour du numérique responsable sous de multiples formes, et non plus seulement décliné par le biais d'une poursuite d'une meilleure efficacité énergétique. La recherche d'approches plus vertueuses au sens des incarnations technologiques sous la forme d'objets « conventionnels » tels que des ordinateurs ou bien ceux relevant de systèmes en interaction avec l'environnement ou le vivant (systèmes cyberphysiques) apparaît comme une tendance forte sur laquelle le cadre réglementaire, aujourd'hui embryonnaire, sur la question du numérique responsable pourra partiellement s'appuyer.

Apports fondamentaux. L'informatique fondamentale nourrit et conditionne nombre d'avancées du front de la connaissance en sciences informatiques. Ses disciplines ont développé leur identité propre aux côtés des mathématiques, de par la nature des grandes questions scientifiques posées dans le champ des sciences informatiques. Originellement issues de travaux en logique, sémantique, théorie des langages formels, arithmétique, combinatoire, théorie des graphes, des pavages ou de la calculabilité, etc., elles sont à la source de nombreuses contributions, de nature fondamentale, si omniprésentes et diffuses qu'il serait vain de tenter de les lister toutes ici. Elles s'illustrent également régulièrement dans des réponses apportées sur de grands sujets, dont certains sont préalablement cités, tels que l'intelligence artificielle, l'informatique et la cryptographie quantique. On pourra à ce titre mentionner les apports de la théorie de la calculabilité dans l'analyse et la détermination de complexité des problèmes quantiques, l'algorithmique en apprentissage automatique et en cryptographie post-quantique. La logique temporelle apporte également des résultats forts dans le domaine de la vérification des systèmes; la théorie des graphes étant quant à elle essentielle pour les multiples questions de modélisations relationnelles, à la frontière avec l'IA. Enfin, la théorie de la complexité est source d'avancées dans les difficiles questions relatives aux classes de complexité dans la frontière P/NP.

Science ouverte. La pensée de la science ouverte fait l'objet d'un consensus large dans les communautés scientifiques et ces dernières années ont été marquées par de notables avancées dans ce domaine. Porteuse d'une idée de recherche scientifique accessible, transparente et collaborative pour une meilleure démocratisation, la science ouverte s'appuie sur le partage intégral des publications et ressources nécessaires à la reproduction des résultats. Le premier plan national pour la science ouverte (PNSO) a été annoncé en 2018. Il mettait l'accent sur l'ouverture des publications et des données. Il a permis la généralisation du modèle de publication en accès libre (*Open Access*) et une acceptation plus large au sein des éditeurs scientifiques commerciaux quant aux droits des publications (copyright), ce qui assure désormais un accès plus aisé aux articles à travers HAL ou arXiv. Le second plan national pour la science ouverte (PNSO2) a été annoncé en 2021, en mettant le logiciel au centre de la science ouverte, au même titre que les publications et les données. L'une des conséquences visibles du PNSO2 est la création d'un prix national science ouverte du logiciel libre de recherche. Des logiciels de recherche sont développés dans tous les instituts du CNRS, et nombre d'entre eux sont diffusés sous licence libre. Les laboratoires de l'INS2I contribuent de manière importante à la production et diffusion de logiciels libres de recherche. Le CSI salue l'initiative du CNRS d'avoir lancé le programme OPEN pour soutenir la valorisation du logiciel libre de recherche.

Ce sujet a fait l'objet de l'un des séminaires thématiques organisés par le CSI ; les recommandations émises suite au séminaire thématique « Science ouverte » figurent dans l'annexe 2 du rapport.

5 Impacts sociétaux

L'effet profondément transformatif induit par les sciences du numérique sur nos sociétés est maintenant largement accepté au sein de la communauté scientifique, de la classe politique ainsi que du grand public. Si la balance bénéfice-risque s'avère largement favorable dans certains domaines comme la santé, la situation est plus discutable à une échelle plus large avec des effets délétères visibles sur des socles fondamentaux de nos sociétés tels que la vie privée mais aussi des inflexions plus profondes et durables encore sur l'évolution de nos sociétés²³. Les § 5.1 à § 5.5 présentent le fruit des réflexions menées à travers de multiples consultations, échanges et séminaires tout au long de la mandature, réflexions très largement nourries par de nombreuses personnalités du paysage scientifique qui ont répondu favorablement à nos sollicitations et qui sont listées en § 7.

5.1 Sciences informatiques et responsabilité environnementale

Les impacts sociétaux des sciences informatiques concernant cet enjeu majeur sont très classiquement décrits suivant deux volets : (1) le potentiel d'adaptation à l'urgence environnementale et climatique qu'apportent les sciences informatiques (ou « les sciences informatiques sont dans la solution »), ce qui renvoie à la formulation compacte « *green-by-IS* » ; et (2) la contribution des sciences informatiques à l'appauvrissement des ressources et l'amplification de la crise environnementale (ou « les sciences informatiques sont dans le problème »), ainsi que la possible réduction de cette contribution négative par la mise en oeuvre de technologies du numérique « vertes », ou « *green IS* ». Les recherches au sein de l'INS2I portant sur ces deux aspects à la fois contradictoires et complémentaires sont présentées dans les deux premiers paragraphes. L'état des lieux fait cependant apparaître en creux des manques ou risques possibles, qui sont analysés dans un troisième paragraphe. Nous en retirons quelques préconisations majeures, à la fois pour les prescripteurs de recherche et pour les acteurs eux-mêmes, humains bien sûr mais aussi laboratoires et organismes.

5.1.1 Les sciences informatiques dans la solution (*green-by-IS*)

Modéliser, comprendre, prédire. Les recherches en sciences informatiques sont essentielles pour aider à appréhender les différents aspects de la crise environnementale, en s'appuyant sur les différents outils classiques du traitement du signal et des images, de l'automatique, de l'analyse statistique de larges masses de données, de l'IA et de l'apprentissage automatique. Ces recherches permettent d'analyser et modéliser les processus pour mieux les comprendre et produire des prédictions nécessaires aux politiques d'anticipation et d'adaptation potentielles. Elles portent sur différents aspects du système terre-univers (climat, géophysique, biodiversité, écosystèmes), sur de nombreux systèmes socio-techniques (la ville et ses usages dont mobilités et aménagements, les transports, les réseaux d'énergie, la santé...) et impliquent de plus en plus des données multimodales, des réseaux de capteurs, du calcul embarqué et des objets connectés comme instruments d'observation et de mesure, nécessaires aux démarches de modélisation, compréhension et prédiction/anticipation.

Optimiser, réduire. Cette même palette d'outils et de méthodes permet également de contribuer à évaluer et si possible à contrôler les coûts environnementaux, les cycles de fabrication, les processus de consommation des ressources. Des recherches sur l'optimisation et la réduction de ces coûts et ressources consommées sont réalisées dans de nombreux secteurs (agriculture, transports, énergie, eau, industrie), avec des développements sur l'écoconception, l'économie circulaire, les *smart grids*,

23. Le Prix thématique de l'Académie des Sciences a salué Oana Goga pour ses travaux sur l'impact des médias sociaux et de la publicité en ligne sur les humains et la société <https://www.academie-sciences.fr/fr/Laureats/laureats-2023-des-prix-thematiques.html>

*smart cities, véhicule-réseau*²⁴. Les sciences informatiques s'inscrivent ainsi potentiellement au sein d'un processus d'« éco-gouvernance » sur lequel nous reviendrons dans la partie § 5.1.3

Contribuer à modifier les comportements. Les recherches en sciences de l'information peuvent contribuer à aider la société à s'appropriier les enjeux et à y répondre de la manière la plus appropriée possible. Ainsi, les outils de simulation et de prédiction mentionnés précédemment peuvent aider à visualiser certains aspects de la crise environnementale permettant de mieux en comprendre les processus et le cas échéant de tester des scénarios de réponses individuelles ou collectives (avec des liens possibles vers les enjeux de doubles numériques, les « *digital twins* »). De manière plus spécifique, les outils du traitement du langage naturel sont appelés à jouer un rôle important dans l'analyse automatique des contenus textuels, fournissant éléments de vérification, synthèses, analyses d'opinions et de controverses — ce point étant à mettre en regard de l'utilisation potentiellement pernicieuse de ces outils pour, au contraire, générer de fausses informations et infléchir des opinions, voir le § 5.2. Enfin, les recherches dans le domaine des interfaces contribuent à redéfinir la coopération humain-humain et humain-machines (collaboration à distance, outils de décision collective, nouveaux usages des technologies) — avec, là encore, la nécessité de réfléchir aux possibles risques de ces avancées techniques, comme souligné au § 5.2. Il faut toutefois noter que l'ensemble de ces outils ont, eux-mêmes, des impacts environnementaux qu'il appartient de qualifier et quantifier.

5.1.2 Les sciences informatiques dans le problème et les solutions proposées (*green IS*)

Les coûts environnementaux des technologies associées aux sciences informatiques sont aujourd'hui identifiés comme étant très significatifs et en progression constante, ce qui doit conduire à s'interroger sur le développement et le cadre des recherches correspondantes. Les recherches s'organisent en retour autour de deux enjeux principaux.

Rendre les technologies et les outils moins consommateurs et plus résilients. Dans ce domaine, les recherches s'amplifient dans plusieurs directions. En partant des matériels et des architectures, en écho aux technologies logicielles *open-source*, se développe un secteur dit du *open hardware*, explorant les potentialités de réparabilité, de reconfigurabilité, de réusabilité et de modularité des systèmes, visant à limiter les effets d'obsolescence et à allonger les durées de vie. Cette thématique se prolonge par des recherches sur l'éco-conception des ordinateurs, de la création à l'utilisation puis la destruction, en lien avec les enjeux de gestion des déchets électroniques et, plus globalement, de l'économie circulaire. Au niveau algorithmique, des recherches explorent les pistes qui pourraient conduire à une diminution des coûts de calcul (apprentissage incrémental/compressif, apprentissage bio-inspiré...). Au niveau logiciel, se développent des travaux sur les logiciels éco-responsables et les codes adaptés. Ces développements se font dans une perspective d'implication des utilisateurs et de prise en compte de leurs retours, afin de mieux adapter les logiciels aux ressources et aux besoins, et d'éviter la mise en œuvre de très grands systèmes logiciels surconfigurés (obésitiels). Cependant cette démarche se projette potentiellement vers une perspective de bouleversements plus larges et plus radicaux.

Développer des outils de mesure de l'impact environnemental. L'objectif de sobriété doit pouvoir s'appuyer sur des mesures objectives des coûts de fonctionnement des systèmes développés, et des recherches sont lancées concernant le développement de mesures de consommation dans des directions multiples : évaluation des coûts environnementaux associés à l'apprentissage et au fonctionnement des algorithmes et des systèmes implantés, évaluation de l'énergie d'exploitation des logiciels prenant en compte la balance entre gains de maintenance et perte de compréhension structurelle, études des cycles de vie et, plus globalement, volonté de parvenir à une traçabilité environnementale et sociale des technologies développées sur toute la chaîne de traitement de l'information.

24. Concept d'exploitation des batteries des véhicules électriques en tant qu'acteurs capables de répondre à la demande sur le réseau électrique (vehicle-to-grid, V2G).

5.1.3 bouleversements possibles et débats nécessaires

Malgré la grande diversité des problématiques et des recherches, dans lesquelles s'impliquent un nombre croissant de chercheuses et de chercheurs, il semble tout à fait clair que le domaine des sciences informatiques est placé, dans le contexte de la crise environnementale et des problèmes aigus de consommation croissante mentionnés précédemment, devant des choix fondamentaux. Ces choix peuvent impliquer des bouleversements et nécessitent des réflexions profondes qui vont au-delà du périmètre de la recherche académique dans ces disciplines et doivent impliquer l'ensemble de la société civile. Au cœur du sujet, et malgré les progrès constants des outils et des systèmes développés — et souvent à cause même de ces progrès — se trouve le problème majeur des effets rebond : chaque progrès des recherches, même inscrit dans un objectif de sobriété, génère des vagues de croissance des usages et *in fine*, « en rebond », des croissances de consommation, à tous niveaux.

Se pose également la question de la fragilité des systèmes qui s'appuient sur les outils numériques, liée au caractère infiltrant/omniprésent des sciences informatiques dans toutes les constructions humaines. Cette omniprésence induit une fragilité intrinsèque, indépendamment de possibles attaques (voir le § 5.2), des « châteaux de cartes » numériques pouvant entraîner de nombreux pans d'une société ou d'une économie dans leur chute (réseaux d'énergie, santé, transports, etc.). Se pose enfin la question de la centralisation à outrance (cloud) et des modèles économiques (GAFAM) sous-jacents, avec des interrogations majeures concernant les capacités de résilience des systèmes développés et les risques de dépendance induits.

La communauté scientifique est de plus en plus consciente de ces questions complexes et essentielles. Même si les évolutions semblent lentes, un nombre croissant d'acteurs de la recherche se préoccupent de cette potentielle crise environnementale des sciences informatiques au sein de la crise environnementale globale. Les journées d'études, les colloques et les initiatives de toute nature se multiplient²⁵, et les inquiétudes sont nombreuses, notamment dans le monde étudiant. Par ailleurs une réglementation récente impose de former tous les ingénieurs aux impacts environnementaux du numérique. Des groupes de recherche comme le Centre Internet et Société du CNRS²⁶ s'emparent de cette question pour asseoir ces formations sur des recherches pluridisciplinaires solides, sans faire l'impasse sur la critique du numérique.

Face à ces préoccupations s'ouvre parfois l'hypothèse du rejet global : stopper certaines thématiques de recherche, réorienter certains travaux. Il est d'ailleurs très remarquable que ces questionnements fondamentaux se déclenchent également pour d'autres raisons que celles de la crise environnementale, notamment à cause des enjeux de maîtrise et de compréhension des technologies développées, et de la nécessité d'en conserver ou d'en reprendre le contrôle (voir les § 5.2 et 5.5). La question cruciale du bénéfice humain associé au développement de technologies dont les fondations se situent dans les sciences informatiques doit être posée clairement car, si le bénéfice est avéré dans certains domaines (par exemple la santé), d'autres transpositions présentées comme des progrès s'avèrent plus discutables comme s'agissant des applications liées à la surveillance automatique.

Ces interrogations fondamentales, constitutives du tandem science et conscience, doivent être entendues. On ne peut que regretter que de nombreux facteurs de pression (compétition, recrudescence des appels à projets, charge administrative...) constituent autant d'obstacles à des temps de débats nécessaires sur des préoccupations (conditions/objectifs/enjeux) indissociables de la vie des équipes²⁷. Il est nécessaire, dans le contexte présent, d'organiser ces réflexions²⁸.

Notons que l'interdisciplinarité entre nécessairement au cœur du sujet. D'abord parce que le programme de recherche des sciences informatiques dans ces domaines est très largement orienté vers des questions posées par d'autres sciences : sciences de l'environnement, sciences de la vie, sciences hu-

25. Voir notamment l'activité du GdR Labo 1.5 <https://labos1point5.org/le-gdr> – ainsi que les actions du GDS EcoInfo <https://ecoinfo.cnrs.fr/le-gds-ecoinfo>.

26. <https://cis.cnrs.fr/>

27. À cet effet, les licences obéissant au principe « UsageRight » <https://pbil.univ-lyon1.fr/members/tannier/usageright/> (pour les articles, logiciels, données) ont pour objectif de garantir un engagement à la redirection écologique des résultats de recherche et une protection contre leur captation non maîtrisée.

28. ...faute de quoi le nombre de jeunes récipiendaires de diplômes souhaitant faire défection risque de n'aller que croissant ; voir par exemple [Alexandre Monnin, Politiser le renoncement, éd. Divergences, 2023, pp. 93–98] — le même texte est également accessible à <https://aoc.media/opinion/2022/06/26/de-la-desertion-des-etudiant.e.s-diplome.e.s/>.

maines et sociales. Ensuite, plus fondamentalement, parce que la crise environnementale doit conduire à repenser les rapports entre environnement et société en un système global impliquant de construire des analyses combinant les méthodes des sciences informatiques avec les outils et questions de la physique, de la biologie, de l'écologie, de la sociologie, de la psychologie. La mise en œuvre approfondie, durable — et par nature lente — de partenariats interdisciplinaires dans lesquels les différentes parties définissent ensemble les objectifs et les questions semble indispensable pour ne pas tomber dans une approche purement techno-solutionniste et même « *IS-driven techno-solutionist* ». Il devient dès lors essentiel que soient posées les conditions de ces interactions interdisciplinaires au long cours. Cela implique probablement des ajustements sur les critères d'évaluation des équipes et de leurs membres, sur la politique d'appels à projets, sur les moyens d'assurer constamment la liberté et la diversité des recherches, dans le respect des principes d'éthique environnementale définis par le COMETS²⁹.

Une question sous-jacente concernant plus généralement le monde de la recherche porte sur la définition des mécanismes de prise de décision préalables au lancement d'appels à projets thématiques et au contrôle politique, de plus en plus pressant, qui s'exerce en période de crédits limités sur les recherches menées (dans le contexte France 2030 notamment), ainsi que sur la nécessité dans ce contexte de mieux informer les citoyens sur les enjeux de la science. Nous y reviendrons.

Ces réflexions pourraient intégrer des perspectives de prise en compte de possibles limitations des ressources, des environnements, des moyens, pour préparer des avancées originales — même si elles peuvent sembler à contre-sens des avancées classiques des recherches — portant sur des systèmes, algorithmes et architectures, minimaux, modulaires, simples, contrôlables, intelligibles par de petites équipes, permettant d'assurer des objectifs de calculs, de raisonnements, de décisions, d'interactions, en environnements « restreints par construction ». Il ne s'agit pas de retour en arrière, mais bien d'ouvrir la possibilité de futurs alternatifs aux scénarios techno-solutionnistes dans lesquels s'incrinvent la plupart des directions de recherche actuelles en informatique. Ces pistes de recherche, relevant globalement de ce que l'on pourrait considérer comme une perspective « *low-tech* », pourraient se décliner dans diverses dimensions (limites matérielles, logicielles, énergétiques, temporelles, spatiales), différents types d'applications (énergie, eau, transports, agriculture, ville, santé), et pour différents domaines de recherche (sécurité, langage naturel, robotique, etc.). Elles pourraient aller jusqu'à étudier la dénumérisation de certains domaines. L'objectif de limitation intrinsèque des systèmes numériques rejoint d'ailleurs les objectifs mentionnés plus haut de diminution de la fragilité induite par la numérisation, et de reprise en main de la complexité. Là encore, la dimension interdisciplinaire de ce type de recherches est cruciale, concernant notamment les relations avec les SHS pour les enjeux, majeurs, d'appropriabilité et d'interprétabilité/contrôle des résultats potentiels de ces recherches. Au-delà de ce rôle de validation ou de « contrôle » *a posteriori* dans lequel on cantonne trop souvent les SHS, leur implication précoce est indispensable dans la définition-même de nouvelles pistes de recherche liées à la notion de limite évoquée plus haut, tant elle est antinomique avec l'esprit général de la recherche en informatique. Il s'agit par exemple de remettre en perspective la propension de la recherche en informatique à proposer sans cesse le remplacement de systèmes existants par de meilleurs systèmes, en négligeant parfois de s'occuper des questions liées au maintien en activité des anciens.

Enfin, dans ce contexte de bouleversements possibles et de débats nécessaires, il apparaît essentiel de s'impliquer avec force dans les enjeux de formation et de communication scientifique, notamment dans deux directions. D'une part, il est indispensable — et de plus en plus attendu par le monde étudiant — que la formation aux sciences du numérique inclue à dose significative des éléments de compréhension et de réflexion sur ces enjeux environnementaux qui vont, de fait, contribuer à façonner le futur du domaine. Ensuite, une question importante est celle de l'implication de la société et du manque évident de culture scientifique, dans la société comme d'ailleurs chez les politiques et les instances de direction. Des premiers pas sont faits dans cette direction : par exemple, l'appel « Compétences et Métiers d'Avenir » du programme France 2030 comportait une branche « Verdissement du numérique », dont Grenoble est lauréat avec le projet VerIT, lequel comprend un volet « communication grand public ».

29. Voir l'avis « Intégrer les enjeux environnementaux à la conduite de la recherche – Une responsabilité éthique » émis par le COMETS en déc. 2022 : <https://comite-ethique.cnrs.fr/avis-du-comets-integrer-les-enjeux-environnementaux-a-la-conduite-de-la-recherche-une-responsabilite-ethique>

5.1.4 Possibles préconisations, notamment pour l'INS2I

- Rappeler systématiquement, en interne et vers l'extérieur, l'importance d'une réflexion de fond sur les enjeux de soutenabilité : organiser des lieux de débats interdisciplinaires, faire émerger de façon régulière des propositions de recherches et d'actions.
- Assurer des recrutements réguliers sur des thématiques centrées sur les enjeux de sobriété / frugalité / résilience, en cherchant à y installer des partenariats interdisciplinaires (avec INSHS, INSB, INEE, INSU notamment). Afficher au sein du CoNRS une politique incitative qui permette de recruter/promouvoir des collègues qui ont décidé de « faire de l'informatique autrement ».
- Travailler pour faire prendre conscience aux prescripteurs (appels à projets, financements dédiés, au sein des ministères et des agences de financement) de l'importance de la prise en compte des enjeux de responsabilité environnementale dans les thématiques elles-mêmes – et pas seulement dans les processus de réponses aux appels.
- Faire entrer les questions de responsabilité sociale et environnementale des sciences informatiques dans la formation universitaire. Développer une stratégie efficace d'information et de pédagogie sur les enjeux des sciences informatiques, notamment dans le contexte de la crise environnementale³⁰. Un possible enjeu, plus structurel, serait d'impulser autour de ces enjeux la construction d'une nouvelle thématique de recherche au sein des sciences informatiques, transversale et à l'interface à la fois avec plusieurs autres champs des sciences informatiques et avec plusieurs autres disciplines (sciences de l'environnement, sociologie, etc.).

5.2 Souveraineté, confidentialité et sécurité ; libertés individuelles et surveillance

Il n'aura pas échappé que la généralisation des traitements de masse de données interroge leur contrôle, plaçant libertés individuelles, sécurité des personnes et des structures et, par là, souveraineté numérique, au cœur des préoccupations : il y a par exemple en France une commission « de l'informatique et des libertés », la CNIL³¹, et un ministère revendiquant la « souveraineté numérique »³² (thème qu'on pourrait s'étonner de trouver disjoint du MESR). Les domaines couverts par l'INS2I jouent un rôle central dans ce contexte de numérisation massive en s'intéressant directement ou indirectement aux problématiques induites : quelle est la pérennité des données et services ? qui y accède ? pourquoi ? et par quels moyens ?

L'intrication des sciences informatiques dans le fonctionnement-même de la société lui confère forces et fragilités. Au risque d'une dépendance systémique à des données volatiles et difficilement authentifiables, elle permet un passage à l'échelle des territoires de processus coûteux ou auparavant fastidieux, pourvu toutefois qu'on y ait accès ; elle met en regard l'explosion des réseaux — sociaux, de communication — et la perte de maîtrise sur les informations ou nos propres données personnelles ; elle encourage la multiplication rapide des développements logiciels mais montre combien leur sûreté et leur sécurité sont critiques ; elle ouvre la porte à une gigantesque automatisation des processus de décision à tous niveaux et s'expose ainsi à des biais et des manques de justification, etc.³³

De façon générale, la dépendance de la société aux systèmes informatiques souligne sa vulnérabilité aux défaillances des programmes et à la nature transiente des plateformes de stockage. La nécessaire élimination des coûts humains potentiels (les bugs peuvent tuer, rappelons la tragédie du Therac 25, et la tendance actuelle à mettre en circulation des véhicules autonomes n'est pas sans soulever des interrogations³⁴ et la modération des coûts économiques avérés se heurtent à un gigantesque corpus de code historique dont l'expansion anarchique est impressionnante. Les efforts nécessaires visant la sûreté re-

30. Voir le n°21 du Bulletin de la Société Informatique de France (SIF), Avril 2023, pages 83–92, « Introduire les enjeux environnementaux et sociétaux du numérique en L3 informatique » https://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2023/04/1024_21_2023_83.pdf

31. <https://cnil.fr>

32. <https://www.economie.gouv.fr/>

33. Certains auteurs soulignent aussi combien une automatisation des prédictions reposant exclusivement sur la numérisation de la société peut venir limiter le champ de ses évolutions possibles ; voir S.-H. Hong, « Predictions without future », *History and Theory*, vol. 61, n°3, pages 371–390, sept. 2022.

34. On pourra trouver recensés dans ce blog <https://betterembsw.blogspot.com/p/potentially-deadly-automotive-software.html> une liste édifiante de rappels provoqués par des défauts logiciels potentiellement mortels.

posent en particulier sur des langages disposant de mécanismes de garanties internes (systèmes de types, etc.) et d'environnements contrôlés. Dompter les écosystèmes logiciels actuels et futurs impose, évidemment, de concevoir des techniques de vérification ; il convient également d'en favoriser et faciliter l'application, ce qui passe par l'établissement de disciplines de développement et par une réelle transparence des spécifications, des codes, des plateformes logicielles mais aussi des plateformes matérielles souvent couvertes par un secret industriel frein à la recherche.

Les thématiques de l'institut sont fortement présentes dans chacun de ces aspects et articulent sources de progrès et moyens de modération des risques. En informant sur l'importance des enjeux, ses chercheurs doivent contribuer à éclairer la société dans ses choix au regard d'utilisations volontairement inappropriées, voire malveillantes, de leurs résultats et productions. Face aux risques, la communauté scientifique doit être écoutée et sa contribution est nécessaire. Rappelons toutefois qu'une réponse purement scientifique ne suffira pas à protéger la société de ces dangers.

5.2.1 Protection des structures et protection des libertés individuelles

Les outils numériques de notre quotidien, qu'ils soient destinés à faciliter nos échanges (réseaux sociaux) et prises de décision collectives (vote électronique) ou à renforcer notre sécurité (vidéo surveillance), induisent une forme d'accoutumance de la société. Ils lui font courir le risque d'une indifférence croissante aux possibles dérives liées à une exploitation malveillante, de nature à bouleverser les équilibres de nos sociétés et démocraties.

Le vote électronique est emblématique de cette ambivalence : formidable atout démocratique, il ne convient cependant pas à tous les scrutins et son utilisation doit être encadrée par un certain nombre de conditions. Sa mise en œuvre massive aujourd'hui (et parfois coûteuse) sans que ces conditions soient respectées laisse la porte ouverte à de potentielles fraudes ou attaques et, ainsi, à un déficit d'acceptabilité des résultats³⁵.

Le développement de solutions distribuées et l'adoption de plus en plus courante et acceptée de communications chiffrées de bout en bout assurent davantage de robustesse aux services et structures, institutions, entreprises, etc. Ils permettent également au niveau des individus le contournement de divers types de censure, la préservation et l'expression de certaines libertés individuelles ; on se rappellera à ce titre l'importance des réseaux sociaux et des outils numériques dans l'essor des printemps arabes.

De même, des solutions technologiques et des pratiques de surveillance s'appuyant largement sur les avancées scientifiques réalisées au sein de nombreuses disciplines et communautés de l'INS2I — le Traitement du Signal et des Images (TSI), le Traitement Automatique des Langues (TAL), la fouille de données, ou encore l'intelligence artificielle pour l'analyse de scènes vidéo ou d'échanges sur les réseaux sociaux — laissent présager des bénéfices avérés pour nos sociétés : la détection automatique de comportement suspect, de discours haineux/fake news, ou encore la protection des biens et des personnes...

Cependant, et c'est là toute l'ambiguïté de la protection d'une société sous l'angle de la surveillance, fût-elle pensée bienveillante de prime abord, il convient de souligner les possibles dérives d'un contrôle généralisé³⁶ qui contrevient à des libertés fondamentales concernant en particulier la vie privée ou la liberté d'expression.

Le déploiement massif de solutions à base d'apprentissage, indépendamment de la nature des données observées (texte, image/vidéo), requiert une attention particulière quant à la neutralité de l'analyse automatique envisagée tant les problèmes de biais (de genre, ethniques, etc.), intentionnels ou subis, sont inhérents aux méthodes statistiques qui généralisent des corrélations artificielles (sur- ou sous-représentations de certaines classes) présentes dans les données d'entraînement (*dataset*).

Dès à présent, les libertés individuelles sont bridées par l'emploi courant d'algorithmiques largement fondées sur les profils utilisateurs, indissociables des modèles économiques en vigueur, qui favorisent l'enfermement algorithmique.

35. <https://www.csi-ins2i.cnrs.fr/content/séminaire-thématique-vote-électronique-28-septembre-2021>

36. La surveillance est grandement motivée par des considérations économiques : le marché mondial de la reconnaissance faciale, aujourd'hui estimé à 5,6 milliards de dollars, croît de plus de 16% par an et devrait atteindre 12 milliards de dollars en 2028, voir le rapport « Facial recognition market size & share analysis – Growth trends & forecasts (2023–2028) » de l'organisation Mordor Intelligence, accessible à l'adresse <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/facial-recognition-market>.

Enfin, la captation de données personnelles, dont l'anonymat, quand il existe, peut parfois être levé par une fouille de données massive et intelligente, soulève également des craintes grandissantes.

5.2.2 Acceptabilité des décisions algorithmiques

L'augmentation de la puissance de calcul alliée à une amélioration de l'efficacité des algorithmes autorise le traitement de bases de données toujours plus grandes (pensons aux algorithmes d'appariement de Parcoursup ou de calcul des impôts et allocations comme exemples emblématiques) et, parallèlement, accroissent les possibilités d'interaction en langage naturel avec des systèmes conçus par apprentissage automatique qui peuvent avoir un impact considérable sur de nombreux secteurs. Les choix qui en découlent pèsent directement sur les personnes dans différents contextes : on pourra par exemple évoquer le monde judiciaire³⁷ avec la perspective de décisions automatisées, le monde économique avec l'étude d'attribution de prêts bancaires, le monde du travail où la pénétration d'outils de gestion informatisée dans la grande distribution et les services tend à généraliser le déploiement de méthodes de gestion algorithmique des employés de ces secteurs, avec les problèmes d'éthique et les risques psychosociaux que cela engendre³⁸. Au potentiel détrimement des consommateurs, l'application de prédictions algorithmiques peut également procurer aux entreprises un avantage permettant une éviction des concurrents ; elle est même susceptible de générer des équilibres de collusion tacite, exposant ces mêmes entreprises à des risques de sanction sans pourtant qu'elles se soient engagées dans une démarche volontaire d'acquisition de tels avantages³⁹.

Les mises en œuvre de processus de décision algorithmiques, aujourd'hui ubiquitaires, rendent donc particulièrement sensible la question de leur degré d'acceptabilité. Ce dernier est intimement lié d'une part à la transparence, ce qui suppose un exposé clair des conditions nominales et des limites de fonctionnement du système, et d'autre part au niveau d'explicabilité de la solution algorithmique utilisée. La culture numérique des intéressés y joue, bien sûr, également un rôle majeur.

5.2.3 Contrôle de l'information

Notre société est aujourd'hui caractérisée par la disponibilité massive, immédiate et systématique de l'information, numérique par nature, produite par l'ensemble des individus, des médias, sociétés privées, services publics... via médias sociaux, médias en ligne, blogs et internet en général. L'apparition d'outils performants de traduction automatique permet en outre l'accès de tous ces contenus à l'ensemble de la population.

Si l'accès à l'information disponible dans sa forme brute est une richesse nécessaire pour garantir la liberté d'expression, éviter la censure, etc., il est aussi, en réalité, illusoire : la masse de données rend son exploration impossible sans outils spécifiques tels que moteurs de recherche, services et plateformes qui agrègent, filtrent ou fabriquent une information plus compacte, résumée, adaptée à nos besoins. Au delà de la faisabilité de l'accès à l'information, la disponibilité de l'information brute pose problème et invite à un filtrage minimal pour écarter des contenus inappropriés (violents, racistes, pornographiques, etc.).

Le contrôle de l'information, filtrage, agrégation, résumé, est ainsi essentiel pour nous permettre d'accéder à l'information ; il pose cependant question. Les outils automatiques mis en œuvre peuvent répliquer les biais présents dans les données brutes. Ces dernières sont par ailleurs une cible de choix, susceptibles d'être polluées de façon intentionnelle à fin de manipulation.

Force est enfin de constater que ce contrôle est aujourd'hui largement opéré par des acteurs privés dont les objectifs ne sont pas tant de garantir un accès à l'ensemble de l'information présentée sous une forme complète et objective que notre satisfaction et notre envie de réutiliser leurs services. Au delà des risques d'enfermement informationnel bien présents, le filtrage opéré par ces acteurs dans leurs

37. On pourra consulter les productions du groupe de travail « Nouvelles technologies et justice » du CIS Internet et Société : <https://cis.cnrs.fr/nouvelles-technologies-et-justice/>

38. Voir l'étude <https://www.bbc.com/news/business-25034598> réalisée par la BBC.

39. Voir par exemple l'article « Intelligence Artificielle : Opportunités et enjeux managériaux », F.M. Marty, juin 2022, publié par le Social Science Research Network (SSRN) : <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4149636>

plateformes peut être incomplet ou produire des erreurs et dépend des propres valeurs de l'entreprise sans nécessairement refléter celles de la société.

5.2.4 Préconisations

De nombreuses thématiques de recherche de l'INS2I, certaines naissantes, d'autres déjà bien établies, contribuent et contribueront à apporter des réponses scientifiques pour tenter de parer à certaines de ces fragilités.

Il est ainsi fondamental que l'institut continue d'investir dans les disciplines relevant de la sûreté et de la sécurité numérique pour être en capacité de développer les résiliences nécessaires (sûreté, robustesse, cryptologie/cryptographie, quantique, réseaux) et de proposer des approches respectueuses de la vie privée (anonymisation, *privacy by design*) et limitant les biais, ainsi que des outils de gestion décentralisée des données utilisateurs limitant les risques d'attaque.

Une meilleure prise en compte des aspects négatifs des outils de décision et gestion algorithmique⁴⁰ et le développement de solutions présentant un meilleur niveau d'acceptabilité plaident pour un renforcement des collaborations avec la communauté des SHS. Les travaux dans le domaine des sciences informatiques visant à renforcer la sûreté logicielle, l'explicabilité et la transparence, la réduction de biais et la suppression de bugs devront se poursuivre et se renforcer si l'on veut que prévalent les aspects positifs de ces automatisations : gain d'efficacité, équité des traitements.

Au delà des aspects techniques, la préservation des libertés comme la diffusion de pratiques sûres sont aussi des choix de société : ils reposent sur la percolation d'une culture scientifique informatique que l'institut doit continuer d'encourager.

5.3 Impact des systèmes cyberphysiques

Les systèmes cyberphysiques désignent tout processus dans lequel le monde physique (et par extension, biologique et cognitif) est mis en relation avec des entités numériques (modèles, systèmes, algorithmes) qui permettent de le contrôler, le modifier ou d'interagir avec lui. Deux grands secteurs de recherche en sciences informatiques sont mis en œuvre ici. D'une part, les avancées sur différents fronts des sciences du numérique ont permis l'avènement du calcul ubiquitaire incarné par une multitude d'objets, souvent connectés, en interaction passive (capteurs) ou active, réalisées par divers moyens d'actuation⁴¹, avec le monde physique⁴². Ces capacités induisent des opportunités d'applications dans de nombreux secteurs relevant d'applications civiles comme militaires. Des exemples notables incluent les transports et véhicules autonomes, les *Smart Cities*, l'industrie et les usines du futur, l'agriculture numérique et l'optimisation des ressources, l'étude et l'observation de l'environnement terrestre, marin ou spatial, mais aussi des applications fournissant des moyens de surveillance/observation ou bien encore d'intervention sur des zones de conflit (drones).

D'autre part, les progrès croisés en interaction humain-machine, automatique, robotique, et intelligence artificielle ouvrent la voie au développement de nouveaux moyens d'interaction et de nouveaux environnements virtuels fournissant des alternatives pertinentes en termes d'assistance ou de substitution de l'humain dans des tâches complexes, pénibles ou périlleuses⁴³. La santé est au premier plan : le corps connecté est maintenant une réalité et, au-delà des progrès fulgurants de la chirurgie robotique, on entrevoit les applications de nano-robots permettant de délivrer des soins complexes localisés sur les zones concernées. Au-delà des besoins experts, les technologies immersives (casques ou lunettes de réalité augmentée ou virtuelle) ont vu leur rapport coût-performance évoluer de telle sorte qu'elles sont devenues aussi accessibles qu'un smartphone. Bien qu'essentiellement utilisées dans la sphère privée

40. Une telle prise en compte semble faire pour l'instant cruellement défaut, voir notamment l'article de A. Birhane et al. « The values encoded in machine learning research » dans *FACCT '22 : Proceedings of the 2022 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, pages 173–184 (<https://doi.org/10.1145/3531146.3533083>).

41. Comme les robots ou, plus généralement, des machines autonomes, en interaction physique ou non.

42. Par exemple, « internet des objets », ou « *Internet of Things* », IoT.

43. Par exemple dans les secours, l'exploration, la décontamination ou l'établissement d'infrastructures adaptatives au sein de zones dangereuses parce que dévastées, polluées ou en guerre, depuis l'intervention de drones jusqu'aux travaux prospectifs sur la matière programmable.

pour un contexte de jeu, leur inclusion dans notre environnement technologique devient probable dans un futur proche.

5.3.1 Les enjeux des recherches associées aux systèmes cyberphysiques

Les recherches impliquées concernent les deux grands domaines mentionnés ci-dessus : internet des objets et réseaux d'objets connectés d'une part, environnement virtuels et interaction humain-machine d'autre part⁴⁴. On peut relever trois grands secteurs de recherche active dans ces domaines.

Modélisation, contrôle, optimisation des systèmes connectés. Les objets connectés envahissent tous les secteurs d'activités, et conduisent à une véritable explosion du nombre de configurations matérielles et logicielles. L'un des problèmes difficiles dans l'analyse de tels systèmes est lié à la complexité de la modélisation, complexité due principalement à la grande taille, à l'hétérogénéité (temporelle et/ou spatiale) et au caractère dynamique des interconnexions (équilibres, transfert ou échange des flux, transport et propagation entre les nœuds). Dans ce contexte, les recherches visent à développer des méthodes formelles pour concevoir, modéliser, maîtriser et optimiser ces systèmes complexes, en termes de performances et expérience utilisateur, d'utilisation des ressources, de fiabilité, de résilience par rapport aux dysfonctionnements, y compris ceux dus aux cyber-attaques.

Une autre question, motivée par des impératifs autant économiques que de soutenabilité, repose sur la pérennité de ces dispositifs déployés dans l'environnement, certains n'ayant souvent pas vocation à être récupérés et recyclés en fin de vie. L'autonomie énergétique est un point saillant de cette démarche et est abordée à différents niveaux : sobriété énergétique des composants au sein de ces dispositifs, stratégie adaptative de rationnement de l'énergie disponible, récupération d'énergie depuis l'environnement. On note également une démarche de montée en autonomisation avec des systèmes déployés plus intelligents et moins dépendants d'infrastructures informatiques distantes.

Environnements numériques virtuels, nouvelles interfaces humain-machine. Le développement d'environnements virtuels simulant des aspects de nos environnements physiques permet d'augmenter nos capacités d'interaction avec ces environnements, d'agir à distance, de concevoir des plateformes d'apprentissage variées, par exemple pour l'entraînement aux gestes médicaux, l'apprentissage des gestes dans des environnements hostiles ou complexes, la rééducation, l'augmentation ou le soutien des capacités humaines, le prototypage virtuel, la télé-opération. Les progrès considérables de la robotique sous tous ses aspects, robotique industrielle ou de service, robotique chirurgicale, drones, robotique bio-inspirée, robotique sociale, s'appuient sur des avancées en automatique et contrôle, traitement du signal et des images, interactions matériel-logiciel, jusqu'à l'utilisation des progrès du traitement automatique de la parole et du langage pour les interfaces vocales et les systèmes de dialogue. D'autre part, les méthodes et outils d'interaction Humain-Machine ont évolué pour prendre en compte la redéfinition de l'espace technologique qui intègre désormais plusieurs dispositifs interactifs alliant des technologies nouvelles comme les technologies immersives (voir les casques de Réalité Virtuelle) ou *wearable* (comme les vêtements connectés) et des technologies plus « traditionnelles » comme les ordinateurs de bureaux ou smartphones. Un enjeu important concerne le développement de systèmes et environnements virtuels compatibles avec les capacités d'interaction humaine et adaptés aux contextes d'interaction. Cela nécessite de travailler, dans une approche interdisciplinaire, sur la compréhension et la modélisation des activités humaines (individuelles ou collaboratives), sur la caractérisation des mouvements et des signaux multimodaux humains afin d'adapter l'interaction et la coopération avec les environnements virtuels et les agents artificiels. Il s'agit de permettre aux utilisateurs d'être en capacité constante de comprendre et contrôler les systèmes partenaires, quel que soit leur niveau de complexité.

44. Pour une feuille de route (horizon 2030) couvrant un spectre thématique plus large, voir également *Control for Societal-scale Challenges : Road Map 2030*, IEEE Control Systems Society Publication, 2023, <https://ieeecss.org/control-societal-scale-challenges-roadmap-2030> (A. M. Annaswamy, K. H. Johansson, and G. J. Pappas, Eds).

Cybersécurité. Les systèmes cyberphysiques et particulièrement les environnements massivement connectés posent des problèmes majeurs de cybersécurité, plus globalement traités au § 5.2.

De par leur nature même de systèmes en interaction avec le monde physique, les systèmes cyberphysiques sont souvent une cible de choix de cyberattaques. L'actualité est ponctuée d'exemples plus ou moins récents d'attaques menées sur des infrastructures de communication, de transport ou encore de distribution d'énergie qui soulignent l'importance d'améliorer la résilience de ces installations. Les mesures de sécurité pour protéger les couches de communication et de calcul doivent être combinées avec des méthodes garantissant la sûreté de fonctionnement. Les attaques physiques sont également facilitées dans certaines familles de systèmes cyberphysiques où les dispositifs sont distribués dans des zones vastes non sujettes à sécurisation d'accès.

D'un autre côté, la présence de composants physiques peut permettre d'améliorer la détection et la protection contre les cyberattaques grâce à l'utilisation de modèles précis des composants physiques, à la surveillance via les données capteurs et les signaux de contrôle, grâce enfin à l'utilisation de composants physiques pour l'authentification des cybersystèmes.

L'intelligence artificielle joue un rôle de plus en plus important pour ces systèmes, et de nombreux appareils intègrent déjà des composants dotés de fonctions d'apprentissage automatique (souvent nommés « AI-CPS »). Pour garantir la sécurité et la sûreté de l'AI-CPS, il sera nécessaire de développer des modèles formels qui capturent à la fois les parties IA et CPS pour fournir une preuve formelle d'un comportement sûr, recourir à l'utilisation de composants de boîte grise qui injectent les connaissances disponibles dans le système de décision/inférence sur la partie physique, établir des mesures de suivi des performances et de l'apprentissage pour l'AI-CPS, et utiliser les données acquises après le déploiement pour améliorer les performances.

La sécurité des CPS pose de nouveaux défis pour la recherche et a notamment des implications : (i) dans le domaine académique, en raison de la nécessité de développer de nouvelles méthodes pouvant donner des garanties formelles du fonctionnement correct de ces systèmes ; (ii) dans le secteur industriel, pour le développement d'outils simples pour la conception de CPS sécurisés et par création de nouvelles opportunités liées à la fourniture de services pour « l'inspection de la sécurité des produits » ; (iii) dans le domaine social, compte tenu de l'omniprésence de ces systèmes dans la vie quotidienne.

5.3.2 Points de vigilance associés aux systèmes cyberphysiques

Les points de vigilance relatifs aux CPS sont multiples et résultent souvent de la forte interconnection de ces dispositifs. On pourra à titre d'exemple citer les questions d'interopérabilité, de lois/réglementations spécifiques aux pays, l'accessibilité et les inégalités qui en résultent, la sécurité, la confidentialité, la vie privée, la résilience (secteurs critiques), les questions éthiques et la prise de décision automatique, la responsabilité en cas d'accident, l'emploi, la formation, l'environnement, l'engagement du public et la transparence. Les deux grandes thématiques analysées ci-dessous sont transversales à ces thématiques.

Risques environnementaux. La mise en œuvre de réseaux d'objets connectés a un coût élevé en termes de consommation de ressources, et notamment de métaux rares, avec des implications multiples concernant la raréfaction des ressources, les pollutions attenantes aux processus d'extraction, et les conditions sociales et géopolitiques dans lesquelles ces processus ont lieu. Un enjeu majeur est donc celui des recherches sur l'économie circulaire et l'éco-conception de ces systèmes, incluant le cycle de vie complet, depuis l'extraction des minerais (y compris les terres rares), jusqu'au recyclage de dispositifs (voir le § 5.1.2). Notons par ailleurs que le déploiement à grande échelle de dispositifs de ce type, qui souvent ne seront pas recyclés ni même extraits de l'environnement, constitue une source de pollution significative. Il convient donc de s'interroger sur le réel bénéfice humain inhérent au déploiement de ces technologies par essence pervasives pour lesquelles à l'heure actuelle aucune analyse d'impact environnemental à moyen ou long terme n'existe. Ces déploiements ne sauraient être dictés uniquement par des logiques économiques, ou même d'optimisation sans analyse d'impact complète.

Enjeux sociétaux. Les systèmes cyber-physiques sont potentiellement porteurs de transformations sociétales qui appellent à des points de vigilance et de réflexion, qui ne peuvent être menés que dans une logique interdisciplinaire en lien fort avec les SHS.

Un premier point de vigilance, déjà mentionné, concerne les enjeux associés à la cybersécurité et notamment au respect de la vie privée (voir le § 5.2). Plus largement, ces systèmes génèrent de nouveaux environnements de travail et de nouvelles activités humaines qui peuvent poser des problèmes nouveaux, de droit, d'éthique, qu'il convient d'étudier et d'analyser au cas par cas, en s'appuyant possible-ment sur l'existence de comités d'éthique, locaux ou nationaux, lesquels peuvent apporter des éléments de réflexion et de réponse (INSHS). Enfin, les systèmes cyber-physiques peuvent contribuer à modifier le contenu de certains emplois, voire même à les remplacer pour tout ou partie par des systèmes ou agents virtuels. De manière importante, ces systèmes génèrent en retour d'autres emplois ou activités possiblement plus variées autour de la conception, l'installation et la maintenance des systèmes. Ces enjeux de transformation des métiers font l'objet de recherches à l'interface entre sciences informatiques et sciences sociales.

Lorsque l'installation de ces systèmes implique des communautés entières, comme dans le cas des villes intelligentes, il est nécessaire d'obtenir au préalable le consentement éclairé de la population inté-ressée.⁴⁵ Aussi, le concept de « ville intelligente » ne doit pas servir d'écran pour la mise en œuvre de projets de « ville sûre » ayant pour ambition première la mise en œuvre de politiques de sécurité urbaine basées sur outils de type reconnaissance faciale⁴⁶ ou d'autres techniques de l'intelligence artificielle.

5.3.3 Conclusions et recommandations

Reconnaissant l'importance de l'apport à toutes les échelles des systèmes cyberphysiques, il est capital de prolonger l'investissement en recherche dans cette thématique agrégeant plusieurs commu-nautés : réseaux, systèmes dynamiques, robotique, automatique, architectures intégrées, etc. Il souligne la nécessité d'améliorer et valider les comportements de tels systèmes d'un point de vue technologique, à travers la recherche scientifique, mais aussi de limiter certaines dérives en étudiant l'impact d'une alié-nation technologique toujours accrue. Il apparaît ainsi nécessaire de questionner, en partenariat avec d'autres domaines (SHS), certains développements et applications dans leur utilité pour la société à la lumière de la préoccupation de numérique responsable, remise en question notamment par la multiplica-tion de « gadgets connectés » et l'accroissement des risques induits (par exemple, du fait du déploiement de drones de vidéo-surveillance).

Recommandations spécifiques :

- Promouvoir une approche éthique et responsable dans le développement et l'utilisation des sys-tèmes cyber-physiques, dans l'esprit des recommandations et préoccupations des § 5.1.3 et 5.2, en tenant compte des implications sociales, éthiques et légales. Cela ne sera possible qu'en en-courageant la collaboration et les interactions entre les différents acteurs (industriels, décideurs politiques, chercheurs en SHS, etc.) dans les domaines concernés, et en impliquant la société civile afin de prendre effectivement en compte la totalité des points de vue sur l'intérêt de ces développements technologiques.
- Investir dans la formation et le renforcement des compétences afin d'une part de préparer les professionnels à concevoir, mettre en œuvre et gérer les systèmes cyber-physiques de manière sécurisée et durable, et d'autre part de permettre au grand public d'utiliser les outils offerts par ces systèmes de manière consciente et éclairée.
- Participer aux réflexions publiques institutionnelles sur les aspects normatifs pour garantir la sé-curité, la confidentialité des données et la protection de la vie privée dans les systèmes cyber-physiques.
- Il convient aussi d'amplifier l'interaction avec d'autres instituts impliqués dans les mêmes théma-tiques de recherche mais complémentaires scientifiquement, comme l'INSIS par exemple.
- Lorsqu'il s'agit de CPS en interaction proche avec l'humain (portables ou implantables), les ques-tions de dérives transhumanistes potentielles doivent inciter à la vigilance.

45. Voir par exemple l'abandon par Sidewalk Labs du projet Quayside à Toronto en mai 2020.

46. Voir le rapport d'activité CNIL 2019 sur ce sujet https://www.cnil.fr/sites/cnil/files/atoms/files/cnil-40e_rapport_annuel_2019.pdf, pages 22- 25, qui pointe la nécessité de tracer des lignes rouges avant chaque expérience.

5.4 Sciences informatiques, santé & dépendance

Les sciences du numérique offrent une opportunité unique de construire pour et avec les citoyens la médecine « 5P » de demain qui a pour vocation d'être personnalisée, préventive, prédictive, participative et désormais pertinente puisqu'elle doit s'appuyer sur les preuves d'un service rendu aux patients. Cette ambition pourra être atteinte grâce à une innovation technologique sans cesse croissante et à la collecte et l'interprétation de données de santé pertinentes. Dans le cadre d'une médecine 5P, les sciences du numérique joueront assurément un rôle de premier plan. L'état des lieux, dressé en section 5.4.1, fait aussi apparaître des questionnements divers (scientifiques, techniques, éthiques, voire juridiques) qui sont présentés en section 5.4.2.

5.4.1 Les enjeux des recherches en santé numérique

L'impact des sciences du numérique dans le domaine de la santé est majeur, associant les progrès en intelligence artificielle et sciences des données aux développements constants dans les domaines du traitement du signal et de l'image, de la robotique, de l'automatique, de la bio-informatique et des systèmes implantés. Il devrait s'amplifier dans le cadre du Plan Innovation Santé 2030 où la « Santé Numérique » est une des trois priorités. Tous les domaines de la santé sont impactés.

Robotique chirurgicale, chirurgie assistée par ordinateur. La robotique chirurgicale, apparue dès les années 1980, a révolutionné la façon dont les opérations chirurgicales sont réalisées. Dans les blocs opératoires, les gestes du chirurgien sont aujourd'hui reproduits par des robots même si cette télé-opération reste le plus souvent en boucle ouverte, sans retour d'effort. Les technologies autour de la robotique à des fins thérapeutiques évoluent vers un meilleur bouclage sur les données de capteurs notamment l'imagerie médicale afin de rendre compte des modifications anatomiques en temps réel et faire une planification du geste auto-adaptative⁴⁷. A plus long terme, les travaux concernent le domaine des robots continus dont la structure continûment déformable peut s'adapter à l'environnement anatomique constitué d'organes mous et déformables. Une autre tendance est l'ultra-miniaturisation qui permet d'envisager des dispositifs robotisés à l'échelle micro ou nano naviguant dans le corps comme des nanorobots, à base de fragments d'ADN, permettant de détruire les cellules tumorales. Ces prouesses technologiques sont à saluer et provoqueront assurément des changements profonds dans les pratiques de la médecine. Elles s'appuient sur des outils de plus en plus sophistiqués d'analyse automatique et en temps réel des signaux et des images, avec la possibilité d'acquérir et d'analyser des images opératoires en continu avec un endoscope par exemple, de modélisation 3D (et 4D dans une approche dynamique) pour l'aide au diagnostic et l'organisation du planning opératoire, de mise à disposition d'environnements virtuels sophistiqués dans la formation des chirurgiens, et la mise en place d'équipes pluridisciplinaires au sein des blocs opératoires. Ainsi, les logiciels de virtualisation permettent de modéliser les organes et les os des patients avant leur opération, et ainsi de mieux préparer l'opération.

Systèmes d'assistance à la personne. Les systèmes et robots d'assistance aux personnes âgées, fragiles ou en situation de dépendance sont en fort développement actuellement, notamment dans le contexte du vieillissement de la population. Les outils numériques associés à des réseaux de capteurs et des systèmes cyber-physiques facilitent la rééducation fonctionnelle des patients (en incluant notamment la réalité virtuelle et les jeux sérieux dans le processus thérapeutique) et le maintien à domicile des personnes dépendantes (en exploitant notamment les systèmes de monitoring, de détection de chute ou d'incidents biologiques ou comportementaux). Les robots sociaux permettent d'assurer une interaction sociale avec des personnes âgées mais aussi avec des personnes aux capacités de communication altérée (par exemple atteints de troubles de la cognition sociale). Enfin, la télémédecine apparaît également comme une nouvelle modalité d'accès au soins dans le cas notamment des personnes en situation de

47. La robotisation en chirurgie, état des lieux. Rapport de l'académie de chirurgie. Juillet 2020. <https://hal.science/hal-02987755/document>

polyhandicap. Celle-ci, inscrite en complément de la consultation médicale conventionnelle, peut contribuer à gommer les inégalités d'accès au soin en assurant un suivi plus régulier pour les patients habitant dans des zones rurales où plus généralement à distance des centres de soin.

Les champs de l'automatique et du traitement du signal sont en train de révolutionner le domaine des prothèses, des exosquelettes robotiques et plus généralement des interfaces cerveau-machine. Des prothèses de nouvelles générations, basées sur l'analyse des signaux EMG et la mobilisation du membre fantôme par exemple, voient le jour afin de permettre aux personnes amputées de retrouver en partie leurs capacités motrices par un contrôle plus intuitif de leur prothèse⁴⁸. Par ailleurs, les algorithmes de décodage de l'activité cérébrale à partir d'électrodes positionnées sur le scalp (EEG) sont de plus en plus efficaces et laissent entrevoir des applications médicales notamment pour prévenir l'apparition de crises chez les patients épileptiques ou interagir avec un ordinateur uniquement par la pensée pour des patients tétraplégiques ou atteints du locked-in syndrome.

Dispositifs médicaux implantés et traitement de l'information. L'essor majeur des dispositifs médicaux implantés, qui fait l'objet d'un des grands défis du Programme France 2030, passe par l'utilisation de techniques avancées de traitement des signaux produits par les nano ou micro capteurs implantés, permettant de délivrer en continu des données potentiellement interprétables pour le médecin. Les implants neuronaux et systèmes biocompatibles, en association avec l'automatique et le traitement du signal, ouvrent de nouvelles perspectives dans le traitement de handicaps sensoriels ou moteurs, et de nouveaux horizons thérapeutiques en particulier contre certaines pathologies neurologiques telles que l'épilepsie ou la maladie de Parkinson. L'exemple de la stimulation cérébrale profonde, technique de stimulation électrique en boucle ouverte déjà ancienne, permet de prévenir les symptômes de la maladie de Parkinson à l'aide d'électrodes implantées dans le cerveau (ganglions de la base). Cette technique, qui se perfectionne grâce à l'automatique et l'optogénétique, permettra de développer une commande en boucle fermée pour adapter la stimulation neuronale en temps réel aux besoins spécifiques de chaque patient. Le champ des possibles est ici naturellement très large, et les recherches menées s'inscrivent systématiquement dans un cadre pluridisciplinaire à l'interface entre santé, biologie, informatique, ingénierie et sciences humaines et sociales.

Intelligence artificielle et big data. Les progrès en intelligence artificielle et sciences des données ont des incidences fortes sur l'ensemble du processus de santé. Ils permettent des avancées significatives dans la détection précoce et la prédiction de certaines maladies, comme par exemple, mise en œuvre d'outils de diagnostic capables d'identifier des mélanomes sur des photos de peau ou de prédire le risque de développer certaines maladies à partir d'images de rétines⁴⁹. Ces progrès contribuent également massivement à la recherche biologique et pharmacologique avec la mise en œuvre de traitements focalisés et personnalisés et notamment la synthèse de nouveaux médicaments, comme illustré par les performances du modèle AlphaFold 2 dans la prédiction de la structure 3D des protéines à partir de leur séquence en acides aminés⁵⁰. Le développement de jumeaux numériques permet de tester des traitements médicamenteux en prédisant l'évolution de la pathologie en fonction du changement de certains paramètres, comme par exemple pour les patients diabétiques permettant de prédire avec précision leur glycémie plusieurs heures dans le futur. Les outils de traitement automatique des connaissances (développement d'ontologies, analyse textuelle avec les modèles de langage, exploitation de bases massives de faits et de données) fournissent des aides majeures au diagnostic et ouvrent la voie à des systèmes de télé-assistance sophistiqués.

La question de la masse des données devient essentielle, à la fois pour les cliniciens mais aussi pour les chercheurs avec de difficiles compromis entre protection et utilisation des données. La France fait l'objet d'une politique volontariste avec la mise en place du Système National des Données de Santé⁵¹ ou du Health Data Hub⁵² mettant à disposition un grand nombre de données afin de favoriser les études,

48. <https://lejournale.cnrs.fr/articles/protheses-la-recherche-au-defi-du-handicap>

49. Zhou, Y. et al. Nature. doi :10.1038/s41586-023-06555-x (2023)

50. Callaway E. Nature, doi :10.1038/d41586-021-02025-4 (2021)

51. SNDS <https://www.snds.gouv.fr>

52. <https://www.health-data-hub.fr>

recherches ou évaluations tout en garantissant la confidentialité des données personnelles de santé. Une illustration de la mise en commun de données est l'organisation de la recherche lors de la pandémie du COVID-19⁵³ et la mise en place par le GDR MADICS de l'entrepôt de données qui a géré les données des essais cliniques de l'OMS. Ces développements posent des problèmes complexes de transparence, de sécurité, de traçabilité des données dans des processus complexes d'analyse et de transformation. Ces entrepôts massifs de données visent à permettre le développement coordonné d'analyses, d'apprentissage coordonné multicapteur et multiparadigme. Ils doivent contribuer à la capitalisation des connaissances et des savoir-faire, et maintenir l'expertise au cœur de leur développement.

5.4.2 Points de vigilance en santé numérique

Les apports des sciences et technologies du numérique au sein de l'ensemble du processus de santé posent des problèmes et difficultés potentiellement sérieux, à la fois pour les professionnels de santé et pour les patients.

Protection des données, sécurité des bases de données. La question de la protection des données de santé est un enjeu crucial pour le patient, et les attaques sécuritaires récentes sur diverses structures hospitalières illustrent à l'évidence l'importance de ces enjeux. La multiplication des systèmes de stockage, de traitement, des processus de transformation et d'échange, augmentent la difficulté des mécanismes nécessaires assurant la protection et la confidentialité. À l'inverse, les difficultés d'utilisation des données protégées dans le développement de la recherche, notamment dans une perspective épidémiologique d'analyse de cohortes importantes, rentrent souvent en conflit avec cette exigence de confidentialité, et rendent parfois (trop) complexes les projets de recherche visant à utiliser le plus efficacement possible ces masses de données.

Transparence et explicabilité, contrôle des processus d'interprétation/décision. Même si à moyen terme le couplage de nombreuses technologies associées à une collecte et une interprétation de données pertinentes est pressenti comme un vecteur potentiel pour adresser de façon holistique les questions de santé et de dépendance, il soulève aussi des interrogations complexes, à la fois scientifiques, éthiques et juridiques. D'abord, les décisions des systèmes automatiques développés par les outils de l'IA sont difficilement explicables et les performances restent très dépendantes du jeu d'apprentissage. L'acceptabilité des futurs systèmes d'IA dans le domaine de la santé dépendra notamment de la capacité à lever certains verrous technologiques propres à l'IA comme les problèmes de biais dans les données d'apprentissage⁵⁴, ou de manque de confiance et d'explicabilité dans la prise de décision. C'est ainsi toute la question de la prise de contrôle et de l'autonomie des processus de décision du médecin qui est posée dans d'utilisation des traitements et connaissances automatisés, et par là-même le risque posé de changement de la nature de la relation praticien-patient. Au-delà des enjeux éthiques et juridiques (associés à la définition du mécanisme de responsabilité de la décision) c'est aussi le risque de la perte de savoir et de recul de l'expertise qui est posé.

Il convient aussi de rappeler la nécessaire prudence quant à de possibles dérives transhumanistes par ailleurs interdites par la loi bioéthique en France. Plus globalement, cela pose la question des risques d'une approche purement techno-solutionniste aux problèmes de santé et de dépendance, avec les perspectives de perte de compétence liée à l'utilisation massive des systèmes d'IA, et d'une déshumanisation des soins médicaux associée par exemple à l'utilisation de robots compagnons dans les EHPAD ou à l'installation de cabines de téléconsultations dans les zones rurales (inégalités territoriales). Ces questions sont travaillées dans de nombreuses instances, nationales et internationales. Mentionnons ainsi la commission de réflexion sur l'éthique de la recherche en sciences et technologie du numérique d'Allistene (CERNA) qui souligne l'importance de fournir des boîtes blanches dont on connaît le fonctionnement

53. Cristal CNRS 24/11/2021 : <https://www.ins2i.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/cristal-collectif-du-cnrs-la-recherche-face-aux-donnees-du-covid-19>

54. Obermeyer et al. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science* 2019;366(6464) :447-53.

et dont les décisions sont explicables ; et l'initiative de l'Unesco qui a proposé une norme mondiale pour une IA éthique afin de protéger, mais aussi de promouvoir les droits de l'homme et la dignité humaine.

5.4.3 Conclusions et préconisations

Un enjeu majeur des prochaines années est de faciliter les recherches interdisciplinaires en santé. La protection des données patients est fondamentale mais nous assistons aujourd'hui à une situation difficile pour la recherche en science du numérique qui, pour accéder aux données de santé, doit passer obligatoirement par une contractualisation au cas par cas (contrat de collaboration ou accord de consortium). Se pose la question de faciliter l'accès aux bases de données de santé à des fins de recherche et non commerciale tout en garantissant la confidentialité et l'anonymisation. Les grands projets d'envergure eux même (e.g. PEPR santé numérique) n'apportent pas de véritable solution. Construire un cadre légal de partage des données de patients est une problématique interdisciplinaire (droit, informatique, santé, etc) dont il faudrait s'emparer de toute urgence. Cet objectif passera par une responsabilisation et une sensibilisation accrues des chercheurs en sciences du numérique à la protection des données de santé (RGPD, vie privée, éthique) mais aussi par la formation des médecins et praticiens à l'utilisation de ces nouveaux outils numériques, notamment IA avec la connaissance des risques et limitations (reproductibilité, explicabilité, etc.).

5.5 Culture scientifique : numérique & enseignement

5.5.1 L'informatique comme une discipline du secondaire au supérieur

Durant ce mandat du CSI de l'INS2I, l'enseignement de l'informatique a fortement évolué avec la création de la spécialité NSI « Numérique et Sciences Informatiques » au Lycée en 2019 (4h/semaine en Première et 6h en Terminale sur un programme très ambitieux) ainsi que la création du cours de tronc commun SNT « Sciences Numériques et Technologie » en seconde (1h30/semaine), lequel a pour but de sensibiliser tous les élèves au numérique.

Ces changements ont bouleversé les recrutements en informatique dans l'enseignement supérieur, ce qui aura des répercussions importantes au niveau du recrutement en doctorat et plus largement ensuite dans les carrières de recherche associées à l'INS2I.

Le premier bouleversement concerne l'hétérogénéité des profils des étudiant.e.s accédant à l'enseignement supérieur. La création des spécialités oblige les élèves à se positionner très tôt dans leur cursus, et leur choix de spécialités est plus souvent lié à leur goût particulier pour des matières en classe de seconde qu'à une stratégie réfléchie de parcours dans le supérieur, ou de carrière. De fait, on constate⁵⁵ une désaffection des élèves pour les mathématiques alors qu'elles sont souvent importantes pour réussir un cursus en informatique⁵⁶, ainsi que pour les spécialités NSI, notamment concernant les jeunes femmes (voir ci-après). Ces choix précoces, même s'ils n'ont pas pour le moment d'incidence notable sur le nombre total d'étudiant.e.s s'inscrivant en informatique dans le supérieur, impactent néanmoins leur diversité, leur niveau et leur capacité à poursuivre en recherche⁵⁷. De nombreux étudiants n'ont pas les pré-requis pour poursuivre une carrière académique, voire préparer une thèse de doctorat ; leur capacité d'abstraction fait souvent cruellement défaut. Le second bouleversement, et non des moindres, concerne le désintéressement des jeunes femmes pour ces filières⁵⁸, lequel se traduit par une difficulté grandissante à recruter des informatiennes dans l'ESR. Les sciences informatiques souffrent d'une assimilation forte à une « technologie », alors que ce rapport de prospective montre bien à quel point elles se situent à l'interface de plusieurs disciplines souvent plébiscitées par les femmes, et par conséquent combien les femmes ont toute leur place dans la diversité des carrières en informatique.

55. Voir la Note d'Information n° 23.06, mars 2023, publiée sur le site education.gouv.fr : <https://www.education.gouv.fr/les-choix-d-enseignements-de-specialite-et-d-enseignements-optionnels-la-rentree-2022-357578>

56. Notons que cette spécialité nous semble prioritaire, devant NSI, pour la majorité des carrières de recherche à l'INS2I.

57. Voir le n°21 du Bulletin de la Société Informatique de France (SIF), Avril 2023, pages 13–18, « Diplômés pour le numérique et l'informatique en France : chronique d'une pénurie annoncée », <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.21.13>

58. Voir l'enquête réalisée par le Centre Hubertine Auclert (centre francilien pour l'égalité femmes-hommes) : <https://www.centre-hubertine-auclert.fr/sites/default/files/medias/egalitheque/documents/2022-02-cha-synthese-web.pdf>

Ce stéréotype est largement renforcé par le manque de sensibilisation et de formation du personnel enseignant impliqué dans l'orientation des élèves dès le collège. Des actions systématiques de tous les acteurs pédagogiques (au niveau du collège, voire de l'école primaire) semblent nécessaires pour inverser cette tendance.

Une piste possible concerne l'amélioration de la « réputation » des sciences informatiques par la mise en avant de leur forte interdisciplinarité. En effet, la synergie entre l'informatique et les nombreux autres domaines (médecine, économie, mathématiques, physique, biologie, matériaux, design, etc.) avec lesquels elle interagit fréquemment devrait permettre de recruter des étudiants aux profils variés, et de s'affranchir ainsi des stéréotypes dont souffrent les filières purement technologiques. À titre d'exemple, les aspects « interface utilisateur » reposent sur des évaluations empiriques afin d'observer les phénomènes qui se produisent lors de l'interaction avec un système et nécessitent des compétences en sciences expérimentales, tandis que les aspects « conception de l'interaction » demandent des compétences en matière de « design ». Cette riche diversité devrait être fortement affichée (par le CNRS notamment), en l'accompagnant du message important que les sciences informatiques ne sont pas une « technologie » au service des autres disciplines mais constituent un domaine de recherche à part entière, pouvant trouver des spécificités aux interfaces avec les autres disciplines (cette idée étant déjà développée au sein des différentes CID du CNRS, 51 ou 55 notamment).

5.5.2 Pédagogie et outils numériques

Des résultats d'enquêtes nationales et internationales⁵⁹ montrent que les élèves qui utilisent de manière très importante les appareils numériques à l'école présentent généralement de moins bons résultats par rapport aux élèves qui utilisent le numérique de manière moins intensive, y compris en mathématiques, et que « l'acquisition de nombreuses compétences numériques est avant tout facilitée par la maîtrise de processus de réflexion et de raisonnements complexes, acquis hors de la sphère du numérique »⁶⁰.

Le Conseil Supérieur des Programmes recommande notamment de « ne pas considérer l'Éducation nationale comme un marché ouvert aux stratégies commerciales des acteurs commerciaux et notamment des géants du numérique »⁶¹. Il paraît donc fondamental de réaliser, en collaboration avec des chercheurs de SHS, une évaluation sérieuse de l'impact sur les apprentissages du remplacement de moyens traditionnels (manuels scolaires par exemple) par des outils numériques (tablettes). Le déploiement de ces nouveaux outils, laissé aujourd'hui à la responsabilité d'acteurs locaux (départements et régions pour les collèges et lycées), devrait faire l'objet d'un moratoire en attendant les retours de cette évaluation.

5.5.3 Fracture numérique dans la société

La garantie d'un accès égalitaire aux outils numériques, lesquels sont devenus à présent indispensables pour accomplir de nombreuses tâches du quotidien, exige une réduction de la fracture numérique. Cela demande naturellement une meilleure formation de l'ensemble de la population à l'utilisation de ces outils, mais au delà de cet objectif utilitariste, cela pose un second défi, tout aussi important. Il s'agit de permettre à la population de prendre pleinement conscience des risques auxquels peut l'exposer une dérive (éventuellement malveillante) de l'utilisation des outils numériques : enfermement algorithmique, surveillance généralisée, gestion algorithmique du travail, captation de données personnelles (voir le § 5.2). Les choix et décisions concernant ces enjeux, qui touchent à l'organisation et au fonctionnement de toute la société, ne peuvent être seulement de nature scientifique et demandent une prise de position collective, par des citoyens suffisamment éclairés.

59. Voir le n°21 du Bulletin de la Société Informatique de France (SIF), Avril 2023, pages 3–11, « Impact de la réforme du lycée sur l'enseignement de l'informatique : bilan et perspectives » <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.21.3>

60. Voir les pages 65–66 du document « Avis sur la contribution du numérique à la transmission des savoirs et à l'amélioration des pratiques pédagogiques » du Conseil Supérieur des Programmes (CSP) <https://www.education.gouv.fr/media/115738/download>

61. Voir page 84 du document de la note⁶⁰.

5.5.4 Futur des métiers des sciences informatiques

L'évolution du matériel (notamment la miniaturisation des moyens de calcul, la conception de matériels génériques spécialisés par le logiciel – par exemple *Software Defined Network*, la multiplication des capteurs intelligents avec des ressources limitées) et la place toujours plus importante du logiciel dans nos quotidiens demandent aux informaticiens de plus en plus de compétences au croisement d'autres disciplines (par exemple l'automatique, le traitement du signal, la programmation temps-réel). Le CNRS et l'ESR doivent s'adapter rapidement pour faire face à ces nouveaux défis.

Les Compétences et Métiers d'Avenir (CMA). L'état s'est déjà saisi de cette question à travers la création du programme CMA de France 2030. Les métiers d'avenir (correspondant à des stratégies nationales d'accélération) qui concernent notre institut sont : « Electronique et robotique », « Solutions pour la ville durable », « Systèmes agricoles durables et équipements agricoles », « Santé Numérique », « 5G », « Cloud », « Intelligence artificielle », « Quantique », « Verdissement du numérique », « Cybersécurité », « Enseignement et numérique ». Un volet de sensibilisation précoce des femmes (bien avant le supérieur) est présent dans tous les projets acceptés jusqu'à présent et une attention particulière devra être portée pour quantifier l'augmentation espérée des flux depuis le Lycée.

Décloisonner le numérique au CNRS et dans l'ESR. Mises à part les thématiques à la frontière (IA, systèmes embarqués, réseaux, certains aspects de la robotique et du traitement d'images), le cloisonnement entre les sections 6 et 7 demeure alors qu'il serait certainement possible de mieux tirer profit de la richesse du spectre de l'institut. Les formations à cheval sur les domaines de ces sections sont peu nombreuses, et ce fait tend à passer inaperçu tellement nous nous y sommes habitués, alors que les formations info/maths ou info/bio sont largement entrées dans les mœurs. La création de filières interdisciplinaire à la croisée des thématiques des sections 6/CNU 27 et 7/CNU 61 mériterait d'être expérimentée.

5.5.5 Possibles préconisations, notamment pour l'INS2I

- Veiller à ce que la spécialité NSI et les filières MPI soient également accessibles quelle que soit l'origine géographique
- Veiller à ce que les enseignants de NSI aient tous reçu une formation équivalente à un master enseignement en informatique, soit via l'augmentation du nombre de certifiés et agrégés, soit via la poursuite de la formation continue des enseignants de NSI.
- Favoriser une meilleure intégration de la discipline dans les tronc communs en veillant à ce que les enseignants de SNT soient des enseignants d'informatique.
- Relancer le programme chiche SNT⁶².
- Intensifier la promotion pour la discipline informatique dans le secondaire, notamment auprès des collégiennes et lycéennes.
- Accompagner la professionnalisation actuelle de la formation dans le supérieur d'une ouverture vers les problématiques scientifiques de la discipline, en favorisant l'accueil des étudiants de master en alternance dans les laboratoires de recherche.
- Faire un moratoire sur l'extension du déploiement des outils de pédagogie numérique (tablettes, visioconférences,...) aujourd'hui laissés à la responsabilité d'acteurs locaux (par exemple les régions pour ce qui concerne les lycées).
- Mener des travaux en collaboration avec les SHS sur l'utilisation des outils numériques et des enseignements distanciels afin d'évaluer leurs bénéfices et leurs risques.

5.6 Le cas de ChatGPT

ChatGPT et par extension les modèles de langage géants (LLM pour « *Large Language Model* ») qui fleurissent actuellement (Bloom, T5, Falcon, Bert, Llama, Mistral...) constituent une avancée majeure

62. <https://chiche-snt.fr/>

dans le domaine du Traitement Automatique du Langage mais posent aussi des questions fondamentales, à la fois philosophiques et sociétales quant au rôle que ces modèles sont amenés à jouer dans nos sociétés à de multiples niveaux. Le conseil scientifique de l'INS2I partage pour partie les inquiétudes soulevées par de multiples instances et groupes de réflexion s'agissant des bouleversements profonds qui sont à l'oeuvre ainsi que leurs inductions à de multiples titres. Il convient certainement de souligner le caractère inéluctable du développement de ces technologies et l'importance que de multiples acteurs se mobilisent pour porter des réflexions sur les impacts potentiels dans les domaines sociétaux, philosophiques, juridiques, économiques, de santé et d'éducation. Le conseil scientifique du CNRS a émis une recommandation⁶³ invitant les Conseils Scientifiques d'Instituts à s'engager dans la formation d'un groupe de travail interdisciplinaire qui pourrait nourrir la réflexion pour le nécessaire cadre réglementaire qui se doit d'émerger quant à l'utilisation de ces modèles. Conscient que le paysage scientifique et économique associé aux LLM et de manière plus générale aux IA génératives est, à l'heure où ces lignes sont écrites, en mutation permanente, le Conseil Scientifique de l'INS2I considère prématuré l'émission de recommandations à ce titre. Nous soulignons cependant qu'à notre sens les performances sidérantes de ces modèles créent un engouement porteur de très nombreuses opportunités à la fois scientifiques et sociétales, mais également que ces performances appellent réflexions et précautions. Nos préoccupations comprennent (i) le caractère « boîte noire » de ces modèles qui pose des problèmes sérieux de contrôle, d'évolution, d'évaluation, et d'explicabilité et donc in fine d'utilisation ; (ii) le danger que constitue la prédominance actuelle d'acteurs privés dans leur développement de par les coûts d'entraînement prohibitifs ; (iii) les biais culturels induits par les *datasets* d'entraînements qui pour l'essentiel ne sont pas publics⁶⁴ et peuvent conduire à la construction de pensées dominantes, voire à l'émergence d'une « pensée unique » et (iv) une utilisation massive dans la société sans véritable connaissance des limites et faiblesses de ces outils qui sont loin d'être infaillibles. Enfin nous soulignons l'ambivalence de ces modèles qui ouvrent des pistes de recherche passionnantes au croisement entre informatique, sciences cognitives et neurosciences sur l'étude de la nature et de l'apprentissage du langage à la fois par les machines et les humains tout en offrant des outils nouveaux d'aide à la rédaction de texte d'une puissance inégalée mais qui soulèvent des questions, de déstructuration du marché de l'emploi dans certains secteurs, de perte de valorisation de la connaissance pouvant aller jusqu'à des reculs de connaissances et de savoir faire, laissant aux machines la gestion de ces connaissances et savoir faire, et de marginalisation de populations écartées de la maîtrise de ces outils. Globalement, ces algorithmes et modèles posent ainsi des questions aiguës pour la recherche et pour l'éducation dans le domaine des sciences de l'information. Il convient enfin de préciser que ces considérations ne sont pour l'essentiel pas spécifiques aux modèles de langage géants mais s'entendent pour nombre de cas d'utilisation en apprentissage automatique et tout particulièrement pour les IA génératives qui reproduisent des schémas statistiques sur des masses de données souvent gigantesques que l'on ne sait souvent pas ou peu expliquer, interpréter ou même qualifier.

6 Conclusions et recommandations

6.1 Un contexte fort

À l'issue des cinq années de cette mandature concrétisées par la réflexion retranscrite dans ce document, deux grands constats s'imposent : d'une part les sciences informatiques, omniprésentes, sont devenues plus transformatives que jamais dans l'histoire de nos sociétés. D'autre part, notre civilisation arrive à un tournant de son développement, avec des défis colossaux tels que le dérèglement climatique et des questionnements profonds et fondamentaux sur la place de l'humain potentiellement aliéné à ses technologies. Les sciences informatiques, pourvoyeuses d'avancées scientifiques qui défrayent la chronique, sont au cœur de révolutions en marche telles que l'intelligence artificielle ou l'informatique quantique. Le parti a été pris d'articuler ce rapport autour de discussions sur les opportunités et

63. https://www.cnrs.fr/comitenational/cs/recommandations/24-25_avril_2023/CS_usages_et_developpements_IA_generatives_demarche_scientifique.pdf

64. On note cependant l'émergence de projets plus vertueux à cet endroit, tel Bloom dans le cadre du projet BigScience

potentiels risques que nous imaginons relativement aux états actuel et anticipé des sciences informatiques. Il nous amène à énoncer un certain nombre de recommandations, par essence adressées aux instances scientifiques et notamment au CNRS, pour dessiner un paysage scientifique efficient, serein et collaboratif mais également conscient des défis, souverain dans ses orientations et à même d'interagir avec la société civile et ses instances décisionnelles quant aux possibilités et risques des sciences en mouvement.

6.2 Des pressions croissantes

Profondément transformée par une logique de financement de la recherche publique désormais orientée vers des applications pratiques marquées par des cycles de transfert plus courts et indiscutables dans certains domaines, la recherche scientifique ne peut, nous le réaffirmons, se substituer à des choix de société relevant des instances de gouvernance.

Nous exprimons par là-même nos inquiétudes quant aux transformations du paysage de l'ESR qui contribuent à sa déstructuration. Citons à ce titre des modes de financement sur appel à projet souvent trop ciblés, carcans qui brident drastiquement la liberté scientifique et donc sa créativité ; des modèles de recrutement voués à encourager l'excellence mais induisant des inégalités de traitement dans les concours et carrières et qui sont sources de tensions ; une complexification administrative malgré les annonces incessantes de simplification, illustrée récemment par l'émergence d'outils incontournables au CNRS qui font perdre un temps de recherche précieux et complexifie grandement le travail des gestionnaires. Dans cet ensemble de défis, d'attentes, d'interrogations et de contraintes multiples, les diverses analyses portant sur les cinq thèmes d'interfaces environnementales et sociétales que nous avons définis font émerger quelques grands enjeux globaux dont le caractère essentiel et parfois urgent ressort de manière convergente de plusieurs des thèmes abordés et qui sont détaillés par la suite.

6.3 Des lieux de débats

La surcharge administrative et la logique de performance et de compétitivité en vigueur dans l'ESR poussent à une « rationalisation » du temps qui laisse peu de temps aux débats. Pourtant, il ressort de nos divers échanges cette nécessité d'ouvrir plus largement les réflexions, tant à l'intérieur des équipes et des collectifs de recherche qu'en lien avec tous les niveaux de la société. En effet, ces dernières années sont également marquées par l'affirmation notable de la volonté des communautés scientifiques de débattre et questionner de l'impact potentiel des avancées scientifiques auxquelles elles contribuent. Ces espaces et temps de débat, nécessairement interdisciplinaires et notamment en forte interaction avec les sciences humaines et sociales, sont de plus en plus attendus, par la société bien sûr mais aussi par les personnels de l'ESR et notamment les jeunes. Ils sont indispensables pour retrouver et accroître la confiance dans la science et les scientifiques. Ils nécessitent sans doute d'être accompagnés par une réflexion de l'organisme sur le statut de ces processus réflexifs dans l'organisation des laboratoires et des équipes, en lien avec l'évaluation et la gestion des carrières.

Ensuite, il y aurait sans doute intérêt à disposer d'un lieu où pourraient être analysés les processus de maîtrise et de contrôle des innovations techniques associées au développement des systèmes et des algorithmes. Les enjeux sont multiples, recouvrant des thèmes comme ceux de la maîtrise environnementale (quelles conséquences et quelles retombées au déploiement d'une technologie donnée ?), de l'explicabilité des algorithmes, notamment d'IA (qui maîtrise les algorithmes ? qui peut en faire évoluer les performances ou les mises en application ?), de la maintenance des systèmes (comment assurer des maintenances locales au sein de petites équipes, dans les laboratoires comme dans les entreprises ?), du contrôle économique sur les processus de recherche (comment assurer des développements de recherche publique dans un contexte d'accès limité aux très grandes bases de données, nécessaires à certains développements ?), etc. Cet enjeu passe là encore par une approche fortement interdisciplinaire. Il pourrait être géré à différents niveaux au sein de l'organisme (MITI, COMETS, GDR) car le CNRS, au même titre que d'autres organismes, a un rôle à jouer pour l'organisation de débats et réflexions visant à l'élaboration d'orientations scientifiques vertueuses.

6.4 Sciences informatiques et responsabilité

Les attentes de la société à l'endroit de la science se sont largement amplifiées ces dernières années, notamment à travers la crise du COVID ou encore de par le contexte géopolitique récent. La prise de parole scientifique reste pour autant un exercice médiatique délicat qui se doit d'être éthique, juste et prudent. Nous renvoyons à cet égard vers le COMETS⁶⁵, la MIS⁶⁶ ou encore la DDOR⁶⁷ qui énoncent les bonnes pratiques de la science et sont des interlocuteurs de référence sur ces sujets. La recherche scientifique n'échappe pas non plus aux écueils de notre temps avec des référentiels qui sont mouvants, et en particulier avec la multiplication d'éditeurs dits « de la zone grise ». Si le discours pseudo-scientifique n'est pas récent et trouve son public depuis de nombreuses années, l'accélération des dynamiques de publications, les difficultés que pose l'évaluation par les pairs combinée à l'émergence des modèles de langages géants montrent aujourd'hui les menaces qui pèsent sur la question de la dissémination des résultats scientifiques. Face à ce contexte, le conseil scientifique de l'INS2I incite les chercheurs à rester vigilants quant aux nombreuses sollicitations et à s'appuyer sur les prises de positions et recommandations des diverses instances (sections du Comité National, du Conseil National des Universités, des Groupements de Recherches) qui définissent des référentiels sur la base de leurs expertises.

Enfin, et face à ce que sont les défis de notre temps mentionnés dans ce rapport, nous ne pouvons que saluer et encourager les diverses initiatives individuelles et collectives qui s'inscrivent dans une alternative à la dynamique opportuniste insufflée par les modèles de financements sur appels à projets à trop forte coloration applicative.

6.5 Rôle du Conseil Scientifique d'Institut dans l'écosystème CNRS

Les Conseils Scientifiques d'Instituts sont des instances du Comité National qui sont adossées à chacun des dix instituts du CNRS. Au-delà de leur composition, les statuts de ces instances mentionnent le rôle de conseil apporté à l'institut ainsi que l'obligation de rédiger un rapport de prospective en fin de mandature : c'est le présent document. De notre analyse à l'issue de ces cinq années émergent des opportunités pour un rôle amélioré du CSI dans l'écosystème global ; nous distinguons ainsi trois vecteurs d'amélioration comme suit.

Un CSI à l'interface entre chercheurs et institut. Le CSI est relativement méconnu des communautés scientifiques de l'INS2I, il pourrait contribuer de manière plus efficace au dialogue entre chercheurs et institut en s'installant dans un rôle bienveillant à l'interface. Ceci apparaît d'autant plus important que le modèle par ailleurs vertueux des UMR installe les chercheurs CNRS dans des environnements diffus par nature où le lien avec l'organisme et par extension l'institut de rattachement peut être perçu comme distendu, et ce malgré les efforts consentis par ces derniers. Un format possible reposerait sur une organisation des sessions du CSI en deux temps : une phase scientifique ouverte, comprenant des exposés et débats en présence de la direction de l'institut et des sections, suivie d'une seconde phase plus classique d'échange entre CSI et institut. Ceci contribuerait à recréer du lien, installer un dialogue et traiter dans la durée des sujets d'importance, tels que les nécessaires débats sur des sujets cruciaux comme ceux mentionnés précédemment.

Intelligence collective et politique scientifique. Le triptyque formé par l'institut, les sections du Comité National (CN6, CN7, CID51, CID55) et le CSI pourrait s'inscrire dans un fonctionnement plus harmonieux s'agissant des recrutements. Les postes publiés aux concours sont pour partie fléchés et coloriés, et constituent un instrument puissant de politique scientifique. Leur emploi se doit d'être également mesuré pour à la fois créer un effet thématique inductif tout en se conformant à la volonté d'excellence dans le recrutement. Les sections du Comité National sont statutairement en charge de l'évaluation et ont de

65. COMETS, Comité d'éthique du CNRS <https://comite-ethique.cnrs.fr>

66. MIS, Mission à l'Intégrité Scientifique du CNRS <https://mis.cnrs.fr>

67. DDOR, Direction des Données ouvertes de la recherche <https://www.science-ouverte.cnrs.fr/ddor-cnrs-directi-on-des-donnees-ouvertes-de-la-recherche/>

fait une excellente visibilité sur les profils des chercheurs et candidats. Le CSI, en concertation avec les sections et l'institut, par la diversité thématique des profils de ses membres, pourrait jouer un rôle de conseil dans l'étape amont à la publication de ces postes. La temporalité des concours laisse l'opportunité à l'institut de présenter un projet de coloriage/fléchage au printemps qui pourrait faire l'objet d'une restitution lors de la séance d'automne, en amont du processus de validation suivi de la publication des postes.

CSI et missions. Le travail du CSI s'articule naturellement autour de groupes de travail constitués de membres volontaires pour traiter un sujet donné qui est ensuite présenté et discuté en séance. La définition de ces missions est propre à l'actualité et aux sujets traités, le CSI pouvant répondre à une sollicitation de l'institut ou bien s'emparer de sujets qu'il juge importants. Pour autant, eu égard à la durée d'une mandature (5 ans), il semblerait pertinent de définir en début de mandat quelques sujets qui s'inscrivent dans le temps long, en lien étroit avec l'institut. Par extension, et de par la nature pluridisciplinaire de nombre de sujets d'importance tels que l'intelligence artificielle ou les questions de numérique responsable, la dimension collaborative déjà présente entre CSI d'instituts pourrait être renforcée, sous l'impulsion du CS de l'organisme qui a déjà émis des recommandations⁶⁸. La C3N⁶⁹ qui installe un dialogue entre la direction de l'organisme et les différentes instances du comité national et notamment les présidents de CSI, pourrait par extension se saisir de ces grands sujets et coordonner la réflexion.

7 Remerciements

La première moitié du mandat du conseil scientifique a été conduite, jusqu'en septembre 2021, sous la présidence d'Isabelle Queinnec qui a par la suite pris ses fonctions à la direction de l'INS2I en tant que Directrice Adjointe Scientifique section 07. Le conseil scientifique la remercie chaleureusement pour son action à sa tête et la dynamique qu'elle a su impulser à l'instance. Nous remercions également la direction de l'Institut et en particulier Ali Charara, directeur de l'INS2I jusqu'en janvier 2023 et Adeline Nazarenko, directrice depuis cette date pour la confiance accordée qui a permis de travailler conjointement sur des dossiers d'importance, comme les recommandations sur les politiques de publication dans le contexte actuel. Nous remercions également les présidents et membres des autres instances du Comité National pour les échanges fructueux qui ont permis d'installer des logiques de raisonnement à l'échelle de l'organisme, et ont mené à de nombreux échanges fructueux : le Conseil Scientifique du CNRS ainsi que les présidents et bureaux des autres Conseils Scientifiques du CNRS ainsi que la C3N.

Le conseil scientifique tient également à remercier les personnes suivantes pour leurs contributions au travail du conseil et à son organisation lors de la mandature :

- Danuta Dufrat-Chabrière, *Assistante du Comité National*
- Invités permanents aux séances du conseil : Hubert Comon-Lundh (mandature 2016-2021) et Pierre Senellart (mandature 2021-2026), *présidents de la Section 6* ; Pierre-Olivier Amblard (mandature 2016-2021) et Inbar Fijalkow (mandature 2021-2026), *président.es de la section 7* ; Franck Picard (mandature 2016-2021) et François Parcy (mandature 2021-2026), *présidents de la CID51* ; Yves Grandvalet (mandature 2021-2026), *président de la CID55* ; Claire Mathieu et Eric Andres, *représentants du Conseil Scientifique du CNRS*.
- Invités des séminaires thématiques au cours du mandat : Romain Alléaume, Michèle Basseville, Michel Beaudouin-Lafon, Françoise Berthoud, Yves Bertrand, Karthikeyan Bhargavan, Olivier Blazy, Freddy Bouchet, Denis Bourguet, Mokrane Bouzeghoud, Jean-Marie Chesneaux, Véronique Cortier, Brigitte D'Andréa-Novel, Thao Dang, Isabelle Debled-Rennesson, Maria Domenica Di Benedetto, Roberto Di Cosmo, Mélanie Dulong de Rosnay, Marc Durantou, Chantal Enguehard, Philippe Fraisse, Pierrick Gaudry, Antoine Girard, Julie Grollier, Jean-Marc Jézéquel, Didier Josselin, Elham Kashefi, Alexis Kauffmann, Claude Kirchner, Elisabeth Kohler, Rida Laraki, Benoît Le Blanc, Jean-Michel Loubes, Wendy Mackay, Frédéric Magniez, Delphine Maucort-Boulch,

68. https://www.cnrs.fr/comitenational/cs/recommandations/24-25_avril_2023/CS_usages_et_developpements_IA_generatives_demarche_scientifique.pdf

69. C3N - Coordination des responsables des instances du comité national <https://c3n-cn.fr>

Ian O'Connor, Anne-Cécile Orgerie, Claudio Pacchierotti, François Pellegrini, David Pichardie, Robert Roche, Olivier Serre, Anne Siegel, Emmanuel Thomé, Christophe Vivent.

Nous tenons à remercier également les nombreuses structures et personnes ayant participé aux discussions, séminaires d'échanges préparatoires et réflexions qui ont très largement nourri ce rapport de prospective :

- Directeurs, directrices et comités de pilotages des GdR BIM, GPL, IA, RADIA, IR-GV, IM, ISIS, IQFA, MACS, MADICS, MAGIS, RO, Robotique, RSD, Sécurité Informatique, SoC2, TAL, CIS, MASCOT-NUM, OMER, Sport et activité physique.
- Contributeurs à titres individuels à des séminaires, interviews et échanges centrés sur les thèmes du rapport : Emmanuel Coquery, Guillaume Hanrot, Florence Maraninchi, Anne-Cécile Orgerie, Olivier Pons, Alain Tchana, Sébastien Tixeuil, Denis Trystram.
- GDS EcoInfo
- RTP Education
- 3IA Prairie
- PEPR 5G
- PEPR ENSEMBLE
- PEPR Enseignement et numérique

Annexe 1 : signification des sigles

CID	Commission interdisciplinaire (CNRS)
CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
COMETS	Comité d'éthique du CNRS
CPS	Cyber-Physical System
CSI	Conseil Scientifique d'Institut
CSP	Conseil Supérieur des Programmes
DDOR	Direction des Données Ouvertes de la Recherche
ESR	Enseignement Supérieur et Recherche
GdR	Groupement de Recherche
IA	Intelligence Artificielle
IHM	Interaction Humain-Machine
INEE	Institut Écologie et Environnement
INS2I	Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions
INSB	Institut des Sciences Biologiques
INSHS	Institut des Sciences Humaines et Sociales
INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
IS	Information Sciences
LLM	Large Language Model
MIMO	Multi-Input Multi-Output
MIS	Mission à l'Intégrité Scientifique (CNRS)
MITI	Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires (CNRS)
ML	Machine Learning
NIST	National Institute of Standards and Technology
PEPR	Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche
PNSO	Plan National pour la Science Ouverte
SHS	Sciences Économiques et Sociales
SIF	Société Informatique de France
TAL	Traitement Automatique des Langues
TSI	Traitement du Signal et des Images
UMR	Unité Mixte de Recherche

Annexe 2 : recommandations émises par le conseil scientifique

Séminaires thématiques et recommandations Cette annexe agrège les recommandations votées et publiées par le CSI durant la mandature. Ces recommandations résultent pour partie de séminaires thématiques organisés par le CSI, alors que d'autres sont le fruit de travaux menés par des groupes de travail et débats internes, de consultations et d'échanges à divers niveaux.

Séminaires thématiques organisés pendant la mandature Le CSI a organisé au cours du mandat les séminaires thématiques suivants qui ont fait l'objet de recommandations :

- Zones à Régime Restrictif (ZRR), le 6 mai 2019 ;
- Développement durable, informatique et technologies de l'information, le 23 sept. 2019 ;
- La place des femmes à l'INS2I, le 2 déc. 2019 ;
- Systèmes et architectures intégrés matériel logiciel pour l'intelligence artificielle, le 22 sept. 2020 ;
- Éthique : quand les sciences du numérique s'invitent de près dans la vie des humains, le 1er déc. 2020 ;
- Science ouverte, pratiques de publication, le 6 juin 2021 ;
- Vote par correspondance électronique, le 28 sept. 2021 ;
- Sciences de l'information et société, le 2 fév. 2022 ;
- Numérique, enseignement et société, le 6 mai 2022 ;
- Calcul et cryptographie quantique, le 28 sept. 2022 ;
- Sureté, vérification & confiance, le 6 déc. 2022 ;
- Impact des systèmes cyberphysiques, le 6 mars 2023.

Autres recommandations Le CSI a également travaillé sur divers sujets qui ont fait l'objet de recommandations dont les principales, présentes dans cette annexe, sont comme suit :

- Le 24 février 2021, le CSI a voté une « Recommandation sur l'impact de la situation sanitaire sur l'enseignement supérieur et la recherche », fournie en fin de cette annexe. Suite à cette recommandation, il a lancé une enquête dans les unités de l'institut afin d'évaluer l'état des lieux et la situation des personnels des unités de l'Institut après un an de crise sanitaire. Elle a conduit à une synthèse et des recommandations détaillées qui sont également fournies.
- Sur la base d'une sollicitation émanant de la direction de l'institut relatifs aux difficultés liées à l'émergence de revues prédatrices, le CSI a travaillé conjointement avec les sections 6, 7, la CID51 ainsi que la CNU27 à l'émission de recommandations à l'attention des jurys et commissions d'évaluation, des candidats aux concours ainsi que des chercheurs évalués. Ces recommandations ont été votées par ces diverses instances et constituent donc un référentiel de pratiques pour les chercheurs et enseignants-chercheurs relevant de ces instances.
- Le CSI a travaillé sur le rapport remis par la mission Gillet à la Ministre de l'enseignement supérieur et de la Recherche, et a souhaité partager ses inquiétudes quant à certaines des transpositions des recommandations de cette mission.
- Sur la base de l'expérience capitalisée pendant les cinq années de cette mandature, le CSI émet des recommandations quant au positionnement de cette instance et à d'éventuels pistes d'amélioration de son rôle dans l'écosystème CNRS et Comité National.

Conseil scientifique de l'institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations sur les « ZRR »

Le Conseil Scientifique d'Institut (CSI) du CNRS a organisé le 6 mai 2019 un séminaire thématique sur le mécanisme des zones à régime restrictif (« ZRR »).¹ Pour rappel, la Protection du Potentiel Scientifique et Technique de la Nation (PPST) est organisée par un dispositif réglementaire rénové en 2012. En particulier, certains lieux abritant des éléments sensibles, délimités par arrêté, constituent des zones protégées au sens de l'article 413-7 du code pénal, et sont dénommés « zones à régime restrictif » (ZRR). Leur accès est contrôlé (l'autorisation d'y entrer doit notamment avoir fait l'objet d'un avis favorable du ministre concerné). Ces ZRR ont commencé à se mettre en place à partir de 2013 pour les premiers laboratoires.

Quatre intervenants ont été invités par le CSI pour débattre de ce sujet :

- Benoit Leblanc, membre du Comité d'expert STIC du ministère auprès du Haut Fonctionnaire Sécurité Défense (HFSD), PR en section CNU 27 à Bordeaux, spécialiste de l'IA ;
- Jean-Robert Roche, adjoint au Fonctionnaire de Sécurité et de Défense (FSD) du CNRS ;
- Jean-Marc Jezequel, directeur de l'IRISA, auteur d'une lettre ouverte relative à la PPST et au dispositif ZRR² ;
- Emmanuel Thomé, responsable d'une équipe en statut ZRR à l'intérieur du LORIA.

Les présentations des quatre intervenants ainsi que les discussions qui ont eu lieu avec le CSI ont permis de mieux apprécier tant la situation actuelle que les évolutions possibles³. Il est ainsi apparu que la ZRR, telle qu'elle est actuellement définie et appliquée, paraît inadaptée, en particulier pour le domaine des sciences de la communication, même si la PPST est clairement une problématique majeure.

Afin d'anticiper sur les évolutions possibles du dispositif ZRR, le CSI souhaite pouvoir participer aux discussions en cours menées par le groupe de travail au ministère.

Par ailleurs le CSI émet les recommandations suivantes concernant la mise en œuvre des ZRR pour les unités de l'INS2I :

- alléger les démarches en vue de l'accueil de collègues et d'étudiants dans les unités de recherche, la procédure actuelle n'étant pas adaptée aux problématiques de la PPST. Il s'agit en particulier des stagiaires et doctorants. En effet, le temps nécessaire à l'évaluation de leur dossier est préjudiciable à leur recrutement : les stagiaires sont rarement connus 2 mois à l'avance, l'incertitude sur leur potentiel recrutement incite les candidats doctorants à privilégier un recrutement dans un autre laboratoire.

¹<http://csi-ins2i.cnrs.fr/content/s%C3%A9minaire-th%C3%A9matique-zrr-6-mai-2019>

² <https://www.societe-informatique-de-france.fr/2018/11/lettre-ouverte-de-jean-marc-jezequel-directeur-de-lirisa-de-la-ppst-des-laboratoires-publics-de-recherche-en-informatique-et-de-linanite-des-zrr-comme-solution-a-un-vrai-probleme/>

³Le compte-rendu de la réunion du 23 septembre est à retrouver sur le site du CS INS2I : <http://csi-ins2i.cnrs.fr/>



- faire porter le principe ZRR sur des périmètres matériels et/ou logiciels véritablement concernés par la problématique. Le principe actuel concerne en premier lieu des locaux, mécanisme sans doute adapté pour certains domaines de recherche mais souvent peu efficace dans les domaines de recherche relevant de l'INS2I au vu de ses spécificités.
- faire évaluer régulièrement (au moment de l'évaluation de l'UMR par exemple) la sécurité du laboratoire (en particulier matériel, logiciel). En effet, la mise en œuvre d'une ZRR n'est guère assortie d'un contrôle efficace global sur la sécurité, en particulier concernant les données. Celles-ci sont pourtant très fréquemment accessibles via le réseau à partir de lieux externes aux zones actuelles en ZRR.

En l'attente des conclusions du groupe de travail du ministère, un moratoire sur la mise en œuvre de nouvelles ZRR devrait s'imposer.

Isabelle Queinnec
Présidente du CS INS2I

Recommandation adoptée le 23 septembre 2019
19 votants : 19 oui, 0 non, 0 abstention

Destinataires :

- Mme Frédérique VIDAL, Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.
- M. Edouard PHILIPPE, Premier Ministre
- Mme Claire LANDAIS, Secrétaire générale de la défense et de la sécurité nationale

Copie à :

- M. Antoine PETIT, Président Directeur Général du CNRS
- M. Ali CHARARA, Directeur de l'INS2I
- Mme Dorothée BERTHOMIEU, Présidente du CS CNRS
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CS INP, M. Olivier DRAPIER, président du CS IN2P3, M. Serge SIMOENS, président du CS INSIS, Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CS INSU, M. Olivier SANDRE, président du CS INC, Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CS INSHS, M. Yaël GROSJEAN, président du CS INSB, M. Remi CARLES, président du CS INSMI, Mme Patricia GIBERT, présidente du CS INEE
- M. Ludovic MÉ, Pilotage du comité d'experts en STIC du collège d'experts du dispositif de protection du patrimoine scientifique et technique de la nation (PPST)

Conseil scientifique de l'institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations sur « Développement Durable, Informatique et Technologies de l'Information »

Le Conseil Scientifique de l'Institut CNRS des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I) a organisé le 23 septembre 2019 un séminaire sur la question du développement durable. Ce séminaire, intitulé « Développement Durable, Informatique et Technologies de l'Information » s'inscrit dans le cadre des multiples initiatives visant aussi bien à la sensibilisation de l'impact environnemental des activités de la recherche qu'à la mise en place de stratégies éco-responsables à diverses échelles, de l'organisme aux unités de recherche.

Trois intervenants ont été invités par le CSI à s'exprimer sur différents aspects :

- Françoise Berthoud (GRICAD, Directrice du GDS EcoInfo) : « Numérique dans le contexte environnemental : un bout de la solution ou une partie du problème ? »
- Anne-Cécile Orgerie (IRISA): « Optimiser l'efficacité énergétique des systèmes distribués »
- Freddy Bouchet (Laboratoire de Physique ENS Lyon, membre du collectif Labos1point5) : « Les enjeux de la transition énergétique et l'impact environnemental des chercheurs »

Les présentations des trois intervenants ont permis d'apprécier la situation actuelle d'un point de vue climatique ainsi que la pertinence des différents leviers dans la réduction de l'empreinte environnementale des activités de la recherche. Les discussions ont notamment fait ressortir l'importance de s'appuyer sur les diverses ressources disponibles, souvent issues de structures et initiatives nationales (GDS EcoInfo¹, collectif Labos1point5² entre autres). Au sens des actions envisageables le CSI note l'importance d'adopter une attitude responsable s'agissant des déplacements, ainsi que dans la gestion du matériel tout au long de son cycle de vie : de l'achat à la fin de vie en passant par son exploitation. Le recours fréquent à des ressources de calculs et plateformes (Mésocentres, infrastructures propres) qui caractérise les unités INS2I fait que le CSI focalise ses recommandations sur l'optimisation de l'exploitation de ces équipements, tout en soulignant les bonnes pratiques propres aux métiers de la recherche.

¹ <https://ecoinfo.cnrs.fr>

² <https://labos1point5.org>

Les recommandations du CSI à destination des unités INS2I sont donc comme suit :

- Réaliser un bilan / audit interne initial (si non existant), en s'appuyant sur les outils et ressources d'estimation disponibles (ex. GDS EcoInfo) et en mettant l'accent sur l'empreinte des ressources de calcul et plateformes.
- Œuvrer vers la mise en place de moyens de mesures « grain fin » de la consommation électrique des divers systèmes de calcul, via une page web accessible aux personnels de l'unité³. Cet outil pourra permettre l'identification des opportunités d'optimisation et la mesure des progrès réalisés grâce à la politique de réduction de l'empreinte carbone mise en place. La mise en place de matériel dédié au « monitoring » de la consommation peut être envisagée et budgétisée.
- Développer une politique d'optimisation propre ainsi qu'un suivi annuel (complémentaire au HCERES) des progrès réalisés :
 - Sensibilisation, mise en place et suivi des actions : mise en place d'un chargé de mission, d'une commission DD ou commission informatique du site
 - Identification et référencement des moyens de calculs disponibles localement, de leur taux d'utilisation. Favoriser la mutualisation / consolidation des moyens de calculs (mésocentres, etc.)
 - Mise en place d'outils de monitoring / optimisation de la consommation des ressources informatiques mutualisées et personnalisées (PowerFreezz) via le service SI: Extinction automatique des postes fixes, mise en veille des écrans, extinction des lames inutilisées etc.
 - Gestion des équipements :
 - Souscription systématique d'une extension de garantie à 3 ou 5 ans
 - Augmenter la durée de vie : recycler les matériels vers des usagers secondaires, donations
 - Prise en compte de l'éco-responsabilité dans les marchés (matinfo)
 - Gestion des missions :
 - Mise en place d'un suivi du bilan carbone relatif aux missions de l'unité
 - Sensibilisation et invitation à utiliser des moyens de visioconférence et/ou des moyens de transport écoresponsables
- Étudier avec la tutelle en charge du patrimoine immobilier les solutions de compensation carbone envisageables (énergies renouvelables etc.).

Le CSI émet également les recommandations suivantes à l'attention de l'INS2I, recommandations qui pourraient donner lieu à la création d'un poste de chargé de mission sur les aspects ayant trait au développement durable et à l'écoresponsabilité :

- Recenser et favoriser les recherches relevant des thématiques de l'INS2I qui s'inscrivent dans le développement durable: optimisation de l'efficacité énergétique, de l'empreinte carbone du calcul etc.

³ Outils tels que Nagios, OpenNMS, Cacti ou encore Zabbix



- Fédérer les différentes actions / acteurs du développement durable dans le domaine scientifique : Labos1point5, EcoInfo, DD&RS, Groupes de travail CNRS et INRIA entre autres.
- Explorer les potentialités de collaboration pluridisciplinaires, i.e. inter-institut et en collaboration avec les autres structures du CNRS: GDS EcoInfo, Cellule Energie etc.
- Suivi annuel de la progression des unités selon un baromètre développement durable à définir en concertation.

Isabelle Queinnec
Présidente du CS INS2I

Recommandation adoptée le 23 septembre 2019
18 votants : 18 oui, 0 non, 0 abstention

Destinataires :

- M. Ali CHARARA, Directeur de l'INS2I
- Directeurs des unités de l'INS2I

Copie à :

- M. Antoine PETIT, Président Directeur Général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, Directeur Général délégué à la Science du CNRS
- Mme Frédérique VIDAL, Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.
- Mme Dorothee BERTHOMIEU, Présidente du CS CNRS
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CS INP, M. Olivier DRAPIER, président du CS IN2P3, M. Serge SIMOENS, président du CS INSIS, Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CS INSU, M. Olivier SANDRE, président du CS INC, Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CS INSHS, M. Yaël GROSJEAN, président du CS INSB, M. Remi CARLES, président du CS INSMI, Mme Patricia GIBERT, présidente du CS INEE
- Présidents des sections et CID du Comité National

Conseil scientifique de l'institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations suite au séminaire thématique « La Place des Femmes à l'INS2I » du 2/12/19

Lors de la précédente mandature, le CSI INS2I avait organisé un séminaire thématique sur "[La place des femmes dans les sciences de l'Information](#)" en Septembre 2016. Ce séminaire avait donné lieu à des [recommandations](#) en vue de :

1. Promouvoir les femmes dans les réseaux scientifiques,
2. Respecter la parité,
3. Promouvoir les figures féminines au-delà de l'INS2I.

L'objectif de la nouvelle journée thématique sur "la place des femmes à l'INS2I " du 2 décembre 2019 était de faire un point sur l'évolution de la place des femmes au sein de l'INS2I, de l'avancement par rapport aux recommandations faites précédemment et d'étudier des actions mises en place localement.

Une table ronde a suivi une série d'exposés présentant les actions mises en place par les différents acteurs du CNRS.

En plus des membres du CSI, les participants à cette table ronde étaient :

Pierre-Olivier Amblard (président de la section 7), **Mathieu Arbogast (chargé de projet à la mission pour la place des femmes au CNRS)**, Michèle Basseville (représentante INS2I au comité parité-égalité femmes-hommes CNRS), Hubert Comon-Lundth (président de la section 6), Elisabeth Kohler (directrice de la mission pour la place des femmes au CNRS), Olivier Serre (chargé de mission parité-égalité femmes-hommes à l'INS2I), Pierre Senellart (membre de la section 6, chargé des statistiques sur les concours et promotions dans la section) et Anne Siegel (chargée de mission parité-égalité femmes-hommes à l'INS2I).

Exposés réalisés lors de la journée thématique

Les femmes représentent 22% de l'INS2I tous statuts confondus (chercheur set enseignants-chercheurs). La plus grande disparité apparaît dans le début de carrière où seulement 19% des chercheurs CR sont des femmes alors que 26% des maîtres de conférences sont des femmes. Le plafond de verre à l'accès aux postes plus élevés (PR et DR) apparaît alors chez les chercheurs et les enseignants chercheurs où 16% des DR sont des femmes et 17% des professeurs sont des femmes.

Olivier Serre (IRIF) et Anne Siegel : « La parité à l'INS2I »

Olivier Serre et Anne Siegel nous ont présenté un état des lieux à l'INS2I et les premières actions mises en place. Le CNRS s'est doté de plusieurs instances afin d'agir pour la parité au sein du CNRS. Nous pouvons citer : la *Mission pour la place des femmes* du CNRS qui donne un cadre général, plan d'action/prévention et un *Comité parité-égalité* qui donne des recommandations pour les instituts et les sections. Au sein de l'INS2I une politique de parité se met en place avec des objectifs à court,

moyen et long termes. Les actions doivent être aussi bien menées au national qu'en local directement avec les DU.

Anne Siegel (IRISA) : « Actions concrètes à l'IRISA »

Un panorama des actions mises en place à l'IRISA et du rapport effectué par [le GT égalité femmes/hommes IRISA & Inria RBA](#). Cela a conduit à différentes actions :

1. Actions de sensibilisation, via accordéons/flyers/quizz et journées de sensibilisation.
2. Actions sur le quotidien : faciliter la vie quotidienne, prévenir le harcèlement, rendre la science des femmes visibles.
3. Actions sur les carrières : club sandwich (girls only, bimensuel) , mentorat.
4. Actions en amont : vers les scolaires.

Après 2 ans de mise en place, les choses commencent à bouger mais l'action portera à long terme.

Elisabeth Kohler (CNRS) : « Actions concrètes au CNRS »

Le pourcentage de chercheuses varie dans les différents instituts de 18,4% pour l'INSMI à 48,7% pour l'INSHS. Avec 22,3% de chercheuses, l'INS2I se situe en troisième position des instituts les moins féminisés. Le CNRS dispose de plusieurs instances dédiées à la question de l'égalité, à plusieurs niveaux : le comité égalité-parité et la mission pour la place des femmes au siège, les correspondants égalité (COREGAL) dans les délégations régionales. En termes d'actions concrètes, le comité national a organisé un atelier de réflexion sur les critères équitables d'évaluation le 19 juin 2019, <https://evalequit-cn.sciencesconf.org/> afin de diminuer les inégalités F/H dans les promotions. Le CNRS a signé la charte pour une communication publique sans stéréotype. La première conséquence est que l'ancien "guide du candidat" devient "guide du candidat et de la candidate". Un objectif global est d'accroître la visibilité des femmes au CNRS, notamment dans les conférences (comité de programme, présentation invité), dans les promotions, et au niveau des postes à responsabilité (directions d'équipes, de laboratoires).

Recommandations du CSI

Harcèlement et sexisme.

La mission pour la place des femmes mène un travail important pour lutter contre le harcèlement et le sexisme dans les unités. Cependant, ces actions sont peu connues au niveau des personnels.

La relation Doctorant.e/Encadrant.e est asymétrique : l'encadrant.e bénéficie d'une position d'autorité liée à sa fonction de direction et d'encadrement de la thèse et dispose de moyens très concrets pour influencer la carrière de l'encadré.e. Un comportement à caractère sexuel ou amoureux, qu'il soit répété ou non, que l'encadré.e y réponde favorablement ou non peut être considéré comme un abus d'autorité et fait encourir le risque de stopper ou d'avantager la carrière de l'encadré.e.

Le CSI recommande de protéger l'encadrement doctoral des risques résultant d'un comportement à caractère sexuel ou amoureux en identifiant explicitement ces risques et en recommandant à un.e encadrant.e qui envisagerait des relations intimes avec un.e doctorant.e de se déporter de la thèse au profit d'un.e collègue.

De nombreux facteurs de risques ont été identifiés dans l'ESR : relation hiérarchique, personnels précaires, importance du réseau pour la carrière. D'autres risques s'ajoutent à l'INS2I avec la faible mixité et l'importance des conférences. Les recommandations suivantes visent la prise de conscience autant que la prévention.

Le CSI recommande de :



- généraliser la création, au niveau des unités, des comités parité et/ou des correspondants égalité Femmes/Hommes,
- éditer un code de conduite adopté par toutes les conférences soutenues par l'institut (comme par exemple celui édité par l'ACM, ou des conférences comme NIPS, POPL, ETAPS) et accessible sur la page web de l'INS2I,
- informer tous les personnels (permanents ou non) sur les comportements non-acceptables et les spécificités de l'INS2I par un guide de de conduite disponible sur le site de l'INS2I (comme par exemple la page du clashes concernant l'information sur le harcèlement) mettant en évidence les spécificités de l'INS2I (conférences, faible mixité) et de l'ESR (encadrement doctoral,...).

Répartition et recrutement des femmes et hommes au CNRS

Le CNRS compte 34% de femmes parmi les chercheurs et 50% parmi les IT. Dans les unités de l'INS2I, en agrégeant les CNU 26, 27, 61, INRIA et les sections CNRS 6 et 7, les taux sont de 22% parmi les chercheurs et 46% parmi les IT. Depuis les recommandations du séminaire du CSI en 2015, la situation n'a pas évolué (respectivement 23% et 46%), et ce malgré les actions mises en place (création du comité parité-égalité au CNRS, chargé.e.s de mission et actions à l'INS2I, référents parité dans les sections,...). À l'issue du séminaire du 2 décembre 2019, le conseil scientifique a identifié plusieurs leviers pour tenter de remédier à cette situation.

Recrutements CNRS.

26% des MCF sont des femmes et seules 19% des CR sont des femmes. Ces chiffres sont à comparer avec les 25% de thèses soutenues par des femmes dans les domaines relevant de la section 6 en 2017 (rapport de conjoncture de la section 6 en 2019). Actuellement ce déficit n'est pas corrigé lors du concours car la proportion de candidatures féminines est trop faible (en 2019, 11% en section 6 et 18% en section 7). Pour remédier à cette situation, et dans le but d'atteindre un jour la parité,

Le CSI recommande à l'INS2I de :

- adopter des objectifs de pourcentages à atteindre à moyen terme sous 5 ans (30% de doctorantes, 25% de candidates) et à plus long terme (40% de doctorantes, 40% de candidates) et de se donner les moyens de les atteindre (cf infra),
- proscrire les positions qui génèrent de la précarité (tenure tracks, chaires juniors) qui ont tendance à détourner les femmes des métiers de la recherche.

Pour parvenir à ces objectifs, il faut aller au-delà du constat d'autocensure des femmes qui ne candidatent pas assez. En effet, une candidature à un concours tel que le CNRS s'appuie sur le soutien par un réseau de recherche. Les sections 6 et 7 mènent une politique en terme de parité qui doit être mieux connue des candidat.e.s. Les personnels de recherche ont un rôle fondamental à jouer en suscitant les candidatures auprès des étudiantes de master aux bourses doctorales et à travers le mentorat des doctorantes et post-doctorantes et ce jusqu'aux concours. Les unités de recherche ont un rôle à jouer en se fixant des objectifs en termes de nombre de doctorantes formées dans cette unité se présentant le concours, mais aussi en se fixant des objectifs en terme de nombre de candidates demandant une affectation dans cette unité (tout en respectant leur choix final).

Le CSI recommande aux sections 6 et 7 de :

- dans les conseils aux candidats et les critères d'évaluation édités par les sections :
 - décrire le rôle du référent parité et les dispositifs mis en place dans les concours,
 - affirmer que les comités encouragent aussi bien les candidates que les candidats à se présenter aux concours, afin de lutter contre l'autocensure,
- publier, pour chaque unité (potentiellement anonymisée), le pourcentage de candidates :



- dont la thèse a été effectuée dans le laboratoire,
- demandant l'affectation dans ce laboratoire,
- évaluer les chercheurs et chercheuses sur la proportion de doctorantes encadrées (à partir d'un certain nombre) et sur les actions de mentorat auprès des chercheuses (et autres actions favorisant la parité dans la discipline) au même titre que la valorisation ou la médiation,
- aligner avec les standards européens (ERC) la prise en compte d'interruption de carrière pour chaque enfant (18 mois) (actuellement, les sections 6 et 7 prennent en compte un an).

Le CSI recommande aux unités de recherche de :

- dénombrer (et comparer aux statistiques nationales) indépendamment
 - le nombre de candidates/candidatures dont la thèse a été effectuée dans le laboratoire,
 - le nombre de candidates/candidatures demandant l'affectation dans ce laboratoire,
- mettre en place un mentorat des doctorantes les incitant à candidater au CNRS.

Défaut de représentativité des femmes dans les événements scientifiques (séminaires, groupes de travail et conférences,...)

L'INS2I a déjà agi en conditionnant le financement des conférences à une politique de parité dans les comités et les exposés. Pour accompagner l'évaluation de ces politiques,

le CSI recommande à l'INS2I d'afficher sur une page internet dédiée à la parité

- les pourcentages des femmes parmi les permanent.e.s et parmi les doctorant.e.s pour chaque domaine relevant de son périmètre (à travers par exemple les GdR), afin de donner des repères aux organisateurs de séminaires, groupes de travail et conférences et de permettre de détecter les biais,
- un guide de bonnes pratiques pour l'organisation des événements (par exemple, le guide de l'IMJ).

Le CSI recommande aux unités de recherche de dénombrer les pourcentages :

- de doctorantes pour chaque domaine du périmètre de l'INS2I,
- de permanentes pour chaque domaine du périmètre de l'INS2I,
- d'oratrices et de participantes pour chaque événement scientifique et le comparer aux viviers recensés par l'INS2I.

Quotidien et carrière

Un travail important est entrepris par l'INS2I dans l'accompagnement des unités pour améliorer la vie quotidienne, l'inclusion des femmes et améliorer leurs carrières. Les comités parité - égalité viennent en soutien de cette action.

Le CSI recommande à l'INS2I de :

- mettre en place des aides financières et administratives pour prolonger les contrats déterminés (doctorat, post-doctorat,..) à la suite des congés maternités,
- poursuivre le partage des bonnes pratiques entre les unités via des guides pour permettre aux personnels de concilier vie familiale et vie professionnelle dans toutes les instances (horaires et jours des réunions, aide pour l'organisation de la vie familiale lors des conférences,...),
- poursuivre le partage des bonnes pratiques entre les unités via des guides pour créer un climat de travail serein (identifier les stéréotypes propres à la recherche et à l'informatique...).



Vivier

La création de la spécialité NSI (numérique et sciences informatiques) dans l'enseignement secondaire est une avancée certaine pour la formation d'un vivier pour l'INS2I. Cependant, les premières données montrent un faible engouement pour cette spécialité encore plus marqué chez les lycéennes.

Le CSI recommande de :

- nommer un chargé de mission à la médiation et un référent médiation dans les unités,
- présenter, sur une page web dédiée sur le site de l'INS2I, les métiers de la recherche et la diversité des domaines de recherche à l'INS2I, à destination des lycéen.e.s et étudiant.e.s,
- organiser, financer et soutenir les unités dans les actions de médiation (stage de collèges, parrainage un chercheur - une classe,...).

Isabelle Queinnec
Présidente du Conseil Scientifique de l'INS2I

Recommandation adoptée le 8 juillet 2020
18 votants : 17 oui, 0 non, 1 abstention

Destinataires :

- M. Ali CHARARA, directeur de l'INS2I
- Directeurs des unités de l'INS2I
- M. Hubert COMON-LUNDH, président de la section 6
- M. Pierre-Olivier AMBLARD, président de la section 7
- Mme Elisabeth KOHLER, directrice de la Mission pour la place des femmes au CNRS
- Mme Michèle BASSEVILLE, représentante INS2I au Comité parité-égalité femmes-hommes CNRS
- M. Olivier SERRE, chargé de Mission parité-égalité femmes-hommes à l'INS2I
- Mme Anne SIEGEL, chargée de Mission parité-égalité femmes-hommes à l'INS2I

et copie à :

- M. Antoine PETIT, président directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- Mme Frédérique VIDAL, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
- Mme Dorothée BERTHOMIEU, présidente du CS CNRS
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CS INP, M. Olivier DRAPIER, président du CS IN2P3, M. Serge SIMOENS, président du CS INSIS, Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CS INSU, M. Olivier SANDRE, président du CS INC, Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CS INSHS, M. Yaël GROSJEAN, président du CS INSB, M. Remi CARLES, président du CS INSMI, Mme Patricia GIBERT, présidente du CS INEE
- Présidents des sections et CID du Comité National

Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations résultant du séminaire « Systèmes et architectures intégrés matériel logiciel pour l'Intelligence Artificielle »

L'Intelligence Artificielle est une des sciences qui marquera le plus profondément ce siècle, l'humanité progressant à pas de géants dans ce domaine. Les progrès incessants en apprentissage statistique, par exemple, catalysent et ouvrent des perspectives nouvelles dans tous les champs disciplinaires comme les sciences humaines et sociales, la biologie, l'environnement, la médecine etc.

Ceci s'accompagne naturellement de défis multiples : sociétaux, éthiques mais aussi scientifiques et technologiques. Les progrès ininterrompus réalisés en apprentissage sont conditionnés par l'avènement d'architectures de calcul toujours plus performantes. Les moyens de calculs mobilisés aujourd'hui sont de plus particulièrement énergivores, à un tel point que l'empreinte carbone de l'IA devient préoccupante.

Le Conseil Scientifique de l'Institut CNRS des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I) a organisé le 22 septembre 2020 le séminaire « Systèmes et architectures intégrés matériel logiciel pour l'Intelligence Artificielle », visant à faire le point sur ces questions et à dégager des recommandations pertinentes.

Trois intervenants ont été invités par le CSI à s'exprimer sur différents aspects :

- Ian O'Connor (INL, Directeur du GdR SoC2): « *Le GdR SoC2 et l'IA embarquée* »
- Marc Duranton (CEA Fellow) : « *Considérations énergétiques de l'IA et perspectives* »
- Julie Grollier (Unité Mixte de Physique CNRS/Thales - UMPHy) : « *Circuits neuromorphiques et IA* »

Les présentations des trois intervenants ont permis d'apprécier la dimension très largement pluridisciplinaire des travaux menés à l'échelle européenne mais également nationale. L'IA apparaît omniprésente dans les divers champs scientifiques avec des initiatives de natures diverses faisant progresser, utilisant ou contribuant à l'IA. Il se dégage en particulier un verrou préoccupant s'agissant de l'efficacité énergétique des architectures matérielles exploitant les technologies de fabrication conventionnelles (Silicium, CMOS, numérique). Ceci oppose un frein à la vision ubiquitaire de l'IA qui se dessine pour demain, avec notamment une approche fortement décentralisée (Edge AI) qui impose des performances énergétiques hors de portée des systèmes et architectures d'aujourd'hui.

L'émergence d'approches interdisciplinaires et en rupture, apparaît comme une nécessité pour relever les défis de demain. On peut, de manière macroscopique, distinguer trois composantes principales dans les recherches menées : *modèles de calcul, architectures de calcul et technologies.*

Au titre des *modèles de calcul*, on pourra citer les initiatives très prometteuses qui invitent à repenser les modèles mathématiques pour l'apprentissage, dans la droite lignée des travaux émanant à la fois de la physique statistique (machine de Boltzmann, réseaux de Hopfield) et des sciences de la cognition / neurosciences (neuromorphique), par exemple. On relève également des travaux tout aussi prometteurs visant à repenser les *architectures de calcul* (calcul en mémoire), le codage et le traitement de l'information (calcul approximatif, réseaux à impulsion). Enfin, les travaux exploitant les *technologies* émergentes (memristors, mémoires magnétiques) mais aussi par extension les technologies quantiques sont également d'une importance capitale pour atteindre des gains de plusieurs ordres de grandeur.

A la lumière de la nature très fortement pluridisciplinaire des ruptures scientifiques en maturation, les recommandations du CSI à destination de l'INS2I sont donc comme suit :

- Si l'INS2I occupe une place centrale dans le domaine de l'IA, la très forte pluridisciplinarité sous-jacente induit pour la communauté une vision partielle des opportunités scientifiques d'interactions à l'interface avec d'autres instituts (notamment INSIS, INP mais aussi INSB) sur le sujet large du matériel, qu'il soit informatique, physique ou encore biologique, pour l'IA de demain. La mise en place d'une plateforme dont la forme et le périmètre reste à définir, permettant une structuration des compétences académiques apparaît ainsi comme une approche pertinente pour casser les « silos » et ainsi contribuer à l'émergence d'une communauté IA transverse avec comme dénominateur commun le support d'exécution. Les DAS ainsi que les chargés de missions IA de l'institut pourraient coordonner cette action, en sollicitant les GDR actifs sur les sujets traités (SoC², BioComp, IA, MADICS etc.) ainsi que la société Savante Francophone d'Apprentissage Machine (SSFAM) pour alimenter cette plateforme.
- La mise en place de moyen incitatifs inter-instituts, à travers la MITI par exemple, permettrait de catalyser des collaborations sur des directions qui pourraient être esquissées (sur les 3 axes précédents : modèles de calcul, architectures de calcul, technologies) et soumises à la MITI. La nature ouverte de ces appels est ici essentielle pour faire émerger des dynamiques collaboratives interdisciplinaire sur l'IA.
- Les moyens courants et à venir sur l'IA « sobre » dans le cadre du plan de relance, mais aussi du « Green Deal » peuvent s'inscrire dans le prolongement de cette logique, avec des objectifs plus ambitieux. L'institut pourrait ici être proactif dans une démarche de rationalisation des efforts à travers des échanges avec les autres instituts CNRS mais aussi les instituts 3IA et contribuer à provoquer des inflexions constructives, aussi auprès des agences telles que l'ANR.

Isabelle Queinnec
Présidente du Conseil scientifique de l'INS2I

Recommandation adoptée le 29 mars 2021
20 votants : 18 oui, 2 abstentions



Destinataires :

- M. Ali CHARARA, directeur de l'INS2I
- M. André LE BIVIC, directeur de l'INSB
- Mme Astrid LAMBRECHT, directrice de l'INP
- M. Jean-Yves MARZIN, directeur de l'INSIS
- M. Jacques MADDALUNO, directeur de l'INC
- M. Ian O'CONNOR, directeur du GDR SoC2
- M. Sylvain SAIGHI, directeur du GDR BIOCOMP
- M. Sebastien KONIECZNY, directeur du GDR IA
- Mme Sarah COHEN BOULAKIA, directrice du GdR MaDICS
- M. Eric GAUSSIER, directeur de l'Institut 3IA MIAI@Grenoble-Alpes
- M. Charles BOUVEYRON, directeur de l'Institut 3IA Côte d'Azur
- Mme Isabelle RYL, directrice de l'Institut 3IA PRAIRIE
- M. Nicolas VIALLET, directeur de l'Institut 3IA ANITI

Copies à :

- Mme Dorothée BERTHOMIEU, présidente du Conseil scientifique du CNRS
- Mme Martina KNOOP, directrice de la MITI du CNRS
- M. Amaury HABRARD, président de la Société savante francophone d'apprentissage machine (SSFAM)

Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations résultant du séminaire « Éthique : Quand les sciences du numérique s'invitent de près dans la vie des humains »

Les sciences de l'information ne peuvent s'affranchir des questions d'éthique. Qu'elles traitent nos données personnelles ou qu'elles modifient nos habitudes de vie ou nos rapports sociaux, une masse croissante de technologies soulèvent des problèmes d'éthique. Un exemple peut être emprunté à Jean-Gabriel Ganascia¹ pour illustrer la complexité de trancher sur ces questions : si beaucoup s'offusqueraient d'implants dans le cerveau pour créer un réseau de cerveaux en ligne comme Elon Musk le propose avec sa société NeuraLink, tout le monde se réjouirait du même type d'implant s'il était utilisé pour la rééducation de patients ayant subi un traumatisme crânien.

Le Conseil Scientifique de l'Institut CNRS des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I) a organisé le 1^{er} décembre 2020 un séminaire sur les questions d'éthique qui touchent les activités de l'INS2I, avec pour but de mettre en emphase ces questions et de dégager des recommandations pour l'institut.

Quatre intervenants et un invité se sont exprimés :

- Claude Kirchner, CCNE pour les sciences de la vie et de la santé, Comité national pilote d'éthique du numérique, Inria (Intervenant)
"Éthique du numérique: où et comment y réfléchir et y contribuer ?"
- Michel Beaudouin-Lafon, Université Paris-Saclay et vice-chair de l'ACM TPC (Intervenant)
"Éthique et politiques publiques : l'expérience de l'ACM Technology Council"
- Wendy Mackay, Inria (Intervenante)
"Éthique et IHM : qui protège-t-on ?"
- François Pellegrini, Université de Bordeaux (Intervenant)
"Enjeux éthiques de la protection des données à caractère personnel"
- Rémy Mosseri, CNRS, membre du COMETS (Invité)

Les problèmes d'éthique en recherche sur le numérique se posent dès lors que les contributions des chercheurs ou l'usage de ces contributions questionnent le système de valeurs des individus. *Est-ce que mes recherches respectent la vie privée des utilisateurs ? Est-ce que mon nouveau périphérique d'entrée est ergonomique ? Est-ce que l'utilisateur garde son autonomie en utilisant un système qui serait basé sur mon algorithme intelligent ?* Voici autant d'exemples de questions éthiques qui doivent soulever des débats pour prendre des décisions délicates. Ces questions s'organisent en deux catégories : les questions d'éthique *générique* (touchant potentiellement l'ensemble de la société sur des thématiques générales) et les questions d'éthique *opérationnelle* (concernant l'activité de recherche elle-même, les méthodes utilisées pour un projet de recherche ou un protocole expérimental). Il est indispensable que les chercheurs soient en mesure de se poser les bonnes questions suffisamment en amont, et puissent identifier aisément les bons interlocuteurs pour en

¹ extrait d'un chapitre sur l'éthique des interfaces humain-machine publié prochainement aux éditions du CNRS.

discuter. Cette capacité à entrevoir les enjeux d'éthique et à en débattre repose sur la *sensibilisation et la formation des chercheurs* à ce qu'est l'éthique, afin qu'ils se posent les bonnes questions. Ces réflexions doivent être systématiques pour les questions opérationnelles. Les chercheurs doivent aussi prendre du recul régulièrement pour réfléchir à leurs domaines de recherche et à leurs potentielles applications avec une approche générale. Une meilleure formation des chercheurs à l'éthique favorisera une recherche responsable vis-à-vis de la société et de l'individu, et améliorera aussi leur capacité à prendre la parole dans l'espace public — ne serait-ce que pour modérer les propos de journalistes qui diffuseraient rapidement et de manière déformée des résultats scientifiques ou qui, soumis à l'enthousiasme que provoque une innovation, oublieraient d'évoquer les problèmes d'éthique qu'elle soulève.

Il est également souligné que les questions d'éthique dépendent de la perspective adoptée, et que l'interdisciplinarité aide à adopter un point de vue plus englobant et à capturer et traiter davantage de questions et problématiques. Les SHS peuvent notamment apporter un éclairage et une perspective enrichissante sur les questions du numérique. Les chercheurs du numérique peuvent en effet avoir des difficultés à prendre de bonnes décisions face à un risque supposé lointain (par opposition à un gain certain immédiat). Les présentations ont également pointé le fait que certains instituts et organes ont une forte expérience dans le traitement des questions d'éthique. C'est le cas de l'INSB par exemple, ou des espaces régionaux éthiques, essentiellement rattachés aux CHUs. Cette expérience est souvent orientée vers le domaine médical, mais elle pourrait être adaptée aux questions spécifiques du numérique, que ce soit concernant le traitement des données sensibles comme à propos de la conduite d'expériences de recherche non interventionnelles, très courantes en Interaction Humain-Machine par exemple.

Discuter des questions d'éthique nécessite de pouvoir accéder à l'information disponible sur ces questions. Aujourd'hui, des corpus de ressources existent (les rapports du COMETS, du CCNE, mais aussi de l'ACM Technology Policy Council si l'on sort des frontières françaises) mais ils sont dispersés et peu structurés. Centraliser et indexer ces ressources dans un portail/système d'information faciliterait leur accès et permettrait aux chercheurs d'aborder les questions d'éthique de manière plus efficace.

A la lumière de ce séminaire, le CSI formule les recommandations suivantes à destination de l'INS2I:

- en plus du COMETS, créer une structure d'échange propre au CNRS vers lequel les chercheurs pourraient se tourner pour leurs problèmes d'éthique opérationnels. Cette structure n'aurait pas vocation à regrouper toutes les compétences mais plutôt à *indexer* les *interlocuteurs* (Comités d'Éthique de la Recherche des Universités par exemple) et les *ressources* pertinentes (textes de la CNIL par exemple).
- proposer des formations à tous les personnels de la recherche afin de sensibiliser aux questions d'éthique et d'apprendre à les traiter de manière adéquate — d'abord en tant que chercheur dans la pratique de notre métier, mais aussi en prenant en compte les conséquences sociétales de nos travaux et de façon à pouvoir intervenir dans l'espace public/médiatique. Une piste d'entrée pour le CNRS serait de faire mention spécifiquement de l'éthique dans l'AAP unique en ajoutant une case « formations transversales » (avec comme exemple : éthique, parité, harcèlement).
- créer des lieux de discussion (forums...) permettant d'aborder les problèmes de façon interdisciplinaire, et organiser des colloques (comme celui qui avait été fait pour "humain et numérique en interaction" par exemple)



- en tant que tutelle de laboratoires universitaires, s'assurer que les sciences du numériques sont dans le domaine de compétences des comités éthiques locaux (comme les Comités d'Éthique de la Recherche — CER) afin qu'ils puissent traiter les questions du numérique de façon plus experte (le COERLE d'Inria peut servir d'inspiration) et flexible (par exemple, avec des systèmes d'« ombrelle » pour des séries de recherche non interventionnelles et de même nature).

Isabelle QUEINNEC
Présidente du Conseil Scientifique de l'INS2I

Recommandation adoptée le 24 février 2021
A l'unanimité de 21 votants

Destinataires :

- M. Ali CHARARA, directeur de l'INS2I
- Mme Jacqueline FAGARD, présidente de la Fédération des Comités d'éthique de la recherche (CER)
- Mesdames et Messieurs les directrices et directeurs des unités INS2I et à tous leurs personnels

Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations suite au séminaire thématique "Science ouverte" (« Pratiques de publication »)

Le Conseil Scientifique de l'Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I) du CNRS a organisé le 6 juin 2021 un séminaire thématique "Science ouverte". Ce séminaire se place dans le contexte d'une mobilisation importante pour la science ouverte au CNRS et plus généralement en France, avec notamment l'annonce récente du deuxième Plan national pour la science ouverte.

Le sujet étant vaste et riche, le choix a été fait de se concentrer sur les publications et les logiciels, mais pas sur les données. Trois intervenants ont été invités par le CSI à s'exprimer sur ces différents aspects :

- Daniel Le Berre, Professeur Université d'Artois, Lens : « *Enquête sur les pratiques de publication de la SIF : focus sur la science ouverte* »,
- Roberto Di Cosmo, Professeur Université Paris Diderot, Paris : « *Construire le pilier logiciel de la Science Ouverte : opportunités et enjeux* »,
- Denis Bourguet, Directeur de recherche INRAE à Montpellier, et Thomas Guillemaud, Directeur de recherche INRAE à Sophia-Antipolis : « *Modèles de publication et l'expérience Peer Community In* ».

Séminaire de Daniel Le Berre : « Enquête sur les pratiques de publication de la SIF : focus sur la science ouverte ».

Le conseil des associations de la société informatique de France (SIF) a élaboré **un référentiel des pratiques de publication en informatique** dans le but cartographier les pratiques de publication des enseignants-chercheurs et chercheurs en informatique en France. Un sondage eu lieu entre octobre 2018 et février 2019. Le document qui a vocation à évoluer au cours du temps, se décline en deux parties. Une analyse globale des pratiques de publication de la discipline informatique et une analyse plus détaillée par thématique opérée par les associations thématiques ou les GDR. Concernant l'archivage ouvert, la tendance générale est de déposer ses publications une fois l'article accepté. En algorithmique, recherche opérationnelle et en informatique théorique, l'utilisation des archives ouvertes se fait souvent avant la soumission, ou au moment de la soumission, ce que l'on ne retrouve pas dans les autres thématiques. Le choix de la revue ne dépend pas du fait que l'accès aux articles soit ouvert ou pas.

La question des publications en accès ouvert gratuit ou payant, et des pratiques vertueuses (ou pas) de la science ouverte, est développée dans le séminaire de Denis Bourguet et Thomas Guillemaud.

Séminaire de Roberto Di Cosmo : « Construire le pilier logiciel de la Science Ouverte : opportunités et enjeux ».

Le logiciel est désormais partout, dans toutes les disciplines si bien qu'on peut avoir l'impression que les informaticiens produisent moins de logiciels que les autres. L'élément essentiel est le code source qui encapsule toute la connaissance produite par ailleurs. Dans son livre paru en 1985, Harold Abelson énonçait que « les programmes doivent être écrits de sorte que les gens puissent les lire, et accessoirement pour que les machines les exécutent ». Dans les années 1980, très peu de codes source étaient disponibles, ce qui n'est plus le cas de nos jours. Les trois piliers de la science ouverte sont les archives ouvertes, les données ouvertes, les codes sources ouverts. La prise de conscience tardive mais grandissante de l'importance du pilier logiciel de la science ouverte pose des questions majeures, notamment pour ce qui concerne la reproductibilité des résultats et la reconnaissance des productions logicielles dans la recherche. L'infrastructure mutualisée « Software Heritage », laquelle a pour objectif de collecter, préserver et partager tous les codes sources publiquement disponibles, apporte un élément de réponse important pour le premier de ces enjeux, et il est souhaitable d'accélérer son adoption par notre communauté. Une réflexion en profondeur doit être engagée pour le deuxième enjeu, en concertation avec d'autres disciplines, notamment dans le cadre du Comité d'Orientation de la Science Ouverte (CoSO) au niveau national, des sociétés savantes et de l'EOSC à niveau international.

Un enjeu important concerne l'archivage à long terme : comment garantir que l'environnement logiciel de notre époque soit décrypté dans 100 ou 500 ans ? Préserver l'environnement nécessaire pour exécuter des logiciels est un défi majeur qui n'a pas encore de réponse définitive, il sera cependant toujours possible de lire et de comprendre les codes sources, d'où l'importance d'archiver ceux-ci.

Séminaire de Denis Bourguet et Thomas Guillemaud : « Modèles de publication et l'expérience Peer Community In ».

Les chercheurs publient pour que leurs travaux soient rendus publics. Quelques grands éditeurs publient 50% des publications, cela représente une industrie extrêmement lucrative, par exemple la publication d'un article dans la revue Nature coûte 9500 €. L'initiative Plan S vise à garantir un accès libre, complet et immédiat aux publications scientifiques évaluées par les pairs et financées par des institutions publiques ou privées. De nouveaux modes de publications se déploient, par exemple le modèle F1000, racheté par l'éditeur Taylor & Francis, reposant sur les archives ouvertes et le fait que les rapports soient publics. Le projet « Peer Community In (PCI) » a pour objectif de créer des communautés de chercheurs qui évaluent et recommandent les articles de leur champ scientifique déposés dans des archives ouvertes, par exemple PCI Ecology, PCI Evolutionary Biology, PCI Genomics. Ce mode de publication est gratuit et les décisions éditoriales, les recommandations ainsi que les rapports sont rendus publics. Au comité national, les sections 29, 30 et 52 et le conseil scientifique de l'INEE soutiennent ce projet.

Le projet PCI, encore assez méconnu dans la communauté informatique, suscite de nombreuses interrogations : y a-t-il un éditeur en chef qui définirait une ligne éditoriale ? les auteurs et les rapporteurs peuvent-ils décider d'être anonymes ? quel est le niveau d'internationalisation du projet ?

Denis Bourguet et Thomas Guillemaud apportent les réponses suivantes : le « managing board » fait office de comité éditorial. Les rapporteurs choisissent de signer ou non les rapports, il y a de très bons arguments pour ou contre l'anonymat des rapporteurs, on observe qu'environ 40% des rapporteurs apposent leur signature. Les éditeurs associés et les référés certifient qu'ils n'ont de conflit d'intérêt ni avec les auteurs

ni avec le contenu de l'article. Concernant l'internationalisation, les fondateurs sont français mais dans chaque communauté au moins 80% des éditeurs associés sont étrangers. En revanche, il y (encore) davantage de soumissions de la part d'équipes françaises que d'équipes internationales.

Il est fait remarquer qu'il serait plus judicieux de s'intéresser à la manière de mutualiser les coûts, notamment des infrastructures d'archives ouvertes, plutôt que de focaliser notre attention sur le prix des publications. Il faudra ensuite s'atteler à sortir les revues prestigieuses du giron des éditeurs.

Une observation générale est que les institutions ne doivent absolument pas pré-payer les frais de publication, car cela ne résoudra pas le problème du déséquilibre entre le coût véritable et le prix des publications.

Recommandations du CSI

À la communauté :

- Adopter les bonnes pratiques de citation et référencement des logiciels produits ou utilisés.
- Pérenniser la production logicielle de la recherche sur Software Heritage. – Archiver systématiquement les codes sources des logiciels de recherche et les référencer en utilisant les identifiants pérennes **SWHID**. – Promouvoir ces pratiques dans nos communautés internationales, en s'assurant que l'archivage et le référencement dans Software Heritage soit bien pris en compte, par exemple pour obtenir le badge "Artifact Available", en particulier par les Artifact Evaluation Committees.

Aux sections du Comité national :

- Valoriser toute la production scientifique dans l'évaluation de l'activité des chercheurs et ingénieurs (notamment logicielle, voir, par exemple, la note de la CE Inria [<https://hal.inria.fr/hal-03110723>], sans oublier la production de données).
- Valoriser la publication des résultats en version complète, ne serait-ce que comme preprint en archive ouverte, même dans les domaines ne publiant classiquement, qu'en conférences et pas en revues.
- Face à la profusion envahissante de revues prédatrices en open access, réaffirmer l'importance de privilégier les publications dans des canaux garantissant un processus de relecture impartial et reposant sur un comité éditorial qualifié.
- Encourager les chercheurs.euses à passer par des journaux ou plateformes, comme PCI par exemple, qui publient les rapports d'évaluation, les décisions des éditeurs et les réponses des auteurs aux remarques des évaluateurs. Les inciter à déposer leur données brutes, codes et scripts d'analyse sur des archives ouvertes, le développement de ces pratiques permettant d'assurer une plus grande fiabilité et reproductibilité des résultats.

À l'institut :

- Soutenir les initiatives visant à basculer les conférences et revues prestigieuses dans un système Open Access de coût raisonnable : LIPIcs, épi-journaux, « Peer Community In (PCI) », etc.
- Rappeler l'obligation faite aux chercheurs.euses de publier systématiquement en accès libre leurs publications scientifiques évaluées par les pairs et soutenues pour plus de 50% par des financements publics, de manière à en garantir un accès complet et immédiat (ou après une période d'embargo).
- Résister à la dérive vers le fonctionnement auteur-payeur (que ce soit sous la forme laboratoire-payeur, organisme-payeur, ou autre) que les grands éditeurs commerciaux tentent d'imposer. Encourager les chercheurs.euses à publier dans des journaux diamants (i.e., des journaux libre d'accès et sans frais pour les auteurs), de manière à éviter le paiement de frais de publication (APC) et limiter ainsi l'impact financier sur nos institutions.

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I



Recommandation adoptée le 7 décembre 2021

Vote : 16 oui, 0 non, 0 abstention

Destinataires :

- M. Ali CHARARA, directeur de l'INS2I du CNRS
- Mme Sylvie ROUSSET, directrice des données ouvertes de la recherche (DDOR) au CNRS
- Directeurs des unités de l'INS2I
- M. Pierre SENELLART, président de la Section 6
- Mme Inbar FIJALKOW, présidente de la Section 7
- Présidentes et présidents des Sections et CID du Comité National

et copie à

- M. Antoine PETIT, président directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- Mme Dorothee BERTHOMIEU, présidente du Conseil scientifique du CNRS
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CS INP ; M. Olivier DRAPIER, président du CS IN2P3 ; M. Serge SIMOENS, président du CS INSIS ; Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CS INSU ; M. Olivier SANDRE, président du CS INC ; Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CS INSHS ; M. Yaël GROSJEAN, président du CS INSB ; M. Remi CARLES, président du CS INSMI ; Mme Patricia GIBERT, présidente du CS INEE



Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations résultant du séminaire « Vote par correspondance électronique »

Utilisé de plus en plus fréquemment, le vote par correspondance électronique pose de nouvelles questions à l'interface des sciences juridiques, des sciences politiques et de l'informatique. À l'inverse des votes se déroulant dans des lieux dédiés, comme les bureaux de vote, où des observateurs garantissent le bon déroulement du scrutin, le vote par correspondance s'effectue à domicile, au travail ou dans un autre lieu qui n'est à priori pas directement dédié à l'élection. Quand le vote par correspondance est, de surcroît, électronique, viennent s'ajouter des questions sur la transparence et la sécurité de la transmission de l'expression du vote vers l'« urne ». Une des particularités du vote électronique est la possibilité de fraudes massives et peu perceptibles. Par ailleurs, dans le cas d'une fraude avérée, le juge chargé d'examiner le contentieux électoral devra s'appuyer sur une expertise technique approfondie pour analyser les documents produits par les protocoles informatiques. Bien que les systèmes de vote électronique actuels et leurs déploiements sur des terminaux personnels présentent des risques importants qui remettent en cause la confiance dans le résultat des élections, le recours au vote par correspondance électronique est de plus en plus fréquent, y compris au CNRS. Cela peut générer des dysfonctionnements comme ceux qui ont été constatés lors des élections du comité national (CoNRS) au printemps 2021 : illusion de la double authentification, modification de l'implémentation du vote électronique au cours de la période de vote, impossibilité de vérifier effectivement le vote à partir des données envoyées aux votants.

Le Conseil Scientifique de l'Institut CNRS des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I) a organisé le 28 septembre 2021 un séminaire sur le vote par correspondance électronique, avec pour but de comprendre les enjeux techniques et légaux pour en dégager des recommandations.

Quatre intervenants se sont exprimés :

- Chantal Enguehard, Université de Nantes (Intervenante)
"Du vote par correspondance au vote internet : renforcement de la cécité du juge"
- Christophe Vivent, Commission Nationale Informatique et Libertés (Intervenant)
"La sécurité des systèmes de vote par correspondance électronique"
- Véronique Cortier, CNRS (Intervenante)
"Les bonnes propriétés du vote électronique : exemple de Belenios et de ses limites"
- Pierrick Gaudry, CNRS (Intervenant)
"Que peut-on exiger en pratique maintenant et dans un avenir proche ?"

Les élections des représentants du personnel, comme celles régulièrement menées par le CNRS, présentent un niveau de risque significatif, évalué à 2 sur une échelle de 1 à 3 proposée par la CNIL. Le séminaire met en lumière les nombreux problèmes induits par l'utilisation du vote par correspondance électronique. À titre d'illustration, les questions suivantes ont été relevées : Comment s'assurer qu'à son domicile ou sur son lieu de travail, le votant n'est pas soumis à des pressions



(coercition, achat de vote) ? Comment le votant peut-il savoir ce qu'il se passe lorsqu'il clique sur un bouton sur un service Web ? Comment peut-il s'assurer que son identité (IP) n'est pas communiquée ou que son vote est bien acheminé tel qu'il a été exprimé ?

Lors du séminaire, il est en premier lieu rappelé que les élections sont des objets juridiques soumis au droit. Ceci implique que seul un juge peut annuler une élection, et qu'il ne peut le faire qu'en présence d'éléments probants. Cependant, l'absence de transparence entraîne une situation dans laquelle un électeur ne peut être convaincu qu'une atteinte à la sincérité du vote entraînerait son annulation. En effet, des atteintes massives au scrutin peuvent être très peu perceptibles, et la preuve de dysfonctionnements avérés difficile à apporter.

Il est également pointé que les systèmes de vote électronique posent des dilemmes au regard des objectifs de la CNIL, comme par exemple, la protection des données personnelles. Il est demandé aux systèmes d'authentifier l'identité du votant et de garantir son anonymat, ce qui suppose que les données personnelles soient « oubliées », ou qu'une tierce partie de confiance soit sollicitée. Par ailleurs, le vote électronique est soumis à une expertise, souvent non indépendante et biaisée car menée par l'industriel à qui est confiée l'organisation du vote et qui ne souhaite pas divulguer ses secrets industriels.

D'un point de vue technique, les aspects liés à la vérifiabilité du système de vote sont primordiaux. L'électeur doit pouvoir vérifier que son bulletin est bien dans l'urne, que son bulletin contient son vote, et que le résultat est effectivement l'issue du bon dépouillement des votes des électeurs inscrits sur les listes. D'un point de vue pratique, il s'agit également de s'assurer que les systèmes de vote soient utilisables (instructions claires, accessibles) et disponibles (pas de panne de serveur). Il n'existe pas de solution globale mais il existe des solutions à chacun des problèmes. L'outil Belenios développé au LORIA (<https://www.belenios.org/>) propose des garanties de sécurité de pointe en ce qui concerne la confidentialité et la vérifiabilité des votes.

En résumé, la validité d'une élection repose sur des éléments juridiques qui sont déconnectés des éléments techniques liés à la mise en œuvre du système de vote électronique. Il y a une rupture entre les "bonnes propriétés" qui peuvent être garanties par le système de vote et les preuves juridiques qui permettent de valider l'issue d'un scrutin. La multiplicité des possibles failles informatiques (compromission de navigateur, cheval de Troie, au niveau du terminal sur lequel le vote est réalisé, interface entre l'utilisateur et le serveur de vote) ne permet pas toujours de garantir les bonnes propriétés attendues d'un système de vote (confidentialité, sincérité, transparence, anonymat, vérifiabilité, accessibilité, confiance dans le système de vote). Par ailleurs, le vote par correspondance papier possède des propriétés intéressantes, notamment en ce qui concerne le contrôle des erreurs de vote ; il serait possible de l'améliorer en le combinant avec des outils de cryptographie.

Le CSI rappelle les difficultés et les risques potentiels du vote électronique. Il recommande en premier lieu d'évaluer le risque associé à l'élection tel que défini par la CNIL (<https://www.cnil.fr/fr/securite-des-systemes-de-vote-par-internet-la-cnil-actualise-sa-recommandation-de-2010>) et de restreindre le vote électronique par correspondance aux élections dont le niveau de risque est suffisamment faible pour ne pas poser d'obstacle à son acceptabilité. En revanche, pour les scrutins institutionnels présentant un fort enjeu, y compris dans les structures académiques (par exemple, lors des élections du comité national ou des conseils centraux des universités, EPST ou EPIC, voire les scrutins internes aux laboratoires ou départements), le vote à l'urne doit demeurer la règle. L'utilisation du vote électronique par correspondance pour de tels scrutins doit être dûment motivée et demeurer exceptionnelle, tout en prenant en compte les points suivants :



- Pour améliorer la transparence des systèmes de vote par correspondance électronique :
 1. les spécifications et l'accès aux codes source doivent être rendus publics,
 2. les experts chargés de veiller au bon déroulement du scrutin doivent être formés aux spécificités du vote électronique, idéalement par l'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information) ;
- Pour mettre en adéquation les aspects techniques et juridiques, les documents produits par le protocole informatique doivent être disponibles en vue d'être présentés comme des témoignages à valeur probante en cas de contentieux électoral (preuve de failles informatiques, protection juridique pour les lanceurs d'alerte) ;
- Comme le recommande la chancellerie Suisse, les institutions doivent exiger des preuves symboliques et cryptographiques de la part des entreprises de vote électronique ;
- Le système de vote doit être utilisable et accessible. En particulier, l'interface graphique doit être facile à utiliser sans avoir de connaissances techniques à priori, et présenter des instructions claires et sans ambiguïté afin d'être comprises par tous. Des audits d'accessibilité doivent être effectués pour s'assurer que tout votant est bien en mesure de voter (voir pour référence : <https://www.w3.org/Translations/WCAG20-fr/> pour s'assurer qu'un site Web est utilisable par les personnes en situation de handicap) ;
- Le CNRS doit piloter et prendre la responsabilité de l'organisation des élections internes et des élections du comité national de la recherche scientifique (CoNRS), par exemple en hébergeant une instance de Belenios sur ses propres serveurs, et en assurant une réelle double authentification. Les données personnelles des agents doivent rester sur les serveurs du CNRS.

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I

Recommandation adoptée le 23 mars 2021

Vote : 20 oui, 0 non, 0 abstention

Destinataires :

- M. Antoine PETIT, président directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- M. Ali CHARARA, directeur de l'INS2I du CNRS
- Mme Dorothée BERTHOMIEU, présidente du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national
- M. Yaël GROSJEAN, porte-parole de la C3N
- M. Pierre SENELLART, président de la Section 6
- Mme Inbar FIJALKOW, présidente de la Section 7
- Mme Sylvie BAUER, présidente de la CP-CNU
- M. Manuel TUNON DE LARA, président de la CPU

Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations résultant du séminaire « Numérique et Enseignement »

Cette mandature du CSI a vu la reconnaissance de l'informatique comme discipline pleine et entière dans les lycées, avec la création de SNT dans le tronc commun, de la spécialité "Numérique et Sciences Informatiques" et des concours du CAPES et de l'agrégation d'informatique. L'informatique est également au programme des cycles 3 et 4 à savoir du CM2 à la 3ème.

La révolution numérique en cours induit d'énormes besoins de personnels convenablement formés à l'utilisation des outils afférents, dans tous les secteurs d'activité confondus. La réduction de la fracture numérique exige aussi une formation accrue de l'ensemble de la population à l'utilisation de ces outils. Mais il est également impératif de former des acteurs de cette révolution numérique, capables de favoriser l'émergence de futures technologies et d'accompagner l'évolution de celles d'aujourd'hui. Cela demande notamment un renforcement de l'offre de formation en Numérique et Sciences Informatiques (NSI), une meilleure intégration de la discipline dans les enseignements de tronc commun, une meilleure prise en compte de la désaffection des lycéennes des filières informatiques et numériques et la mise en œuvre de mesures d'orientation efficaces pour la contrer (voir par exemple le rapport¹). Ces mesures sont indispensables pour assurer que nos laboratoires disposeront d'un flux suffisant d'étudiants leur permettant de continuer à remplir correctement leurs missions.

En parallèle, la révolution numérique, par l'évolution des technologies qui l'accompagne, induit des bouleversements profonds dans l'enseignement, ce phénomène ayant été amplifié par la crise COVID. Si la multiplication des enseignements à distance a provoqué une prise de conscience des limitations et des risques liés à l'utilisation massive de ces nouveaux outils, certains questionnements préexistaient : l'impact sur les apprentissages du remplacement de moyens traditionnels (manuels scolaires par exemple) par des outils numériques (tablettes) doit urgemment être évalué, ainsi que le réclament d'éminents pédagogues.

Quatre intervenants se sont exprimés :

- Yves Bertrand, Président de la Société Informatique de France (SIF) et Isabelle Debled-Rennesson, Vice-Présidente enseignement de la SIF : « Retour sur les évolutions de la formation en informatique »,
- Jean-Marie Chesneaux, Inspecteur Général Informatique à l'inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche à l'Éducation nationale : « Cartographie de l'enseignement de l'informatique à l'éducation nationale »,

¹ <https://www.centre-hubertine-auclert.fr/sites/default/files/fichiers/2022-02-cha-etude-totale-web.pdf>

- Alexis Kauffmann, chef de projet logiciels et ressources éducatives libres et mixité dans les filières du numérique à la Direction du numérique à l'éducation nationale : « Plans d'actions pour la mixité dans les filières du numérique ».

Si l'informatique est apparue comme discipline dans le supérieur avec la création des départements d'informatique des IUT, en 1966, et que l'informatique était apparue, en 1981, au lycée, la discipline y a disparu, en 1998. Il faudra attendre 2011, pour retrouver une option informatique au Lycée (ISN) dans les filières scientifiques, et 2015, pour retrouver une option informatique en ES et L. En 2019, avec le nouveau baccalauréat, l'informatique devient une spécialité, et des enseignants d'informatique sont recrutés dans le secondaire (CAPES et agrégation d'informatique), pendant que des enseignants en poste se forment à l'aide d'un diplôme inter-universitaire (DIU) "enseigner l'informatique au lycée". En 2022 est organisée la première épreuve d'informatique au concours général. La SIF a participé à la création des programmes de tous les enseignements d'informatique récents, à la formation des enseignants (DIU), aux programmes des concours du CAPES et de l'agrégation. Les actions menées par la SIF ont pour vocation de mieux faire connaître la discipline informatique, afin que les lycéennes et lycéens n'hésitent pas à choisir et garder la spécialité informatique jusqu'en terminale. En effet, l'informatique est une spécialité pour l'instant peu choisie, peu conservée, notamment chez les lycéennes, qui constituent moins de 14% des effectifs de la spécialité en terminale. Cela nécessite des enseignants, dans le primaire et secondaire, mieux formés à l'informatique comme socle de compétences. Il faut aussi noter que la spécialité NSI n'est pas disponible dans tous les lycées (contrairement aux spécialités historiques). Le nombre d'enseignants en informatique doit augmenter pour faire évoluer cette situation. L'INS2I peut participer à cet effort en favorisant l'intervention de ses chercheurs dans le secondaire, pour montrer la diversité des thèmes de recherche en informatique.

À l'éducation nationale, l'informatique est enseigné à tous en tronc commun au collège (4ème), au lycée (2nde SNT) et CPGE (informatique pour tous). Certains élèves peuvent maintenant choisir la spécialité au lycée (NSI en 1ère et terminale), l'option informatique en CPGE (MSPI, MP) et les filières informatiques en BTS (SIO et SN) et en CPGE (MP2I, MPI). La répartition géographique des lycées proposant actuellement l'option NSI est très inégale, 25% à 90% des lycées selon les académies, soit 60% en moyenne avec un objectif de 80% à 90%.

L'informatique comme discipline est à distinguer des *humanités numériques* (utilisation du numérique à l'EN et dans la société). Les états généraux du numérique² en 2020 ont fait émerger des propositions réduire la fracture numérique en garantissant un accès égal aux outils numériques, en développant une pédagogie numérique, et une culture numérique dans le corps enseignant. Un cadre de référence des compétences numériques pour l'éducation (CRCNE) a été défini autour et s'accompagne de la certification PIX à destination des élèves du primaire au collège. L'éducation nationale s'est fixé comme objectif de féminiser les filières et les métiers de numérique en atteignant 30% de fille parmi les élèves de NSI. Plusieurs actions sont menées dans cette direction: semaine de l'égalité, labellisation égalité filles-garçons, ...

² https://etats-generaux-du-numerique.education.gouv.fr/uploads/decidim/attachment/file/517/propositions_egn_2020_Format_simple.pdf

A la lumière de ce séminaire, le CSI formule les recommandations suivantes :

- Veiller à ce que la spécialité NSI et les filières MPI soient également accessibles quelle que soit l'origine géographique
- Veiller à ce que les enseignants de NSI aient tous reçu une formation équivalente à un master enseignement en informatique, soit via l'augmentation du nombre de certifiés et agrégés, soit via la poursuite de la formation continue des enseignants de NSI.
- Favoriser une meilleure intégration de la discipline dans les tronc communs en veillant à ce que les enseignants de SNT soient des enseignants d'informatique.
- Relancer le programme chiche snt³.
- Intensifier la promotion pour la discipline informatique dans le secondaire, notamment auprès des collégiennes et lycéennes.
- Accompagner la professionnalisation actuelle de la formation dans le supérieur d'une ouverture vers les problématiques scientifiques de la discipline, en favorisant l'accueil des étudiants de master en alternance dans les laboratoires de recherche.
- Faire un moratoire sur l'extension du déploiement des outils de pédagogie numérique (tablettes, visioconférences...) aujourd'hui laissé à la responsabilité d'acteurs locaux (par exemple les régions pour ce qui concerne les lycées).
- Mener des travaux en collaboration avec les SHS sur l'utilisation des outils numériques et des enseignements distanciels afin d'évaluer leurs bénéfices et leurs risques.

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I



Recommandation adoptée le 8 décembre 2023

Vote : 20 oui / 20 votants

Destinataires :

- Mme Sylvie RETAILLEAU, ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche
- M. Gabriel ATTAL, ministre de l'éducation nationale et de la jeunesse
- Mme Caroline PASCAL, cheffe de l'inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche

³ <https://chiche-snt.fr/>



- M. Bruno SPORTISSE, président-directeur général de l'Inria
- M. Guillaume GELLE, président de France Universités
- M. Antoine PETIT, président-directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- Mme Adeline NAZARENKO, directrice de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)
- M. Christophe BESSE, directeur de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI)
- M. Remi CARLES, président du CSI de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI)
- Mme Marie GAILLE, directrice de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS)
- Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CSI de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS)
- M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national (CPCN)
- Mme Christine ASSAIANTE, porte-parole de la Coordination des responsables des instances du CoNRS (C3N)
- M. Pierre SENELLART, président de la Section 6
- Mme Inbar FIJALKOW, présidente de la Section 7

Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations résultant du séminaire « Calcul et cryptographie quantique »

Le Conseil Scientifique de l'Institut CNRS des Sciences de l'Information et de leurs Interactions (INS2I) a organisé le 28 septembre 2022 un séminaire sur calcul quantique et cryptographie quantique, afin de comprendre les nouveaux défis de l'informatique quantique, qui est devenue l'un des axes scientifiques stratégiques dans le pays et en Europe, et de dégager des recommandations pour l'institut.

Quatre intervenants se sont exprimés : Frédéric Magniez (DR CNRS, IRIF) : « Algorithmes quantiques : état de l'art et perspectives », Elham Kashefi (Professeur à l'University of Edinburgh, DR CNRS au LIP6 Sorbonne University) : « Quantum Computing as a Service: Secure and Verifiable », Romain Alléaume (PR Telecom Paris, LTCI) : « La cryptographie quantique à la croisée des chemins », et enfin Olivier Blazy (PR Ecole Polytechnique, LIX) : « Panorama des approches et enjeux de la cryptographie post-quantique ».

Au cours des dernières décennies, il a été établi que la possibilité d'encoder des informations sur des supports physiques quantiques, et de les manipuler en tant que tels, apporte des avantages importants pour l'échange de clés cryptographiques (à court terme), ainsi qu'en termes de simulation (à moyen terme) et d'algorithmique quantique (à plus long terme). Certaines applications ont déjà été développées (par exemple la métrologie quantique), et d'autres commencent à émerger (par exemple le *green computing*). Au-delà des applications fascinantes et des méthodes nécessaires pour les réaliser, ce domaine interroge la nature même de l'information et son rôle dans les fondements de la physique. Conscients des obstacles technologiques et scientifiques, et des immenses bénéfices qu'il y aurait à les lever, de nombreux états investissent massivement dans ce domaine. Deux grandes stratégies semblent se dessiner. Le Canada, Singapour, les Pays-Bas et le Royaume-Uni ont successivement opté pour la création de grands centres de recherche internationaux (IQC, PI, CQT, QuTech, UK Quantum hubs). En mettant en place une communication scientifique passionnante et des salaires attractifs, ces centres attirent les grands noms de la recherche en information quantique et alimentent de nombreuses startups (ex : D-Wave, Riverlane, CQC...). À leur manière, la Chine et les États-Unis ont annoncé des "plans quantiques" massifs. La Chine mène une politique de grands projets, comme la mise en place du premier réseau de cryptographie quantique par satellite, QUESS. Les États-Unis, en plus de leur National Quantum Initiative Act, bénéficient de l'engagement des majors. Microsoft et IBM mènent depuis des années des recherches de pointe, tant sur le plan théorique (MS Station Q) que pratique (IBM Q Experience). Arrivé plus récemment dans la course, Google a déclaré de pouvoir franchir la barrière de la suprématie quantique en 2019 : pour la première fois, un ordinateur quantique a exécuté une tâche algorithmique de manière spectaculairement plus rapide que les algorithmes classiques les plus connus. Les projets de Google visent désormais à construire, d'ici dix ans, un ordinateur quantique avec des milliers de qubits



physiques, et mettre en œuvre la correction quantique des erreurs afin d'obtenir quelques centaines de qubits logiques parfaits. La France, quant à elle, compte un certain nombre de résultats de recherche marquants en physique expérimentale : démonstration de l'intrication par Alain Aspect, piégeage de l'atome par Claude Cohen-Tannoudji, maîtrise de leur interaction par Serge Haroche, tous trois lauréats du prix Nobel de Physique. Mais elle compte également des contributions importantes en informatique : en algorithmique quantique (*binary welded trees, recommendation systems, ...*), en cryptographie quantique (*key exchange, secret sharing, blind computing, ...*), ou encore en simulation quantique. Du côté de la recherche privée, Atos, leader mondial des logiciels, a annoncé en 2016 la création de sa division Atos Quantum. Cette division vise précisément à développer des logiciels intermédiaires pour optimiser les ressources nécessaires à l'informatique quantique, et se positionne rapidement comme un leader mondial de la simulation classique et quantique. Elle est actuellement la seule "major" européenne dans ce secteur. Quelques start-ups émergent également, comme CryptoNext, Alice&Bob, Pasqal, Quandela, QuantFi et Veriqloud. Récemment, le gouvernement a annoncé un plan stratégique national pour rattraper le retard de la France dans ce domaine, ainsi que pour en faire un leader mondial. Cela se traduit par un investissement de plusieurs millions d'euros qui a permis de lancer plusieurs appels à projets nationaux (e.g. PEPR) sur tous les piliers fondamentaux de l'informatique et des technologies quantiques. Un autre point qui a été également souligné lors du séminaire est l'interdisciplinarité. Dans ce domaine, physique et informatique sont étroitement liées. Cela est dû principalement à la faible indépendance de l'informatique quantique par rapport au matériel ("hardware Independence"), qui rend encore plus difficile la compréhension de l'informatique quantique.

Pour la première fois dans l'histoire de l'informatique, le sacro-saint principe de "hardware Independence" a été ébranlé. Le matériel physique est redevenu fondamental, car il conditionne toute la logique de l'algorithme. Il faut donc être très attentif au choix du système physique, à son initialisation et à sa mesure. Alors que l'informatique classique a rapidement réussi à s'affranchir de la machine physique, dans l'informatique quantique cela semble difficile, voire impossible. Une collaboration étroite entre les deux communautés est nécessaire, car les nouvelles questions posées se situent précisément à la frontière entre l'informatique et la physique. En effet, si avec l'avènement des ordinateurs modernes on a assisté à une séparation progressive des informaticiens, des physiciens et des mathématiciens, l'informatique quantique soulève de nouvelles questions intimement à la frontière entre la physique et l'informatique théorique.

Comme dans toute révolution scientifique, il est nécessaire que les universités forment et mènent des recherches dans ce domaine. Et cela implique en particulier que ces liens forts entre physique et informatique soient présents dès la formation des futurs chercheurs ou ingénieurs. Récemment, un projet d'envergure a été approuvé par le gouvernement, QuantEduFrance, qui distribue plus de vingt millions d'euros pour développer de nouvelles formations entre les départements de physique et informatique, à tous les niveaux, de la formation initiale à la formation continue. Dans les années à venir, ce genre de projets permettront de développer des formations de haut niveau à cheval sur les départements de physique et d'informatique, comme le master "Information quantique" de la Sorbonne inauguré il y a deux ans.

A la lumière de ce séminaire, le CSI formule les recommandations suivantes à destination de l'INS2I:

- L'informatique quantique touche toutes les disciplines classiques de l'informatique qui sont du ressort de différents GDRs. Malgré cela, il semble nécessaire de proposer des formations à tous les personnels de la recherche afin de sensibiliser aux questions du calcul quantique et ses conséquences techniques et sociétales, de façon à pouvoir intervenir aussi bien dans l'espace public/médiatique que dans le monde de l'éducation et de la recherche.
- Face aux différents acteurs privés et aux autres organismes de recherche, le CNRS peine encore à recruter, laissant souvent nos meilleurs étudiants s'échapper ailleurs. Il est donc nécessaire de suivre les besoins exprimés localement et de proposer un plan de recrutement adéquat au niveau national.
- Compte tenu de la nature interdisciplinaire de l'informatique quantique, prévoir des espaces de discussion et de coordination avec d'autres instituts intéressés (tels que l'INP) sur les politiques de recrutement, la formation du personnel et les projets de vulgarisation.
- Bien que l'algorithmique et les codes quantiques soient représentés ponctuellement dans des groupes de travail de certains GDRs dépendant de l'INS2I, il n'y a qu'un seul GDR en France qui traite pleinement de la technologie et de l'informatique quantiques, le GDR TEQ, qui n'a pour l'instant pas de lien avec l'INS2I. Il semble nécessaire que l'INS2I se rapproche de ce GDR et du principal institut de référence (INP) afin de jouer un rôle moteur dans le développement de l'informatique quantique en France.
- Les décideurs (politiques) devraient prendre l'avis des scientifiques en priorité sur l'avis des entreprises.

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I



Recommandation adoptée le 8 décembre 2023

Vote : 20 oui / 20 votants

Destinataires :

- M. Antoine PETIT, président-directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- Mme Adeline NAZARENKO, directrice de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)
- M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national (CPCN)



- Mme Christine ASSAIANTE, porte-parole de la Coordination des responsables des instances du CoNRS (C3N)
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CSI de l'Institut de physique (INP), M. Olivier DRAPPIER, président du CSI de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), M. Serge SIMOENS, président du CSI de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS), Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CSI de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU), M. Olivier SANDRE, président du CSI de l'Institut de chimie (INC), Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CSI de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS), M. Yaël GROSJEAN, président du CSI de l'Institut des sciences biologiques (INSB), M. Remi CARLES, président du CSI de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI), Mme Patricia GIBERT, présidente du CSI de l'Institut écologie et environnement (INEE)



Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations relatives au séminaire thématique « Sûreté, Vérification & Confiance »

Pouvant mener potentiellement à la catastrophe, les défaillances des systèmes informatiques coûtent considérablement à la société. Au plan humain tout d'abord on pourra rappeler en exemple la tragédie du Thérac 25 où en six incidents au moins trois personnes succombèrent à des doses massives de radiations conséquences en particulier d'une situation de concurrence critique dans le logiciel de contrôle et de façon plus générale d'une mauvaise conception rendant difficile sa vérification. En ce qui concerne le plan économique, certaines études estiment à plusieurs milliers de milliards de dollars le coût de la mauvaise qualité du logiciel aux États-unis en 2022.

On peut différencier les catégories de défaillances en fonction de leur origine.

Une première famille concerne les problèmes dus à des erreurs d'implantation ou de conception. La chasse aux bugs peut s'appuyer sur, d'une part les propriétés de sûreté des langages de programmation (typage fort, etc.) et d'autre part sur tous les apports des méthodes formelles, du test jusque'à la preuve formelle assistée pour les applications critiques.

Une deuxième famille rassemble les fautes provoquées par un attaquant, c'est le registre de la sécurité. Là aussi les techniques de vérification formelle vont apporter des garanties souhaitables, tant au niveau de l'implantation des primitives cryptographiques qu'à celui des protocoles ou de leurs liens avec les interfaces utilisateurs.

Une troisième famille, enfin s'inscrit dans le cadre global de l'IA de confiance et résulte de divers facteurs comme les comportements inattendus des programmes reposant sur l'apprentissage automatique. Qu'ils soient soumis à un entraînement supervisé ou non ces programmes doivent proposer des réponses correspondant à ce qu'on en attend et dans certains cas pour les raisons qu'on attend.

Pour faire le point sur ces problématiques le CSI a invité:

- David Pichardie, professeur à l'ENS Rennes, actuellement chez META : « Analyse sémantique des logiciels par assistants de preuve et analyse statique »
- Karthikeyan Bhargavan directeur de recherche Inria Paris : « High-Assurance Cryptographic Programs »
- Jean-Michel LOUBES, professeur à l'université Toulouse Paul Sabatier : « Panorama sur l'IA de confiance : enjeux et acteurs en France ».

J.-M. Loubes intervient au sujet de l'IA de confiance dans le cadre de l'apprentissage automatique, c'est-à-dire de la minimisation d'une fonction de distance entre une prédiction et une observation



pour toutes les données. Les applications de l'apprentissage sont particulièrement sensibles : on peut les voir en particulier dans le contexte de la conduite autonome et des activités policières.

Obtenir une IA de confiance est garantir que les décisions prises par le système le sont pour de bonnes raisons et des raisons explicables or même si on prétend garantir que le monde algorithmique des prédictions correspond aux données, il reste une séparation nette entre les données et le monde réel et entre le monde réel et le monde idéal modélisé. Ces différences induisent des biais dans le processus d'apprentissage, dans la définition des variables qui sont pertinentes ou non (voire qui ne devraient pas être considérées), dans les performances réelles de l'algorithme en action, enfin dans la confusion entre corrélation et causalité. Il est fondamental de savoir détecter ces biais.

Une approche souvent prônée dans la littérature repose sur le choix de modèles intrinsèquement interprétables pour les applications critiques, même si ceux-ci ne présentent pas à l'heure actuelle les même performances que les modèles d'apprentissage statistique conventionnels. L'explicabilité de tels modèles repose sur l'utilisation d'approximations localement interprétables, une meilleure compréhension de l'importance des différentes variables et l'analyse contrefactuelle du comportement de ces modèles.

Le concept de bornes est également crucial car s'il est en effet illusoire d'atteindre une confiance totale dans un modèle complexe il est en revanche envisageable de borner son comportement. Interprétabilité n'est pas enfin pas correction : la confiance passe aussi par le défi de l'implantation, c'est-à-dire de la conformité de ce qui est effectivement exécuté par rapport à la définition de l'algorithme. Une réflexion sur les langages à utiliser et leurs liens avec les outils du calcul (optimisations absconses, non-déterminisme, variété des architectures matérielles...) est engagée par la communauté.

David Pichardie décrit à cette fin différents aspects de la vérification et l'articulation de ses approches, illustrés par des travaux à l'intersection des langages, de la vérification et de la sécurité. La compilation certifiée est le premier domaine présenté. Il s'agit de certifier correcte, à partir de la définition des sémantiques formelles du langage source et du langage cible, et à l'aide d'un assistant à la preuve interactif (dans les travaux présentés, l'assistant Coq), la conservation de la sémantique des codes par le compilateur, voire à en extraire le code correct par construction. Cette approche supporte en particulier des extensions à différentes formes d'optimisation.

Si la preuve formelle (avec assistant) assure que le comportement sera correct dans les cas d'application nominaux l'analyse statique s'intéresse quant à elle à la recherche de familles de bugs spécifiques, c'est-à-dire à la détection de cas où l'on n'est plus dans le contexte nominal. Dans ce cadre contraint, l'expressivité limitée autorise une automatisation des tâches : les approches par analyse statique sont d'ailleurs considérées comme "presse bouton". Se pose alors la question de la correction de l'outil automatique lui-même. On peut aborder la certification de l'analyse statique en établissant formellement que l'analyseur est correct ou bien en garantissant que ses résultats sont corrects par une validation de leur trace. Enfin des propriétés de sécurité, par exemple, la résistance aux attaques de type "cache timing", peuvent être établies par la mise en évidence de la propriété sur le code source puis sa conservation par l'étape de compilation. Ces techniques permettent de dépasser une garantie qui n'était généralement assurée que par une forme de discipline de programmation qu'il est illusoire de pouvoir maintenir sur des développements complexes et en interaction.



Karthikeyan Bhargavan poursuit sur la problématique d'environnements complexes à fort enjeu, en particulier les applications à base cryptographique.

La période est faste pour la cryptographie, nouvelles technologies, nouvelles approches et omniprésence des applications (internet bien sûr avec https, messageries sécurisées, essor des cryptomonnaies et blockchains). Cet engouement s'appuie toutefois sur des techniques entièrement nouvelles et fondées sur des résultats académiques dont peu, hormis les quelques experts du domaine, ont une compréhension profonde. Dans ces conditions, quelle confiance accorder aux systèmes cryptographiques ? Le besoin cryptographie à hautes garanties est bien là.

Vérifier la correction fonctionnelle d'une application de sécurité commence bien sûr par un travail de spécification ; l'effort de preuve est, lui, très dépendant de la façon dont le code a été développé. Un des freins à une généralisation de la vérification aux applications existantes est en effet le volume de l'existant, à savoir la quantité de code qui n'a pas été écrit dans une perspective de certification et qu'on n'est pas prêt à récrire à cette fin. Et encore ne s'agit-il ici que des cœurs critiques (primitives cryptographiques, protocoles et gestion des sessions et clefs) représentant par exemple pour la messagerie Signal environ 10% du développement total. Certains problèmes peuvent être éliminés par analyse statique (typiquement la sortie des cas nominaux) mais la correction fonctionnelle reste une affaire de spécialiste sur un code adapté. Les organismes de standardisation demandant aujourd'hui des preuves (IETF/TLS), il est de plus en plus fait usage de (méthodologies adaptées et de) langages spécialisés dans certains développements actuels tant un code qui n'a pas été écrit pour la vérification est (à peu près) impossible à vérifier.

L'approche proposée ici consiste à 1) écrire du code générique, 2) vérifier la correction du code générique, 3) spécialiser le code et compiler avec des techniques comparables à compcert vers la cible matérielle considérée.

Aux écueils déjà mentionnés s'ajoutent en effet la diversité des architectures matérielles cibles et les subtiles optimisations pour maintenir des performances élevées (ralentir l'exécution des protocoles chiffrés dans les communications internet par exemple aurait un coût insupportable). Il convient de mentionner également la quasi impossibilité d'obtenir les spécifications exactes des matériels, gardées par le secret industriel.

Conclusions et recommandations

Un des problèmes soulignés par les exposés est la dépendance à un corpus de code toujours plus imposant et dont établir la correction fonctionnelle est hors de portée. Les techniques d'analyse statique permettent de garantir qu'on reste dans les plages de conditions d'utilisations nominales, condition préliminaire à toute tentative de preuve de correction fonctionnelle), encore faut-il que celles-ci soient clairement définies et annoncées.

Le séminaire met, ainsi, en avant le besoin d'une nécessaire transparence pour assurer la confiance (au sens sûreté) : quelles sont les usages acceptables ? quelles sont les conditions nominales ? et par là quelle notion de vérification adopter ? Il insiste sur une discipline de développement qui demanderait que les nouveaux outils logiciels fondamentaux soient développés avec leur vérification formelle en perspective ; il regrette la difficulté d'accès aux réelles spécifications des plateformes matérielles, souvent couvertes par le secret industriel.



L'opacité des développements est aggravée par une complexité croissante et de moins en moins maîtrisée de l'écosystèmes des langages et des matériels. Favoriser et définir des langages avec de bonnes propriétés et en particulier des systèmes de types offrant de solides garanties font partie des moyens relevés au cours du séminaire pour aider à en maintenir le contrôle.

Les conditions de transparence remplies, c'est finalement, comme le montrent les exposés, la composition des approches de vérification qui permet des avancées remarquables dans l'obtention de garanties fortes en s'adressant aux différents niveaux des développements : spécifications, élimination des situations anormales (analyse statique), correction fonctionnelle (preuve formelle), conservation de la sémantique (compilation certifiée...). On ne peut que constater l'importance cruciale de ces spécialités dont l'impact dépasse largement le contexte des applications critiques ainsi qu'une démocratisation de leur usage.

Enfin, l'omniprésence de l'IA et en particulier l'apprentissage automatique à tous les niveaux de la société et de l'économie crée un défi de premier plan qui appelle clairement l'émergence de nouvelles techniques pour assurer et mesurer le niveau de confiance. Ceci implique des travaux sur le front des méthodes explicables. Ces derniers ne doivent pas être limités au cadre des applications critiques : ils sont également indispensables pour différents usages infiltrants comme actuellement les modèles de langages. Largement affectés par le phénomène d'hallucination, ces modèles interpellent dans leurs usages envisagés tels que le conseil (technique, scientifique, juridique, etc.) mais aussi l'enseignement.

Le conseil scientifique de l'INS2I recommande donc qu'un effort significatif soit consenti dans les politiques scientifiques des divers établissements pour que le front de la science avance sur ces sujets dont l'attente économique et sociétale est majeure.

Il souligne l'importance cruciale d'une sensibilisation à la vérification : à travers les disciplines de développement enseignées, en encourageant le développement et l'utilisation de langages appropriés offrant certaines garanties de sûreté.

Il rappelle enfin le besoin d'une véritable transparence tant dans les cadres d'utilisation que dans les spécifications réelles des outils, sur les plans logiciel et matériel. À titre d'exemple, le conseil attire l'attention sur les initiatives de type open-source hardware qui constituent un pas intéressant dans cette direction.

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I

Recommandation adoptée le 8 décembre 2023

Vote : 20 oui / 20 votants

Destinataires :

- M. Antoine PETIT, président-directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS



- Mme Adeline NAZARENKO, directrice de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)
- M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national (CPCN)
- Mme Christine ASSAIANTE, porte-parole de la Coordination des responsables des instances du CoNRS (C3N)
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CSI de l'Institut de physique (INP), M. Olivier DRAPIER, président du CSI de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), M. Serge SIMOENS, président du CSI de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS), Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CSI de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU), M. Olivier SANDRE, président du CSI de l'Institut de chimie (INC), Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CSI de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS), M. Yaël GROSJEAN, président du CSI de l'Institut des sciences biologiques (INSB), M. Remi CARLES, président du CSI de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI), Mme Patricia GIBERT, présidente du CSI de l'Institut écologie et environnement (INEE)

Conseil scientifique de l'institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations suite à l'enquête CSI INS2I – COVID

Contexte

Lors de sa séance du 24 février 2021, le CSI INS2I a voté une « Recommandation sur l'impact de la situation sanitaire sur l'enseignement supérieur et la recherche » (<https://csi-ins2i.cnrs.fr/sites/default/files/general/pdf/CS%20INS2IRecommandation%20sur%20l'impact%20de%20la%20situation%20sanitaire%20sur%20l'ESR.pdf>). Dans ce contexte, le CSI a entrepris d'évaluer, par une enquête, l'état des lieux et la situation des personnels des unités de l'Institut après un an de crise sanitaire. L'objectif était de tenter d'obtenir un nombre important de données quantitatives sur l'activité, l'état, les difficultés, les attentes, les stratégies, les perspectives des différentes catégories de personnels (C, EC, ITA, doctorants et post-doctorants), en maintenant l'enquête restreinte à un nombre pas trop élevé de questions pour assurer la possibilité de la remplir rapidement (typiquement en 15 minutes maximum). Un certain nombre de questions ouvertes étaient incluses, permettant éventuellement de compenser l'aspect restreint des questions fermées et d'obtenir si possible une matière plus riche pour l'enquête.

L'enquête, diffusée via les directeurs des unités de l'INS2I, sollicités par la présidence du CSI le 4 mai 2021, a recueilli 720 réponses, soit 170 Chercheurs, 300 enseignants-chercheurs, 110 ITA/BIATSS, 140 doctorants et post-docs. La répartition géographique des réponses suggère que les DU ont bien relayé cette enquête. Le panel de réponses correspond environ à 15% des chercheurs de l'INS2I, 10 % des enseignants-chercheurs, 20 % des ITA et 3 % des doctorants. La répartition homme-femme correspond à celle des différents corps, et dans le panel des répondants 50 % des DR ou PU et 75 % des CR ou MCF ont des enfants à charge.

Données quantitatives

L'enquête quantitative montre que la charge de travail a augmenté, particulièrement pour les enseignants chercheurs (mais pas pour les ITA) et plus pour les femmes – et beaucoup plus fortement pour les femmes enseignante-chercheuses avec enfant que pour les hommes chercheurs sans enfant. La vie collective, les démarches administratives, le suivi des étudiants, le montage de projets en partenariat se sont compliqués. La production scientifique et le dépôt de projet ont diminué. L'envie de faire de la recherche a légèrement diminué. Dans la période à venir, les répondants n'indiquent pas souhaiter augmenter ou diminuer les demandes de financement de thèse ou les réponses aux appels à projet, mais désirent diminuer le nombre d'heures complémentaires d'enseignement. L'appréciation globale sur les réactions des institutions de la

recherche à la crise est mitigée. De nombreux messages d'expression libre traduisent une lassitude, une amertume, voire un mécontentement, parfois extrêmes.

Doctorants

Les doctorants, s'ils n'indiquent pas avoir vu leur charge de travail se modifier significativement, déclarent que la vie collective et les relations avec leur directeur de thèse se sont souvent compliquées (et parfois dégradées), ce qui a très largement conduit à un ralentissement de l'avancement de leurs travaux de thèse, et globalement à une diminution de leur envie de continuer à faire de la recherche. Beaucoup souhaitent étendre la durée de leur thèse, alors qu'un petit nombre d'entre eux seulement a obtenu une telle prolongation (beaucoup sont encore en attente de réponse). Les commentaires libres pour les doctorants pointent des difficultés d'intégration parfois majeures (particulièrement pour les étudiants étrangers) et plusieurs témoignages mentionnent des problèmes de santé mentale et des difficultés à financer les soins.

Etat des lieux des commentaires libres (plus de 200)

Les commentaires libres font ressortir le manque d'accompagnement des membres des unités tout au long de la crise de la part de l'employeur, le poids de la gestion de la crise étant laissé aux individus. Certains notent malgré tout que les institutions de recherche « ont fait ce qu'elles ont pu ». La communication n'a pas été suffisante, et essentiellement laissée à l'appréciation des DUs dont l'implication a été perçue comme très variable (de très bien à « absent »).

Le manque d'échanges informels (et leur importance dans les collectifs) a été souligné comme pénalisant (perte de temps et d'efficacité des échanges uniquement formels, augmentation des situations conflictuelles). Plusieurs commentaires font état de sentiment d'abandon, d'inutilité, de détresse psychologique, de culpabilisation, de démotivation/fatigue installée dans la durée, de déshumanisation et de perte de sens.

L'importance des enfants à charge (et plus généralement l'augmentation de la charge de travail) n'a pas été prise en compte par les institutions qui ont continué leurs sollicitations (évaluations, projets à déposer...) et demandes de respects de délais au même rythme. Les surcharges d'enseignement, particulièrement fortes pendant la crise dans un système déjà saturé, ont fortement nuit à la recherche. Le manque d'interactions entre doctorant et encadrant est fortement souligné, que ce soit par les doctorants ou les encadrants. Les charges administratives ont été encore plus lourdes et compliquées à gérer, et l'accumulation des réunions en visio épuisantes.

Il est rappelé que la recherche est essentiellement collaborative et que l'absence de vie de laboratoire / d'équipe a un impact sur la recherche (émulation, échanges informels...), compensé partiellement seulement par la visio.

Le système s'est reposé sur la bonne volonté et l'engagement des personnes (« démerdentiel »). Le fonctionnement hybride de services ITA a créé des difficultés entre les agents en présentiel et les agents en télétravail.

Plusieurs commentaires relèvent cependant des points positifs, tels que la diminution des déplacements (point positif pour la personne et pour la planète) et le basculement de certaines réunions en distanciel.

Télétravail

En ce qui concerne ce qu'il faut maintenir ou rejeter à l'issue de la crise sanitaire, la question du télétravail est centrale, avec une grande diversité d'appréciation, liée en grande partie aux conditions personnelles propres à chacun des agents. A l'issue de la crise sanitaire, certains envisagent de prolonger le télétravail car il procure du calme et réduit le temps de transport, d'autres souhaitent y mettre un terme rapidement pour pouvoir retrouver une vie professionnelle collective et une vie privée qui en soit déconnectée. Quatre éléments font consensus :

1. le télétravail a vocation à perdurer au-delà de la crise sanitaire,
2. le télétravail à temps complet pose problème, notamment à cause des horaires décalés, de l'absence de pauses, de plages de travail plus importantes, des difficultés de séparation entre vie privée et vie professionnelle,
3. la décision et l'organisation du télétravail doivent être laissées au libre choix des agents,
4. les institutions doivent équiper les agents (matériel, écran, outils de visioconférence) et indemniser les coûts du télétravail.

Conférences et réunions à distance

La question des conférences et réunions à distance apparaît également clivante. Près d'un tiers des réponses regrettent l'absence de présentiel aux réunions et aux colloques, mentionnant l'importance des interactions informelles et spontanées ainsi que la nécessité d'encadrer les étudiants en présentiel. Elles déplorent la densification et l'enchaînement des réunions à distance. Mais plus d'un tiers des réponses font état du souhait d'une systématisation de certaines réunions à distance, notamment les réunions administratives, par soucis d'efficacité, ou pour le suivi de projets multi-partenaires ou internationaux.

Certains répondants approuvent les conférences à distance en tant qu'intervenant ou en tant que participant, avec une demande d'organisation de conférences hybrides en cas de participation à distance, l'organisation de séminaires à distance permettant d'inviter plus facilement des intervenants étrangers. L'organisation de jurys de thèse, de comités de sélection ou de concours à distance fait débat.

Crise Covid et contexte général de la recherche en France

Les griefs exprimés en 2019 lors de la concertation au sujet de la loi de programmation pluriannuelle de la recherche (LPR) sont également largement évoqués dans les commentaires libres :

- limiter le fonctionnement par appels à projets et augmenter le financement récurrent,
- privilégier des postes permanents par rapport aux postes temporaires,
- alléger les charges administratives et dématérialiser les procédures,
- valoriser le travail collectif et fédérateur autant que l'excellence individuelle,
- développer des ressources humaines (RH) centrées sur l'humain,
- maintenir un sain équilibre entre enseignement et recherche de manière à pouvoir exercer au mieux ces deux missions,
- redonner de l'attractivité aux carrières de chercheur ou d'enseignant-chercheur.

Le système de l'enseignement supérieur et de la recherche repose sur les permanents qui en sont les piliers. Les établissements sont tellement sous tension qu'au moindre imprévu, tout dysfonctionne. Sans le travail collectif, le travail individuel est rendu plus difficile. Il faut revaloriser l'engagement au service d'un travail collectif et trouver un juste équilibre avec la valorisation de l'excellence individuelle. Les accueils en délégation proposés par le CNRS ne semblent pas être une solution s'ils ne sont pas accompagnés d'un recrutement significatif d'enseignant-chercheurs, dans la mesure où la surcharge du travail d'enseignement se trouve répartie sur un nombre d'autant plus restreint d'enseignant-chercheurs. La période de crise sanitaire doit être prise en compte dans les évaluations des chercheurs.

Recommandations

• **Recommandations liées à la crise sanitaire**

- Communiquer directement aux personnels
- Accompagner les personnels par les ressources humaines et l'accès à des psychologues et/ou services psychiatriques
- Financer la prolongation des thèses, pour aider les doctorants à terminer leur thèse mais aussi à se constituer les réseaux indispensables à leur avenir
- Repousser les évaluations et les tâches administratives demandées aux EC, C et ITA
- Allonger les durées des projets et autoriser à réutiliser des crédits qui n'ont pas pu être utilisés à temps à cause de la crise
- Augmenter les financements récurrents et le nombre de bourses pour aider les équipes à se sortir de la crise sans avoir à se re-précipiter dans la course aux appels à projets
- Fournir des outils et des infrastructures de communication (visio) et de travail collaboratif à distance (partage de tableaux blancs, prise de notes collaboratives, chat avec fédération d'identité...) fiables et passant à l'échelle
- Autoriser le télétravail hors France (et même hors Europe), en particulier pour des étudiants étrangers isolés (en particulier en période de crise)
- Financer le coût du télétravail (abonnements internet, équipement informatique, coût d'infrastructure tel que chauffage ou électricité, ...)
- Organiser un retour d'expérience sur la manière d'organiser et maintenir des liens sociaux dans les équipes / labos en période de crise
- Organiser des évènements fédérateurs (par exemple à l'échelle de l'institut)

• **Recommandations sur le télétravail au-delà de la crise sanitaire**

- Proposer des outils efficaces de travail collaboratif à distance
- Mettre en place l'environnement technologique (écran, son) permettant des réunions hybrides (présentiel/visio) dans de bonnes conditions
- Systématiser la possibilité de participer aux réunions en visio-conférence (avec des réunions 100% distanciel ou hybride)
- Autoriser le télétravail sans contrainte en responsabilisant les personnels
- Indemniser les coûts du télétravail, assurer des conditions matérielles adéquates
- Respecter le droit à la déconnexion



• **Recommandations plus générales qui font consensus¹**

- Limiter les financements par appel à projets
- Privilégier l'emploi permanent
- Alléger et dématérialiser les tâches administratives
- Valoriser le travail collectif et fédérateur autant que l'excellence individuelle
- Développer une approche RH mieux "centrée sur l'humain"
- Maintenir un équilibre raisonnable entre Enseignement et Recherche

Isabelle Queinnec
Présidente du CS INS2I

Recommandation adoptée le 28 septembre 2021
20 votants : 20 oui, 0 non, 0 abstention

Destinataires :

- M. Antoine PETIT, Président Directeur Général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, Directeur Général délégué à la Science du CNRS
- M. Christophe COUDROY, Directeur Général délégué aux Ressources du CNRS
- M. Ali CHARARA, Directeur de l'INS2I
- M. Manuel TUNON DE LARA, président de la CPU
- Mme Frédérique VIDAL, Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

Copie à :

- Mme Dorothée BERTHOMIEU, Présidente du CS CNRS
- M. Pierre Senellart, président de la section 6
- Mme Inbar Fijalkow, présidente de la section 7
- Mme Sylvie BAUER, présidente de la CP-CNU
- M. Lionel SEINTURIER, président de la Section 27 du CNU
- M. Thierry DIVOUX, président de la Section 61 du CNU
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CS INP, M. Olivier DRAPIER, président du CS IN2P3, M. Serge SIMOENS, président du CS INSIS, Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CS INSU, M. Olivier SANDRE, président du CS INC, Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CS INSHS, M. Yaël GROSJEAN, président du CS INSB, M. Remi CARLES, président du CS INSMI, Mme Patricia GIBERT, présidente du CS INEE

¹ Ces recommandations sont effectivement générales, mais la crise COVID en a souligné encore davantage l'importance.



Conseil scientifique de l'institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Synthèse des données suite à l'enquête CSI INS2I – COVID

Septembre 2021

I. Présentation

Contexte

Lors de sa séance du 24 février 2021, le CSI INS2I a voté une « Recommandation sur l'impact de la situation sanitaire sur l'enseignement supérieur et la recherche » (<https://csi-ins2i.cnrs.fr/sites/default/files/general/pdf/CS%20INS2IRecommandation%20sur%20l'impact%20de%20la%20situation%20sanitaire%20sur%20IESR.pdf>). En fin de séance, le Directeur de l'INS2I Ali Charara a proposé au CSI d'évaluer, par une enquête, l'état des lieux et la situation des personnels des unités de l'Institut après un an de crise sanitaire. C'est le contenu et l'analyse de cette enquête qui est présenté ici.

L'enquête a été élaborée par Isabelle Queinnec, Daniel Le Berre et Jean-Luc Schwartz avec l'aide précieuse de Laure Thiébault, responsable communication de l'Institut. L'objectif était de tenter d'obtenir un nombre important de données quantitatives sur l'activité, l'état, les difficultés, les attentes, les stratégies, les perspectives des différentes catégories de personnels (C, EC, ITA, doctorants et post-doctorants), en maintenant l'enquête restreinte à un nombre pas trop élevé de questions pour assurer la possibilité de la remplir rapidement (typiquement en 15 minutes maximum). Un certain nombre de questions ouvertes étaient incluses, permettant éventuellement de compenser l'aspect restreint des questions fermées et d'obtenir si possible une matière plus riche pour l'enquête.

L'enquête a été programmée sur Limesurvey par Daniel Le Berre. L'ensemble des questions est présenté, dans le format tel qu'il est apparu aux participants, dans l'Annexe 1. L'analyse détaillée des réponses a été faite par un groupe de travail du CSI, composé de Thierry Artières, Daniel Le Berre, Maël Le Treust, Luc Pronzato, Isabelle Queinnec, Jean-Luc Schwartz, Sylvie Servigne, Christine Tasson, Xavier Urbain.



Le panel de réponses

L'enquête, diffusée via les directeurs des unités de l'INS2I, sollicités par la présidence du CSI le 4 mai 2021, a recueilli environ 800 réponses à ce jour, ce qui est un score sans doute plus faible que ce que nous espérions – mais sans doute conforme à la crainte que l'on pouvait avoir considérant la charge de travail en période Covid et la lassitude de nombre de personnels dans ce contexte.

Nous donnons ci-dessous la distribution des réponses, rapportée aux distributions des populations correspondantes estimées dans l'INS2I.

Information sur les populations visées

Enquête transmise aux DUs (pour diffusion dans leur unité) des unités rattachées à l'INS2I à titre principal (36 UMR + 1 UPR + ...) ou secondaire (35 UMR + ...)

Unités « INS2I principal » :

- 1003 chercheurs (667 CNRS, 273 INRIA, + quelques INRAE, IRCAM, CEA ...)
- 3531 enseignant-chercheurs
- 462 ITA
- 439 « ITA non CNRS » (INRIA, univ...)
- 3441 doctorants
- 321 postdoctorants

Unités « INS2I secondaire » : pas d'info sur Labintel...

Sections 6 et 7 : environ 650 chercheurs

Informations générales sur les répondants

711 enregistrements complets au 26 mai (719 à la clôture de l'enquête)

- 165 Chercheurs (15 à 20%)
- 298 enseignants-chercheurs (dont quelques CDD « LRU ») (10%)
- 107 ITA/BIATSS (dont quelques CDD) (20-25%)
- 118 doctorants (3%)
- 20 postdocs ou ATER
- 3 autres (émérite, PAST)

522 ont commencé à remplir et n'ont pas terminé (leurs réponses ne sont donc bien évidemment pas analysées dans ce document)

Informations détaillées sur les répondants

711 enregistrements complets au 26 mai 2021

- 92 CR
 - 59 hommes, dont 34 avec enfants (58%)
 - 20 femmes (25%), dont 12 avec enfants (60%)
- 73 DR
 - 51 hommes, dont 25 avec enfants (49%)
 - 16 femmes (24%), dont 8 avec enfants (50%)
- 170 MCF

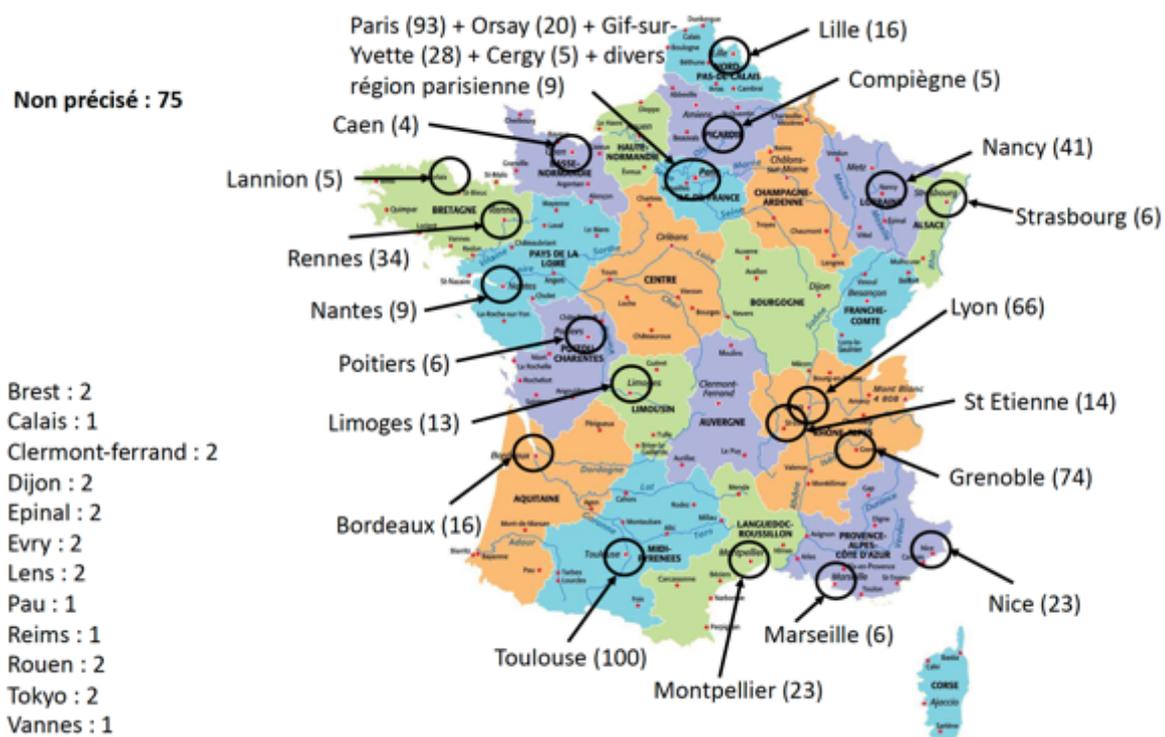


- 105 hommes, dont 77 avec enfants (73%)
- 58 femmes (36%) dont 37 avec enfants (64%)
- 128 PU
 - 90 hommes dont 42 avec enfants (47%)
 - 32 femmes (26%) dont 15 avec enfants (47%)
- 107 ITA/BIATSS
 - 53 hommes dont 18 avec enfants (34%)
 - 47 femmes (47%) dont 20 avec enfants (43%)
- 118 doctorants
 - 67 hommes, dont 2 avec enfants
 - 40 femmes (37%), dont 1 avec enfants

On retrouve la répartition H/F dans les différents corps (chercheurs et enseignant-chercheurs)
Entre 1/2 (pour les PU et les DR) et jusqu'à 3/4 (pour les hommes MCF) ont des enfants à charge
Moins d'enfants à charge chez les ITA

Il aurait été adéquat de distinguer ITA recherche / ITA administratif (pas fait dans l'enquête)

Distribution géographique des réponses



En résumé, un échantillon relativement représentatif (sauf pour les doctorants). Le message sur l'enquête semble être relativement bien passé car les réponses viennent de tous les sites (sauf de Valenciennes) même si certains sites ont moins répondu (Strasbourg, Clermont-Ferrand, Marseille, Bordeaux, Nantes) que d'autres (Toulouse, Rennes, Montpellier, Nice, Lyon, Grenoble, Nancy, Gif-sur-Yvette/Orsay)

Beaucoup de messages dans les expressions libres

Des réactions riches et nuancées, qui sont analysées dans les sections suivantes

II. Analyse quantitative des questions fermées

Nous présentons ci-dessous les statistiques des réponses sur l'ensemble des questions fermées, regroupant d'abord l'ensemble des personnels (hors doctorants, dont les réponses sont analysées dans une section suivante).

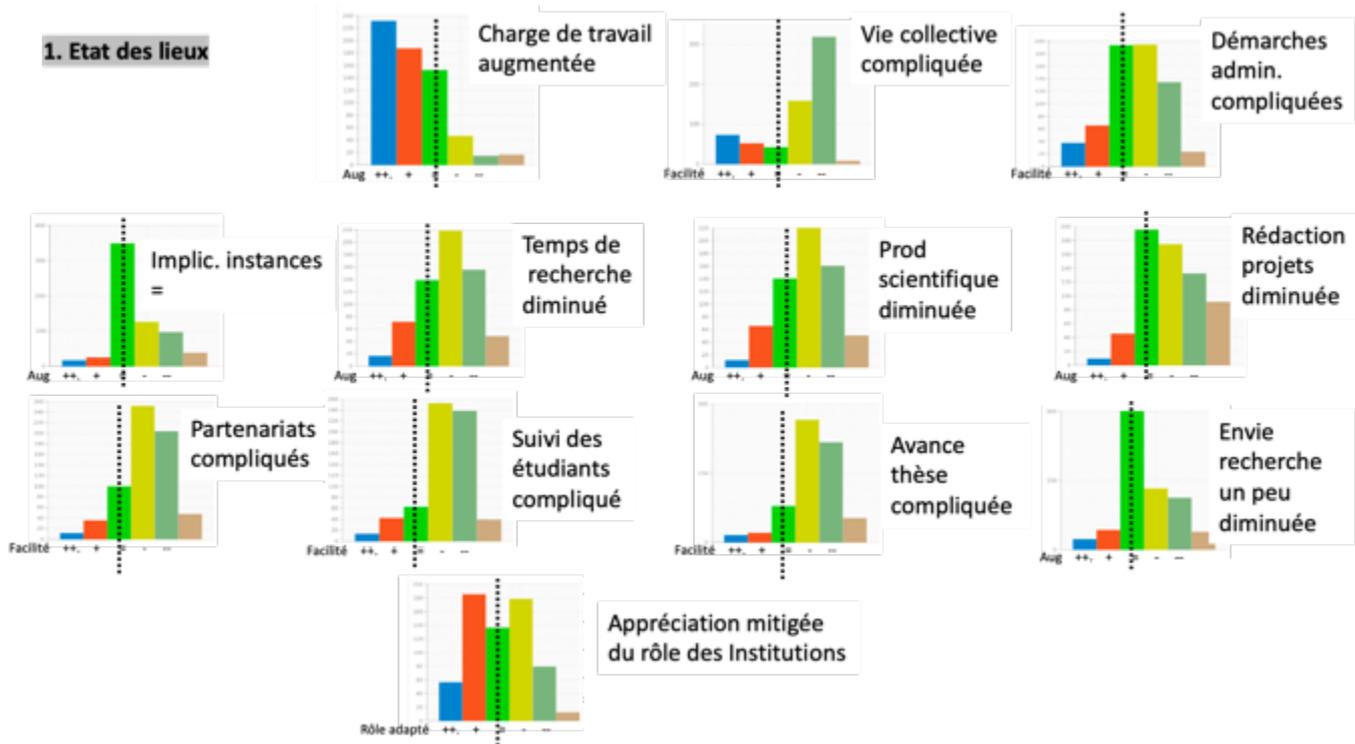


Figure 1 – Statistique des réponses aux questions fermées portant sur « l'état des lieux ». Pour chaque question, on porte les pourcentages de réponses aux questions de type « la charge de travail a-t-elle été augmentée ou diminuée (++, +, =, -, --) » ou « la vie collective a-t-elle été facilitée ou compliquée » (++, +, =, -, --). Pour faciliter la lecture, la valeur « = » est marquée par une ligne verticale pointillée, et la tendance est résumée au-dessus de chaque question.

La Figure 1 présente les réponses aux questions portant sur l'état des lieux. Globalement, on observe des réponses qui confirment ce que l'on pouvait imaginer au départ de cette enquête : une perception d'une forte augmentation de la charge de travail, d'une baisse de la production scientifique dans toutes ses dimensions, un sentiment de complexification de la vie collective et des démarches administratives, de difficulté dans le suivi des étudiants et des partenariats. L'envie de recherche ne semble pas significativement affectée, et la perception de la gestion de la crise par les institutions est mitigée.

La Figure 2, qui présente les réponses aux questions sur les perspectives, montre que les souhaits de candidater sur les appels à projets et de rechercher des financements de thèse restent stables (on aurait pu imaginer une diminution de ces souhaits, par lassitude, ou une augmentation, par désir de se projeter sur l'après crise), que tous les différents types de financement restent ciblés de manière assez homogène, n'indiquent pas de volonté forte de changer de thème de recherche mais une présence non négligeable de réponses indiquant une diminution de l'envie de recherche chez les contractuels. La volonté de faire des heures complémentaires diminue, et de manière frappante le souhait de postuler à des CRCT pour les EC n'augmente que faiblement.

2. Perspectives

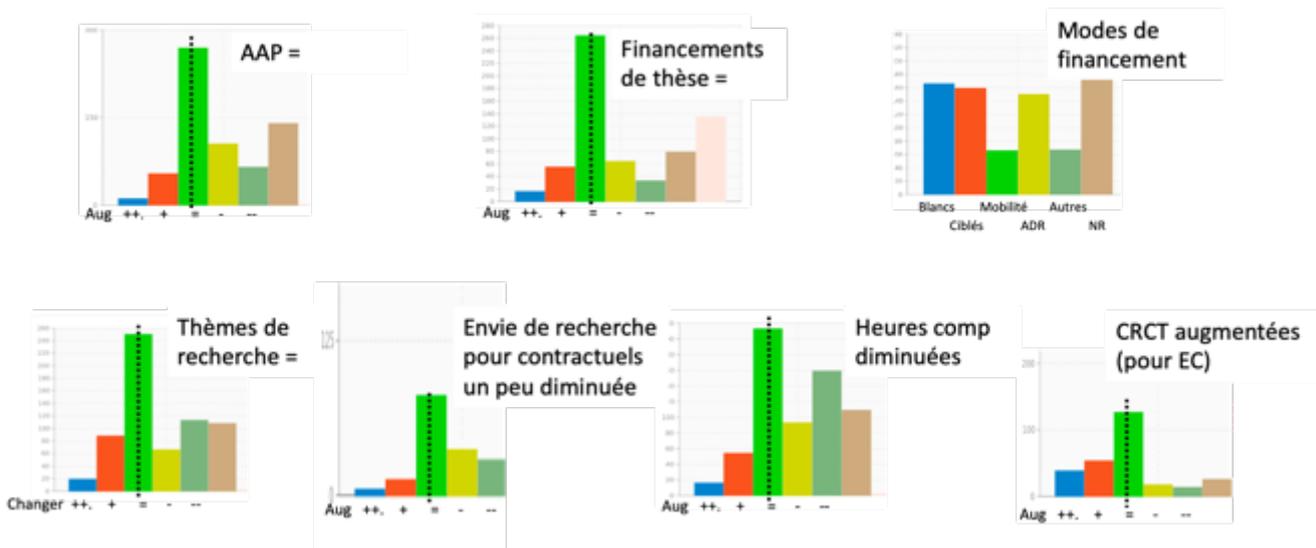


Figure 2 – Statistique des réponses aux questions portant sur les « perspectives ».
Même présentation que la Fig. 1.

Toutes ces indications trouveront un écho riche et fort dans les analyses détaillées des sections suivantes.

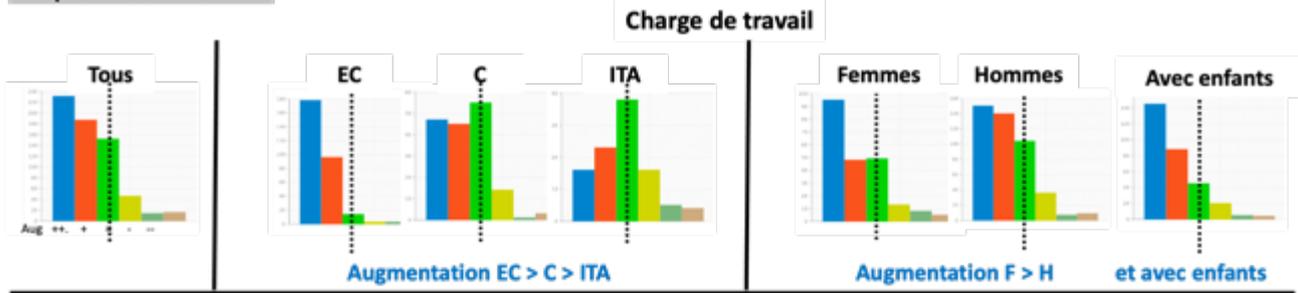
Nous détaillons dans les figures suivantes les différences de distributions de réponse entre différentes catégories de personnels, en ciblant les questions qui ont généré les plus fortes différences en fonction de la catégorie.

Sur la Figure 3, on observe que l'augmentation de la charge de travail est perçue beaucoup plus fortement chez les EC que chez les C, et pas fortement ressentie chez les ITA. Elle est également globalement plus fortement ressentie par les femmes que par les hommes, et plus fortement par les personnels devant s'occuper de jeunes enfants. Les mêmes tendances sont rapportées sur la diminution du temps de recherche, de la production scientifique et de la rédaction de projets, plus sensibles pour les EC, les femmes et les parents de jeunes enfants. Là encore, pas de surprise dans ces différences, sinon une confirmation de la différence de ressenti entre femmes et hommes, souvent supposée mais bien mise en évidence ici.

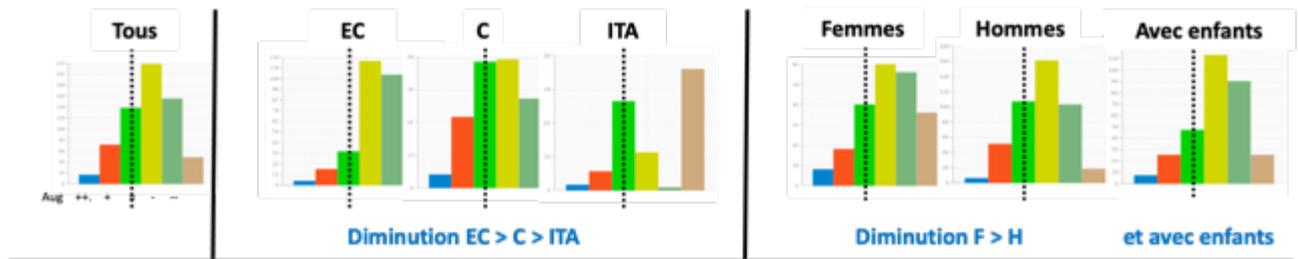
La Figure 4 reprend ces comparaisons sur les cas « extrêmes », faisant bien apparaître les difficultés extrêmes ressenties par les femmes EC, encore plus si elles ont des enfants.



Comparaison selon statuts



Temps de recherche



Production scientifique



Rédaction de projets



Figure 3 – Comparaison des réponses selon les statuts des personnels
Même présentation que la Fig. 1.



Comparaison des extrêmes ...

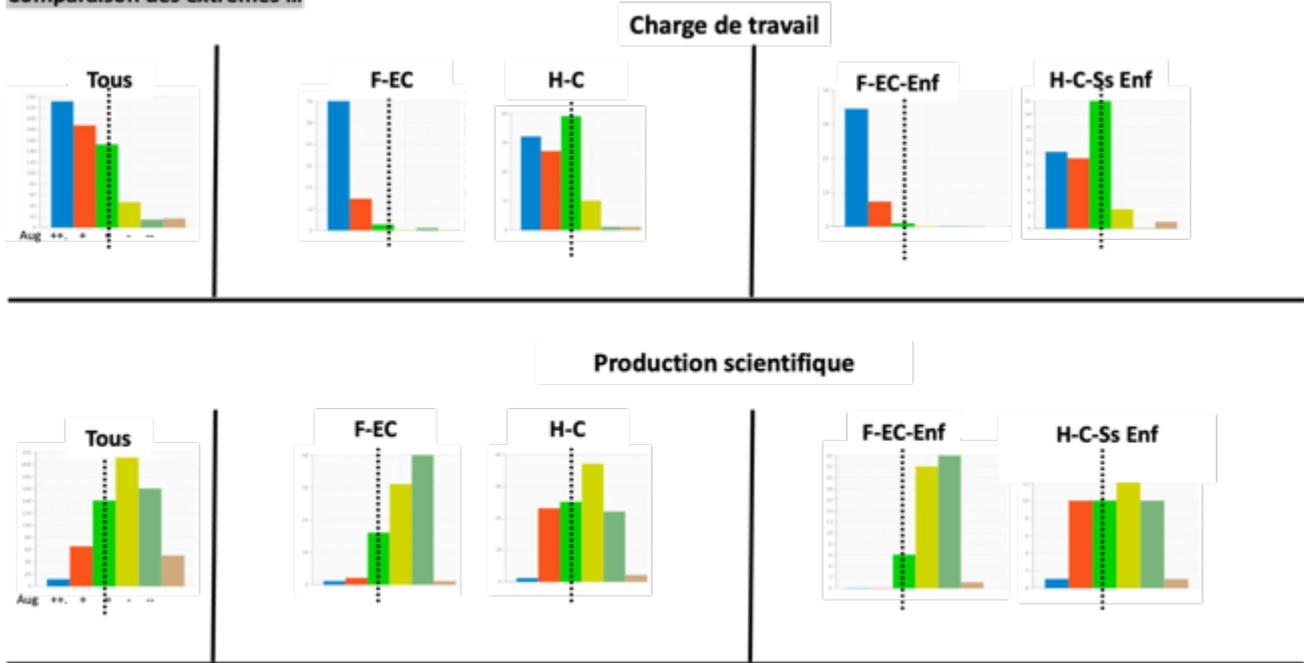


Figure 4 – Comparaison des extrêmes
Même présentation que la Fig. 1.



III. Analyse des questions ouvertes

Nous avons ensuite entrepris d'analyser les réponses ouvertes aux différentes questions posées. L'analyse est délicate, car le matériau est très riche et varié (c'est un résultat en soi de cette enquête, qui fait remonter de très nombreux messages, souvent forts et importants). Nous avons essayé systématiquement de regrouper les réponses pour en extraire des types et des tendances, tout en gardant un certain nombre de « verbatims », très instructifs, mais dont il faudra déterminer s'ils peuvent être ou non rendus publics. L'analyse des réponses conduit également, souvent, à regretter de ne pas avoir posé certaines questions fermées ou formulé différemment certaines questions pour en faciliter l'analyse ... Cela pose la question de la possibilité d'une nouvelle enquête dans une phase suivante ...

Nous présentons dans ce qui suit deux synthèses de ces analyses, d'abord une synthèse sur la question la plus ouverte du sondage, portant sur toute action qui semblerait nécessaire, l'autre sur la question spécifique du télétravail, qui a été au cœur des réponses aux questions sur « ce qu'il faudrait garder » et « ce qu'il ne faudrait pas garder » en sortie de crise Covid. Une analyse plus fine et détaillée, illustrée de nombreux verbatims, est fournie dans l'Annexe 2.

Analyse de la question la plus ouverte : « Indiquez en format libre toute action qui vous semblerait nécessaire ou utile pour s'adapter aux conséquences de la crise COVID dans votre domaine de recherche »

Synthèse et propositions

1. Sur le télétravail

Constats :

- La faisabilité du télétravail est liée aux conditions particulières de chacun et au bien-être des individus
- Le 100% télétravail n'est pas adapté pour tous
- Il faut maintenir une dose de présentiel minimale pour faciliter les interactions et la réalisation de certaines tâches collectives
- Le télétravail est utile pour éviter les déplacements (coût + temps + Développement Durable) et favoriser plus de participation (par ex. confs en lignes)

Recommandations/conclusions

- Il faut laisser le choix et ne pas imposer un dogme - => autoriser l'hybride ou l'alternance visio/présentiel (réunions etc)
- Disposer d'outils (pas 36 mais les bons) de visio et de travail collaboratif si possible pas privés.
- Equiper les gens pour ce télétravail / indemniser les coûts du télétravail

2. Plus généralement

Une partie des commentaires a déjà été remontée par la communauté scientifique avant la crise Covid. Ils portent sur l'équilibre enseignement et recherche mis à mal, les charges administratives trop lourdes, le financement par projet chronophage et peu performant, et du coup les besoins en financements pérennes, en recrutements, la simplification nécessaire des évaluations etc. La



nouveauté vient que ces demandes sont faites dans un état actuel d'épuisement de la communauté : La situation de crise COVID a mis en exergue une montée en charge qui repose toujours sur les permanents qui sont les piliers du système. Les commentaires sont plus radicaux - il est exprimé une claire atteinte au bien-être des personnels - une volonté d'une approche véritablement RH de la situation.

On ne peut pas continuer comme si rien ne s'était passé. Il faut une prise de conscience sur :

- Limiter le fonctionnement par projets et augmenter le financement récurrent
- Privilégier des postes permanents par rapport aux postes précaires
- Alléger les charges administratives
- Valoriser le travail collectif et fédérateur autant que l'excellence individuelle
- Développer une approche RH du point de vue humain et pas seulement administratif du métier des EC et C
- Maintenir un équilibre (et une exigence) raisonnable entre Enseignement et Recherche
- Tous ces aspects contribueraient notamment à redonner envie à nos étudiants de niveau Master de faire une thèse et d'embrasser la carrière de chercheur ou d'enseignant chercheur
-

A court terme pour faciliter la reprise de l'activité de recherche et prendre en compte la période particulière depuis plus d'un an :

Prendre en compte la période covid :

- dans l'évaluation des chercheurs, pour beaucoup, la période a été néfaste sur la productivité et le travail collaboratif
- pour prolonger les contrats (projets, financements doctorants etc)

Faciliter la reprise de l'activité de recherche :

- Il y a un besoin d'actions pour relancer la dynamique de recherche (bourses de mobilité, etc)
- Il faut faciliter l'accès à des financements doctoraux
- Il faut alléger les aspects administratif / Reporter les évaluations et autres tâches chronophage

Une fausse bonne idée : les délégations ? Elles sont bénéfiques lorsque le nombre de personnels est suffisant et donc que la charge induite n'augmente pas trop celle des autres....

Analyse spécifique de la question du télétravail et de qu'il faudrait conserver ou supprimer après la crise Covid

- Le télétravail *non contraint* (en volume, en choix des journées) très fortement souhaité (près de la moitié des réponses), mais il doit être organisé de manière à pouvoir rencontrer ses collègues, ses étudiants, etc., régulièrement sur site.
- Se dégage une certaine volonté de limiter ses déplacements (pas nécessairement formulée comme telle, mais cela semble souvent motiver le souhait de participer à des réunions, séminaires, ou conférences en visio), ou le souhait de changer de mode de transport (ne plus prendre l'avion).
- Les téléconférences sont souhaitées en tant qu'intervenant (afin de limiter les déplacements, certains envisagent de publier dorénavant davantage en revues qu'en conférences), ou en tant que participant (afin de sélectionner les exposés les plus intéressants et pouvoir ainsi en suivre davantage). Il existe une demande d'organisation de conférences sous mode hybride, avec des frais



d'inscription réduits pour une participation à distance. Je n'ai pas trouvé d'expression opposée à ce mode de conférence, même si l'importance de pouvoir se rencontrer physiquement est mentionnée à plusieurs reprises.

- Il est fait mention d'un intérêt pour l'organisation de séminaires en visio permettant d'inviter facilement des intervenants étrangers (dans une moindre mesure, même intérêt de la visio en enseignement pour permettre l'intervention d'enseignants extérieurs, étrangers par exemple).
- Pour certains, utilité de la visio également pour des jurys de thèse ou de recrutement (mais sans unanimité) ; intérêt pour les concours de sélection professionnelle en tant que candidat.
- Fort intérêt pour les outils permettant le travail collaboratif à distance (documents partagés, réunions en visio), appréciation de l'intérêt de la dématérialisation des documents concernant le travail administratif.
- Près de 40% des réponses font état du souhait d'une systématisation de certaines réunions en visio (réunions administratives en particulier) pour réduire les déplacements (le temps perdu induit) et accroître leur efficacité, ou de l'intérêt de la visio pour le suivi de projets multipartenaires (étrangers notamment). Certains trouvent que cela permettra d'organiser davantage de réunions, d'autres au contraire souhaitent à l'avenir réduire leur participation à des réunions.
- Certains trouvent que la crise leur a permis une meilleure gestion de leur temps de travail (travail en horaires décalés, réduction du fractionnement recherche/enseignement/administration) et ont apprécié la pertinence de certains outils de travail à distance (partage de documents, réunions de travail en visio permettant d'en tenir plus fréquemment) et la liberté que permet leur usage dans l'organisation du temps de travail. Même observation pour le télétravail qui permet de gérer ses journées de travail à sa guise.
- En revanche, environ 10% des réponses indiquent qu'il n'y a rien à conserver de cette période, ce qui semble exprimer le souhait d'un retour intégral au mode de fonctionnement antérieur. Certains semblent avoir vécu (ou vivre) très mal la crise et expriment leur souhait de changer de laboratoire, de profession, de pays, ou prendre leur retraite... ou de se déplacer davantage la crise terminée afin rencontrer à nouveau leurs collègues
- La plupart soulignent l'importance que rien ne soit imposé, pour l'organisation des réunions comme pour le télétravail, certaines réunions étant efficaces en visio, certains cours passant bien en visio, mais ceci n'étant pas toujours vrai.
- Verbatim : « *La crise a désorganisé les institutions, et au vu de la charge de travail qui pèse sur les EC, a conduit à des sollicitations à toute heure de la journée et du WE ou des 'vacances'. Y compris les tutelles qui sollicitent les Directeurs d'Unités le vendredi soir tard ou pendant une coupure annoncée. Les institutions doivent mettre un frein et remettre un cadre organisationnel avec un droit à la déconnexion* ».



IV. Les réponses des doctorants

Nous présentons maintenant les analyses des 117 réponses à l'enquête provenant des doctorants. En voici la répartition géographique.

Bordeaux 3	Lyon 10
Clermont-Ferrand 1	Montpellier 2
Compiègne 1	Nancy 6
Dijon 2	Nantes 2
Epinal 2	Nice 2
Grenoble 8	Orsay 3
Illkirch-Graffenstaden 1	Paris 29
Lannion 1	Rennes 9
Lille 5	Saint Etienne 1
Limoges 2	Toulouse 20

Le profil des 117 doctorants ayant répondu à l'enquête est le suivant :

- 49% moins de 25 ans, 41% de 26 à 30 ans.
- 33% femmes et 58% hommes (9% sans réponse).
- 95% sans enfants
- 30% 1ere année, 40% 2eme année, 23% 3eme année, 8% 4 et +
- 76% contrat doctoral, 11% CIFRE, 4% ATER

Leur perception de l'impact général de la crise Covid est la suivante :

- 43% estiment n'avoir pas subi de modifications significative de leur charge de travail dans la période Covid (contre 35% mentionnant une augmentation de la charge de travail, et 17% une diminution de la charge de travail)
- **Par contre, 86% reconnaissent que cela complique la vie collective au sein de leur environnement.**
- **70% indiquent des complications dans les partenariats et collaborations.**
- **71% indiquent des complications dans les relations avec les directeurs de thèse**
- **80% indiquent des complications dans l'avancement des travaux de thèse**
- 52% indiquent une diminution de l'envie de faire de la recherche dans l'avenir (43% inchangé).
- L'écart qui semble apparaître entre le nombre important de doctorants qui indiquent que leur charge de travail n'a pas vraiment changé (49/118) et le nombre plus important encore qui indiquent que leur temps de recherche a diminué et que leur production scientifique a diminué peut s'interpréter par le fait que si les doctorants considèrent qu'ils peuvent travailler, la qualité de ce travail diminue, notamment faute d'être dans un contexte d'échanges avec les autres doctorants et les autres membres du laboratoire. Globalement, il apparaît que la relation avec la direction de thèse a été souvent compliquée, quelle que soit l'année de thèse.
- De nombreux témoignages font ainsi état de détériorations très fortes des conditions d'encadrement et de travail dans la période concernée. Verbatim : « *Lorsqu'on se rapproche de notre encadrement pour signaler qu'on va mal et qu'on a besoin d'une pause car mentalement ce n'est plus tenable, on rencontre l'incompréhension, l'agressivité ou le silence, ou bien, on cherche à nous faire culpabiliser. Personnellement, j'ai attendu plusieurs mois pour pouvoir bénéficier d'un chèque psy car rien n'a été mis en place au niveau de l'université* ».

Impact sur la thèse

- 46% souhaitent une extension de leur thèse, 33% ne le souhaitent pas.



- Les extensions souhaitées varient de 2 mois à 12 mois, 3 mois et 6 mois étant le plus demandés (53% des réponses seulement donnent des précisions).
- 14% des doctorants ont obtenu une extension. Les autres n'ont rien obtenu ou sont en attente d'une réponse.
- On note que les extensions accordées précisées sont souvent de 3 mois. On note une extension de thèse CIFRE acceptée par une université et refusée par l'entreprise, une extension de 7 mois sur contrat ANR, une extension CIFRE de 3 mois plus 6 mois CNRS.

-Il semble que la « perte de réseau d'intégration » liée à la crise Covid militerait fortement pour que soit mis en place rapidement une possibilité largement ouverte pour les doctorants impactés de prolonger leur thèse sur une durée de 6 mois, leur permettant de reconstituer pour partie ce réseau essentiel à leur devenir professionnel.

Commentaires libres sur la COVID

28 % de réponses

- **Problèmes d'intégration, manque d'interaction.** Plusieurs témoignages mentionnent des problèmes de santé mentale (du doctorant ou de ses proches), et le problème de financement de ces soins. On retrouve plusieurs témoignages qui mentionnent un **manque de suivi** (du directeur de thèse, ou de l'entreprise pour une CIFRE).
- 31 réponses sur 75 mentionnent que **le télétravail partiel est bénéfique** (travailler au calme, éviter les transports).
- Presque toutes les 81 réponses sont unanimes pour indiquer que **le télétravail complet est un souci**. On retrouve notamment le souci des horaires de travail décalés, l'absence de pauses, de plages de travail plus importantes, de séparation vie privée/travail.



Annexe 1 – L'enquête

Enquête sur les conséquences de la crise COVID dans les unités INS2I

Le Conseil Scientifique de l'Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions s'inquiète des conséquences de la crise sanitaire sur la situation des personnels, permanents ou non, des laboratoires et de leurs capacités de recherche. Il a émis une « [Recommandation sur l'impact de la situation sanitaire sur l'enseignement supérieur et la recherche](#) ». Le Conseil Scientifique d'Institut a décidé de tenter de mieux appréhender les conséquences actuelles et potentielles de la crise sanitaire sur la situation des personnels et des équipes dans le domaine des sciences de l'information en France. Notre objectif est d'analyser l'état des forces de façon suffisamment précise pour pouvoir proposer des actions concrètes de nature à aider les personnes et les équipes à surmonter les conséquences de cette crise dans les deux années qui viennent.

Cette enquête est courte, volontairement, pour ne pas ajouter du poids au poids de la situation sanitaire, elle ne vous prendra pas plus de 10 mn. Elle contient une dizaine de questions sur votre situation actuelle et une dizaine de questions sur des actions possibles à mener, puis une dizaine de questions génériques précisant le contexte de votre activité.

Il y a 27 questions dans ce questionnaire.

Diriez-vous que l'année qui vient de s'écouler dans le contexte de la crise a conduit à (de ++ augmenter à -- diminuer ou de ++ faciliter à -- compliquer) :

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	++	+	=	-	--
Augmenter/diminuer votre charge de travail	<input type="radio"/>				
Faciliter/compliquer la vie collective au sein de votre environnement de recherche	<input type="radio"/>				
Faciliter/compliquer les démarches administratives (RH, gestion de projets...)	<input type="radio"/>				
Augmenter/diminuer votre intérêt pour les élections à des instances de représentations locales ou nationales	<input type="radio"/>				
Augmenter/diminuer votre temps consacré à la recherche	<input type="radio"/>				
Augmenter/diminuer votre activité de production scientifique (publications, logiciels, rapports)	<input type="radio"/>				
Augmenter/diminuer votre activité de rédaction/dépôt de projets	<input type="radio"/>				
Faciliter/compliquer vos partenariats et collaborations de tous ordres	<input type="radio"/>				
Faciliter/compliquer le suivi de vos collaborateurs ou étudiants (ou la relation avec vos responsables)	<input type="radio"/>				
Faciliter/compliquer l'avancement des travaux de thèse, des projets scientifiques	<input type="radio"/>				
Augmenter/ diminuer votre envie de faire de la recherche ou de travailler dans la recherche dans les années à venir	<input type="radio"/>				

Quel est votre statut ? *

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Maître-esse de conférences
- Professeur.e des universités
- Chargé.e de recherche
- Directeur.rice de recherche
- Ingénieur.e/technicien.ne/Administratif.ve
- Doctorant.e
- ATER non doctorant.e (ATER doctorant.e, cocher doctorant.e)
- Postdoc
- Autre



Considérez-vous que la crise COVID a affecté le déroulement de votre thèse et qu'une extension du financement de la thèse est nécessaire pour mener à bien votre sujet de thèse ? (mettre la durée de l'extension souhaitée en mois en commentaire)

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
La réponse était 'Doctorant e/' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous
Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- oui
 non

Faites le commentaire de votre choix ici :

Avez-vous obtenu un prolongement de votre thèse suite à la crise COVID (durée du prolongement en mois et source du financement en commentaire si c'est le cas) ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
La réponse était 'Doctorant e/' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous
Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- oui
 non

Faites le commentaire de votre choix ici :

Pensez-vous que les institutions de la recherche ont réagi à la crise de manière adéquate/suffisante ou inadéquate/insuffisante ?

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous
Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Adéquate suffisante
 Plutôt adéquate suffisante
 Sans avis
 Plutôt inadéquate insuffisante
 Inadéquate insuffisante

Commentaire libre sur la situation actuelle

Veuillez écrire votre réponse ici :



Dans votre manière de travailler, quels changements induits par la crise comptez-vous conserver dans le futur ?

Veuillez écrire votre réponse ici :

Dans votre manière de travailler, quels changements, induits par la crise, ne comptez-vous surtout pas conserver dans le futur ?

Veuillez écrire votre réponse ici :

Quels modes de financement de votre recherche allez-vous privilégier ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse étant 'Maître-esse de conférences' ou 'Professeur-e des universités' ou 'Chargé-e de recherche' ou 'Directeur-riche de recherche' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Cochez la ou les réponses

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent :

- projets blancs
 projets ciblés thématiquement
 projets de mobilité
 allocations de recherche

Autre:

Indiquez en format libre toute action qui vous semblerait nécessaire ou utile pour s'adapter aux conséquences de la crise COVID dans votre domaine de recherche.

Veuillez écrire votre réponse ici :

Vos changements de priorités dans les années qui arrivent.

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	**	*	=	-	--
Comptez-vous rechercher plus ou moins de financements de thèses ?	<input type="radio"/>				
Comptez-vous répondre plus ou moins rapidement à des appels d'offre de financements de vos recherches ?	<input type="radio"/>				
Envisagez-vous plus ou moins de changer de thème de recherche ?	<input type="radio"/>				
Accepterez-vous plus ou moins d'effectuer des heures d'enseignement supplémentaires ?	<input type="radio"/>				
Envisagez-vous plus ou moins qu'auparavant de demander une délégation ou un CRCT ?	<input type="radio"/>				
Pour les contractuels, la situation a-t-elle plus ou moins conforté votre projet de poursuivre dans le secteur de la recherche ?	<input type="radio"/>				



Quel est votre classe d'âge ? *

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous
Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- 25 ans ou moins
- entre 26 et 30 ans
- entre 31 et 35 ans
- entre 36 et 40 ans
- entre 41 et 45 ans
- entre 46 et 50 ans
- entre 51 et 55 ans
- entre 56 et 60 ans
- entre 61 et 65 ans
- plus de 65 ans

Quel est votre genre ? *

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous
Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- féminin
- masculin
- autre
- ne souhaite pas répondre

Avez-vous un ou des enfants qui nécessitent votre attention quand ils sont à la maison ?

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
- Non

La ville dans laquelle se situe votre laboratoire.

Veuillez écrire votre réponse ici :



Avez-vous des responsabilités de recherche ? Mettre l'effectif en commentaire.

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Chargé-e de recherche' ou 'Directeur-riche de recherche' ou 'Ingénieur-e/Technicien-ne/Administratif-ve' ou 'Professeur-e des universités' ou 'Maître-esse de conférences' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Ajoutez un commentaire seulement si vous sélectionnez la réponse.

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent et laissez un commentaire :

- Responsable d'équipe
- Responsable d'unité (DU, DUA, GDR)
- YP Recherche
- Responsable fédération de recherche

Autre :

Assurez-vous des responsabilités d'enseignement ? Mettre l'effectif en commentaire.

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Maître-esse de conférences' ou 'Professeur-e des universités' ou 'Chargé-e de recherche' ou 'Directeur-riche de recherche' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Ajoutez un commentaire seulement si vous sélectionnez la réponse.

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent et laissez un commentaire :

- Responsable de semestre
- Responsable d'année
- Responsable de formation/diplôme
- Responsable des stages
- Responsable des vacataires
- Responsable des services
- Responsable des EDT

Autre :

Avez-vous des responsabilités administratives et/ou techniques ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Maître-esse de conférences' ou 'Professeur-e des universités' ou 'Chargé-e de recherche' ou 'Directeur-riche de recherche' ou 'Ingénieur-e/Technicien-ne/Administratif-ve' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Ajoutez un commentaire seulement si vous sélectionnez la réponse.

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent et laissez un commentaire :

- Responsable de plateforme expérimentale
- Responsable d'une équipe de gestion administrative, comptable ou autre
- Responsable d'une équipe technique (ressources informatiques, système d'information...)

Autre :

Avez-vous des responsabilités de projet ? Mettre le budget approximatif, en k€, en commentaire.

● Ajoutez un commentaire seulement si vous sélectionnez la réponse.

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent et laissez un commentaire :

- BQR/EPSI/Emergence
- Partenaire projet ANR
- Projet ANR
- ERC

Autre :



Etes-vous en période d'évaluation HCERES ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Maître-esse de conférences' ou 'Professeur e des universités' ou 'Chargé e de recherche' ou 'Ingénieur e/Technicien ne/Administratif ve' ou 'Directeur rice de recherche' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

Etes-vous en période de refonte de maquette de formation ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Maître-esse de conférences' ou 'Professeur e des universités' ou 'Chargé e de recherche' ou 'Ingénieur e/Technicien ne/Administratif ve' ou 'Directeur rice de recherche' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

Etes-vous en période de préparation du projet quinquennal ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Directeur rice de recherche' ou 'Ingénieur e/Technicien ne/Administratif ve' ou 'Chargé e de recherche' ou 'Professeur e des universités' ou 'Maître-esse de conférences' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

Nombre de personnes encadrées en recherche (master, doctorant, post-doc)

● Votre réponse doit être comprise entre 0 et 100

● Seul un nombre entier peut être inscrit dans ce champ.

Veillez écrire votre réponse ici :

en quelle année de thèse êtes-vous ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Doctorant e' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- première
 deuxième
 troisième
 quatrième et au delà

Type de contrat

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Doctorant e' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Contrat doctoral
 CIFRE
 Bourses d'universités ou de gouvernements étrangers
 ATER
 Autre

de combien de mois de contrat disposez-vous encore dans votre statut actuel ?

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Postdoc' à la question 2 [Statut] (Quel est votre statut ?)

● Votre réponse doit être comprise entre 0 et 60

● Seul un nombre entier peut être inscrit dans ce champ.

Veillez écrire votre réponse ici :

Toute information complémentaire que vous jugerez utile.

Veillez écrire votre réponse ici :



Annexe 2 – Analyse détaillée des « Commentaires libres sur la situation actuelle »

Cette Annexe présente une analyse détaillée de la question la plus ouverte, et qui a conduit au plus large ensemble de matière textuelle. L'analyse a consisté d'abord à organiser les réponses en grands secteurs :

- 1) Fonctionnement scientifique de la recherche (financement, évaluation, organisation)
- 2) Fonctionnement administratif et technique de la recherche
- 3) Équilibre enseignement-recherche
- 4) Rôle des tutelles (CNRS, EPST, universités)
- 5) Rôle du gouvernement
- 6) Situation personnelle

Puis, dans chaque secteur, des sous-catégories ont été mises en évidence et déclinées en réponses les plus significatives, incluant plusieurs verbatims qui semblaient particulièrement intéressantes

1. Fonctionnement scientifique de la recherche (financement, évaluation, organisation)

Télétravail +

- Temps de transport réduits ou supprimés, plus de temps pour la recherche
- Rencontres plus faciles avec collègues à distance, choix de séminaires beaucoup plus vaste
- Travail mieux organisé et productif, réunions plus simples, moins de voyages et de missions
- Jurys de thèse (« ou l'on parle en général 20 minutes pour 8h de transport »), tous jurys à distance
- Variété des outils (les bons, les mauvais, les institutionnels, les locaux, les nationaux, les étrangers...)
- **Le télétravail DOIT ETRE maintenu après la fin de la situation de la crise Covid.**

Présentiel +

- Rencontres et discussions informelles nécessaires, le café, les conférences
- Plus de vie d'équipe (ou plus assez) en situation de télétravail massif
- La difficulté du travail à la maison, charge mentale, solitude, perte de sens et risque d'épuisement dans le télétravail
- Les difficultés d'intégration d'un nouvel arrivant en situation de télétravail massif (exemple d'une délégation CNRS)
- Le télétravail total produit des processus de décisions qui sont implicites, par peur de "formaliser" dans des mails écrits, ce qui nuit à la compréhension des résultats des débats - et produit plus d'agressivité et de conflits entre collègues, du fait que les échanges sont moins faciles, les échanges informels permettent de traduire de manière subtile tout un éventail de sentiment,
- L'évaluation à distance est impossible
- Ne pas basculer vers le télétravail juste pour des raisons économiques (note : inquiétude massive dans l'enseignement, peut-être pas dans la recherche ?)

Le quasi arrêt de l'expérimentation dû à la crise Covid, et ses conséquences pour la recherche expérimentale (Sciences. Cognitives par exemple)

La lourdeur accrue du métier : "L'empilement de tâches absurdes et non scientifiques qui ne cesse de s'accroître et ne semble pas parti pour s'arrêter"

2. Fonctionnement administratif et technique de la recherche



Travailler autrement

- Réunions administratives en distanciel
- Offres de service à distance, vidéos de présentation, développer des logiciels, se former, science ouverte

Les lourdeurs administratives :

- Une situation qui empire continuellement et met en péril la recherche
- Une dégradation pendant la crise due à la multiplication des consignes et des demandes
- Le télétravail complique le dialogue avec l'administration
- La charge de travail administratif des C et EC a augmenté pendant la crise
- Il n'y a plus assez de service administratif dans les labos
- Amplifiées et mises en évidence dans la crise Covid (logistique, coordination, décision)

3. Équilibre enseignement-recherche

Le poids de l'enseignement dans la crise Covid, la baisse ou l'abandon de la recherche pour les EC

- La charge administrative accentue la difficulté
- La charge d'enseignement augmente constamment - où sont les postes ?
- La recherche est souvent une variable d'ajustement
- Aucune "ressource humaine" n'a été mise en place pour limiter l'impact de ce travail supplémentaire
- Verbatim : « *la situation est catastrophique dans les universités, notamment chez les enseignants-chercheurs qui ont la double-peine de ne quasiment plus pouvoir faire de recherche à cause des aménagements d'enseignement chronophages, et d'être minés par la gestion humaine de la grande détresse étudiante. Une autre année à ce rythme, et les équipes vont tomber comme des dominos. On ne compte plus les burnouts avérés ou en approche* ».
- Verbatim : « *les personnels sont sous l'eau, les étudiants sont perdus... Le travail est une succession de tâches sur Zoom que nous organisons pour mener à bien nos projets, assurer le suivi avec nos étudiants, nos master recherches, nos doctorants, nos collègues, nos réseaux, nos équipes, etc. Les journées s'enchaînent sans pauses de réunions Zoom en réunions Zoom (ou autres logiciels de visio), avec aucun canal pour discuter, pour exprimer ses sentiments, comprendre les implicites. A cela on rajoute que le "management" d'équipe ou le leadership dans les projets est censé être à notre charge, sans formation, et nous subissons le manque d'efforts général mis en place, du fait que tout le monde essaye simplement de survivre. Franchement la situation est problématique. Cela me désintéresse du travail déjà extrêmement prenant de MCF, déjà peu valorisé dans la société* ».

4. Rôle des tutelles (CNRS, EPST, universités)

Un manque d'agilité dans l'adaptation à la crise

- Les outils collaboratifs : la mise en place tardive de Zoom CNRS, l'incapacité de fournir des outils maison à niveau, la nécessité de travailler sur des infrastructures de communication fiables, nationales ou européennes, le manque de moyens de Renater, l'exploitation d'outils locaux ou alternatifs (plmlatex), etc ...
- L'adaptation des calendriers (HCERES, ANR, calendrier universitaire, CNRS) à la crise Covid a été insuffisante
- Mieux prendre en compte les aspects logistiques : « *Les annonces de confinement ont un impact énorme sur les chercheurs (et personnels support) qui ont des enfants à charge, en particulier en bas âge. Cet aspect logistique a été très peu (pas ?) pris en compte dans l'organisation du travail. Je pense en*



particulier à l'organisation des concours et aux délais demandés pour évaluer des dossiers en tout genre ».

- Verbatim : « je n'ai pas vu une seule tentative ni au niveau de l'organisme, ni au niveau de l'institut, ni au niveau du laboratoire pour penser et mettre en œuvre les méthodes et les outils qui auraient permis d'entretenir des liens sociaux au sein des unités et de préserver les collectifs de travail. Chacun bricole dans son point ses réunions virtuelles, et aucun retour d'expérience n'a été fait qui aurait permis de faire évoluer les pratiques entre le premier et le second confinement »
- **Les inégalités de genre** - Verbatim « Les médias ont parlé beaucoup du fait que les mères chercheuses prennent plus de responsabilités dans leur familles (ménage, enfants, repas) que les pères chercheurs, mais les institutions de la recherche n'ont pas vraiment réagi envers ce sujet. Dans les comités à sélection à venir, est-ce qu'on considéra qu'une mère en 2020/2021 avait des facteurs importantes qui l'empêchait à publier ? Notre laboratoire, par exemple, n'a pas proposé des dispositifs concrets à aider ces mères chercheuses ».

Simplifier l'administration

- Dématérialiser les circuits de signature
- Les incohérences administratives entre tutelles - « Les consignes des tutelles et du CNRS en particulier n'étaient pas assez précises. Un exemple était la demande de signalement des personnes COVID-19 tandis que des CHSCT locaux s'y opposaient fermement. La communication sur la mise en ASA était aussi catastrophique. Par ailleurs, il n'y avait aucune cohérence entre les organismes de recherches pour les congés, etc... Nous étions mieux préparés pour les confinements suivants et le CNRS aussi ».
- Les changements permanents de règles dans les universités

Le manque de support administratif de gestion de crise

- Il serait bien que les services administratifs des universités et DR CNRS se remettent en route. Le télétravail ne permet pas de joindre les personnels de ces services par téléphone lorsqu'ils restent chez eux.
- La surcharge de travail des DUs dans la crise COVID (aucun support administratif de gestion de crise n'a été proposé) - le besoin de personnels techniques en soutien

Le soutien financier au télétravail et à la crise Covid

- Chauffage, électricité, internet, abonnement 4G, prime Covid : financement de la tutelle ou a minima autorisation de prendre des financements sur projets
- Le cas des étudiants et post-docs - Verbatim : « La situation reste difficile pour les étudiants (surtout les étudiants étrangers) qui n'ont pas toujours des conditions de logement qui leur permettent de s'isoler, de disposer d'un bon accès au réseau. Pour eux se pose également la question de compenser les surcoûts induits par cette situation. On s'en rapproche doucement ».

La gestion humaine de la crise, pas à la hauteur ?

- Ce sondage constitue la première prise de contact officielle pour se soucier du bien être des membres des UMR après plus d'un an de crise - "J'aurais aimé que le CNRS soit plus une force de proposition, de rassemblement et de soutien."
- Organiser des événements fédérateurs ("L'éloignement des uns par rapport aux autres du fait du télétravail contribue à tuer la vie de labo et l'émulation qui peut y naître entre chercheurs. De ce fait, les conséquences de cette crise sanitaire sont globalement négatives sur ma vision du travail de chercheur. Si l'INS2I peut organiser des événements fédérateurs à la sortie de cette crise, ce serait sûrement pour le mieux.")
- Il a manqué un vrai investissement en personnel, en argent et en idée pour aider les personnes à mieux travailler dans cette situation compliquée
- Des règles trop strictes, au détriment de la qualité du travail, de la motivation (absolument indispensable en recherche), et de la santé mentale des chercheurs et chercheuses



Les instances dirigeantes des instituts de recherche (dans mon cas Inria), en ont profité pour forcer toute une série de mesures mauvaises pour la recherche, sans discussion

Les institutions doivent réfléchir à de nouveaux modèles de "gouvernance" et à des nouvelles directions de recherche pour l'avenir

- L'innovation laisse de moins en moins de place à la recherche non mercantile.
- Les recherches centrées COVID - Les organismes de recherche ont incité les chercheurs à travailler d'urgence et sans financement sur la thématique de la Covid-19, ce qui a conduit à mettre de côté d'autres activités, pour un résultat assez décevant.
- Réorientation des domaines scientifiques : *"Il faut maintenant relancer nos activités en tenant compte de l'urgence climatique, on ne peut plus se permettre de travailler à développer des domaines dont on sait qu'ils sont mauvais pour notre société. Notre communauté a un devoir d'exemplarité sur ces sujets."*

5. Rôle du gouvernement

Manque d'anticipation

Manque de soutien à l'ESR et ses acteurs par le Ministère - un sentiment d'abandon - on peut se passer de l'ESR pendant un an

Manque de démocratie et de dialogue

Manque de coordination dans l'ESR dans la réponse à la crise Covid

Manque d'investissement en personnel, en argent et en idées

Des lois contestables et des appels à projets multiples, en pleine crise Covid

Une dégringolade scientifique, illustrée par l'absence de vaccins français

Des conditions de travail dans l'ESR qui se dégradent - un élitisme français qui n'existe plus ... des salaires insuffisants, même avec la rehausse des salaires, promise par la LPPR - des risques de départ soutenu vers le privé.

Des reculs qui inquiètent : « *trop de concessions faites à la rigueur scientifique (sans parler des médias grand public), à l'exigence des formations, des contenus, des contrôles...et comme toujours, il sera difficile de revenir en arrière* »



6. Situation personnelle

Charge accrue par le télétravail et la crise Covid, contraintes constantes du métier, isolement ou charge familiale => lassitude, épuisement, burnout, démotivation

- De véritables appels au secours – « *l'isolement rend le métier extrêmement démotivant* », « *je perçois autour de moi et chez moi chez également une forme de démotivation/fatigue qui s'est installée dans la durée, et qui nuit notamment à l'initiative* », « *j'envisage une reconversion professionnelle* »
- Surcharge en enseignement, délitement des relations humaines et sentiment d'inutilité des activités de recherches vécues comme dérisoires : une période difficile qui laissera des traces."

La compétition exacerbée plutôt qu'une logique de coopération est vraiment dommageable à court moyen et long terme

- Ceci est renforcé quand nous sommes dans des petites communautés de recherche, parfois un ou deux dans des mastodontes universitaires

L'inquiétude des précaires

- Temps de recherche amoindri par la charge d'enseignement, pas de conférence donc pas de réseau constitué, pas d'intégration efficace dans l'équipe, un marché peu ouvert aux candidatures

Les difficultés spécifiques des parents de jeunes enfants

Conseil scientifique de Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Section 6 du Comité national de la recherche scientifique

Section 7 du Comité national de la recherche scientifique

Commission Interdisciplinaire 51 du Comité national de la recherche scientifique

Section 27 du Conseil national des universités (CNU)

Recommandations sur les stratégies de publication en science ouverte

La question de la dissémination des résultats de recherches dans les domaines des sciences de l'information s'est grandement complexifiée ces dernières années, avec un paysage en mutation constante et de fait des référentiels disciplinaires, notamment s'agissant des revues, qui soit s'estompent soit subissent un déficit de lisibilité délétère.

Cette tendance trouve largement son origine dans l'émergence de pratiques éditoriales qualifiées de prédatrices, qui elles-mêmes résultent du modèle économique « auteur-payeur » sous-jacent. Ce modèle, attisé par la mouvance par ailleurs vertueuse de la science ouverte, incite les éditeurs à des pratiques proactives et agressives à l'attention des personnels de la recherche quant à la soumission d'articles, le pilotage d'éditions spéciales, ou la réalisation d'expertises en temps très contraint, au détriment de la qualité. Ces pratiques sont notamment connues d'éditeurs tels que Frontiers, MDPI et Hindawi, mais ont été également observées dans un panel bien plus large d'éditeurs. Il est ici inapproprié de résumer le propos à une liste d'éditeurs spécifiques. En effet, de nombreux éditeurs ayant des pratiques de cette nature hébergent par ailleurs des revues de référence pour certaines communautés. Toutes ces dernières, par ailleurs, ne sont pas impactées de manière égale. Le modèle « auteur-payeur » favorise également l'émergence de méga-journaux (tels que IEEE Access, PLOS One, Scientific Reports) qui, même parfois indépendamment du processus d'évaluation qui peut être rigoureux, publient plusieurs dizaines de milliers d'articles par an de par leur politique d'acceptation très libérale. Enfin, le modèle « auteur-payeur » est aussi présent depuis longtemps dans les conférences scientifiques dont une partie des frais d'inscription (parfois très élevés, surtout quand la conférence est en ligne) cache le paiement de frais de publications.

Analyse

Nous rejoignons l'analyse proposée dans les recommandations de la Commission d'Évaluation Inria [1] s'agissant de la logique commerciale qui s'est installée à la faveur de la politique science ouverte portée par nombres d'organismes et d'universités, en France et à l'étranger. L'incitation forte à la mise à disposition des articles scientifiques sur un modèle ouvert (Open Access) a poussé les éditeurs à proposer un modèle « auteur-payeur » à travers le paiement de frais de publication (APC ou *Article Processing Charges*). Les dispersions observées sur les tarifs pratiqués sont importantes, jusqu'à plus de 7000€ dans certains cas, frais qui ne semblent en rien être relatifs à la simple mise à disposition

en accès ouvert d'un article. Ce modèle s'avère particulièrement onéreux (avec une hausse continue avérée des tarifs pratiqués), il favorise la quantité au détriment de la qualité, induit des inégalités dans la publication de ses résultats de recherche, et est en outre inutile car des archives ouvertes connues existent, tel que HAL ou Arxiv.

Recommandations

Ces recommandations sont communément émises par le Conseil Scientifique de l'INS2I, les sections 6 et 7, la Commission Interdisciplinaire 51 du Comité National de la Recherche Scientifique (CoNRS) ainsi que la section 27 du Conseil national des universités. Ces recommandations sont formulées à l'attention des personnels de la recherche (en poste ou candidatant à des postes) comme des instances dans leurs divers rôles d'évaluation. Ces recommandations présentent ainsi une position commune à l'endroit des communautés des sciences informatiques et des sciences de l'information dans son ensemble. Enfin, il convient de souligner que ces recommandations sont par nature liées aux pratiques actuelles qui sont amenées à évoluer de par l'apparition de nouveaux modèles, comme par exemple les journaux intégralement gratuits (accès ouvert « diamant ») basés sur des archives ouvertes subventionnées par des organismes.

Critères d'identification

De multiples travaux [2] et recommandations [5] ont énoncé un certain nombre de critères objectifs qui permettent d'identifier des revues et éditeurs dont les pratiques ne seraient pas conformes à l'esprit de qualité scientifique. La présence d'APC est l'un des critères potentiellement pertinents, le CNRS [3] recommandant par ailleurs explicitement de refuser de se plier à leur paiement ; d'autres critères incluent des invitations répétées à soumettre un article, un nombre disproportionné d'éditions spéciales, des temps d'expertise très réduits, ou encore des incitations à réaliser des expertises rapides en échange de l'annulation d'APC pour un futur article. Nous renvoyons vers le rapport très complet réalisé par l'IAP [4], qui liste les critères d'identification devant être consultés préalablement à la soumission d'un article dans une revue non encore connue.

Recommandations à l'attention des instances d'évaluation

- L'approche qualitative fondée sur une sélection d'articles est vertueuse, combinée à une invitation à l'endroit des personnes candidates ou évaluées à expliciter la contribution de chaque publication. La sélection invite ce faisant ces personnes à soumettre les contributions jugées les plus significatives, dont une partie peut ensuite être lue attentivement pour évaluer le contenu scientifique quand c'est envisageable.
- La fourniture de la liste complète des publications est également recommandée, pour bien cerner la typologie et l'étendue de l'activité du chercheur ou de la chercheuse, qui se doit d'être prise en considération en complément des articles mis en avant.
- Quand l'activité d'un chercheur ou d'une chercheuse est rattachée à une communauté scientifique (GDR ou société savante), il est pertinent de juger le positionnement scientifique dans ce cadre. La structuration de la communauté peut d'ailleurs être rendue explicite sur le site même via des documents de référence.



- Nous invitons également à la vigilance s'agissant des publications dans des revues « de la zone grise » [1], en ce sens que certaines communautés, parfois interdisciplinaires, ont des revues de référence de leurs domaines propres, parfois toujours très sélectives, chez des éditeurs cités pour leurs pratiques prédatrices.

Recommandations à l'attention des personnes candidates ou évaluées

- La définition du positionnement de son profil scientifique au sein de la section d'appartenance, de son institut de rattachement et plus largement dans la communauté scientifique (GDR en national) est cruciale à une bonne évaluation du dossier. Ceci permet de souligner explicitement les questions scientifiques abordées et d'insister sur les spécificités / originalités de l'activité développée dans son environnement. Les chercheuses et chercheurs sont d'ailleurs invités à réfléchir, au sein de leur communauté scientifique, à l'établissement de bonnes pratiques de publication, notamment à l'attention des jeunes chercheuses et chercheurs.
- Quand ce n'est pas déjà obligatoire, nous invitons les chercheuses et chercheurs à fournir une sélection d'articles pour illustrer qualitativement leur activité. Chaque article peut ainsi être accompagné d'un court résumé de la contribution qu'il décrit et les avancées afférentes par rapport à l'état de l'art. Dans le cas d'un article publié dans une conférence ou revue sujette à débat s'agissant du caractère « prédateur » des pratiques éditoriales, il est recommandé d'explicitier et argumenter ce choix.
- Nous encourageons les chercheuses et chercheurs évalués à fournir sous une forme quelconque (CV HAL ou autre) leur liste exhaustive de publications, accompagnée d'un texte explicitant leur stratégie globale de publication, qu'elle leur soit propre, commune à l'équipe ou même au laboratoire.
- Au-delà de l'incitation à la vigilance préalablement mentionnée s'agissant du choix des cibles de publications, il est également important de souligner le libre-arbitre propre à l'esprit de liberté scientifique qui doit nous animer. S'appuyer sur l'expertise et les conseils des collègues et collectifs de recherches est également une bonne pratique qui permet de réaliser des choix éclairés.
- Nous recommandons également la plus grande vigilance s'agissant de l'implication dans des activités éditoriales, que ce soit des comités éditoriaux ou de « guest editor » dans des éditions spéciales.
- Conformément aux recommandations ou injonctions émises par certains organismes ou instances, nous incitons à ne pas payer d'APC auprès des éditeurs pour la mise à disposition en accès libre. Le manuscrit peut être mis en accès libre dans l'archive ouverte HAL dès son acceptation, ce qui est autorisé par de nombreuses revues de nos disciplines. Nous rappelons également que la Loi pour une République numérique spécifie un embargo maximal de six mois qui peut être opposé en cas de refus de l'éditeur [7]. La stratégie portée par de nombreux organismes et agences [3] quant à l'émergence de revues conforme au modèle diamant permet une publication des résultats sans frais sur un modèle ouvert. Ces initiatives s'inscrivent dans la stratégie large de la science ouverte à laquelle nous invitons largement les communautés à adhérer.

Il convient enfin à nouveau de rappeler que les présentes recommandations sont relatives au paysage actuel de l'édition scientifique et devront certainement être adaptées en fonction de l'évolution des pratiques et modèles de publication.

Recommandation adoptée :

CSI INS2I, le 23 novembre 2023. **Vote : 19 oui /19 votants**
Section 6, le 16 novembre 2023. **Vote : 19 oui /19 votants**
Section 7, le 16 novembre 2023. **Vote : 15 oui/ 15 votants**
CID51, le 6 décembre 2023. **Vote : 12 oui, 3 abstentions /15 votants**

Section 27 CNU, le 17 novembre 2023. Vote : 52 oui, 3 non, 3 abstentions /58 votants

M. Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de
l'INS2I



M. Pierre SENELLART
Président de la Section 6



Mme Inbar FIJALKOF
Présidente de la Section 7



M. François PARCY
Président de la CID51



M. Lionel SEINTURIER
Président de la Section 27 CNU



Destinataires :

- M. Antoine PETIT, président-directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- Mme Adeline NAZARENKO, directrice de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)
- M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national (CPCN)
- Mme Christine ASSAIANTE, porte-parole de la Coordination des responsables des instances du CoNRS (C3N)
- M. Pierre ALLIEZ, président de la commission d'évaluation d'Inria
- Mme Sylvie BAUER, présidente de la commission permanente du conseil national des universités (CP-CNU)



- M. Guillaume GELLE, président de France Universités
- Mme Tania MARTINS VIEIRA, cheffe de cabinet, France Universités
- M. Bruno SPORTISSE, président-directeur général d'Inria
- M. Jean-Frédéric GERBEAU, directeur général délégué à la science d'Inria
- M. Laurent ROMARY, directeur de la culture et de l'information scientifiques d'Inria
- M. Éric SAINT-AMAN, directeur du département d'évaluation de la recherche de l'Hcéres
- M. Atilla BASKURT, conseiller scientifique de pilotage du domaine STIC de l'Hcéres
- Mme Hélène TOUZET, directrice du GDR BIM
- Mme Mireille BLAY-FORNARINO et Mme Catherine DUBOIS, directrice et co-directrice du GDR GPL
- Mme Meghyn BIENVENU et M. Nicolas MAUDET, co-directeurs du GDR RADIA
- M. David COEURJOLY et Mme. Maud MARCHAL, co-directeurs du GDR IG-RV
- M. Jean-Michel MULLER et Guillaume THEYSSIER, co-directeurs du GDR IM
- M. Cédric RICHARD, directeur du GDR ISIS
- M. Dimitri PEAUCELLE, directeur du GDR MACS
- Mme Sarah COHEN-BOULAKIA, directrice du GDR MaDICS
- Mme Marlène VILLANOVA, directrice du GDR MAGIS
- M. Christian ARTIGUES, directeur du GDR RO
- M. Philippe FRAISSE, directeur du GDR Robotique
- M. Thomas NOEL, directeur du GDR RSD
- Mme Caroline FONTAINE, directrice du GDR Sécurité Informatique
- M. Ian O'CONNOR, directeur du GDR SoC2
- Mme Béatrice DAILLE, directrice du GDR TAL

[1] <https://inria.hal.science/hal-04001505/>

[2] <https://coop-ist.cirad.fr/publier-et-diffuser/eviter-les-revues-et-editeurs-predateurs/1-qu-est-ce-qu-une-revue-predatrice-ou-un-editeur-potentiellement-predateur>

[3] <https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/le-cnrs-encourage-ses-scientifiques-ne-plus-payer-pour-etre-publies>

[4] pp.8-9: <https://www.interacademies.org/publication/predatory-practices-summary-French>

[5] <https://cnu27.univ-lille.fr/documents/publication-note.pdf>

[6] <https://www.inria.fr/fr/science-ouverte-politique-apc-inria>

[7] https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/DP_LoiNumerique.pdf

Conseil scientifique de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)

Recommandation : Avis sur les recommandations de la mission Gillet

Madame la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Sylvie Retailleau a missionné en janvier 2023 M. Philippe Gillet pour former un groupe de travail voué à émettre des recommandations visant à renforcer et à simplifier l'écosystème national de la recherche [1]. Remis au printemps dernier, le rapport produit par cette équipe présente 14 propositions qui ont pour certaines interpellé. Après échanges, le Conseil Scientifique de l'INS2I souligne son inquiétude profonde quant à la transposition possible de ces recommandations dans les disciplines relevant du champ scientifique de l'INS2I.

Le Conseil Scientifique de l'INS2I souligne en particulier sa vive inquiétude quant au rôle d'agence de programme qui se verrait confié à certains organismes. Les agences envisagées ne manquent pas de rappeler les Alliances, dont le bilan en termes d'efficacité est plus que discutable concernant leurs rôles d'animation et de structuration du paysage des sciences et technologies du numérique. En sus de venir accroître le périmètre des missions des organismes, ces agences de programme vont complexifier davantage le paysage national et alourdir les dispositifs d'attribution des aides. Nous pensons que cette proposition ne contribuerait en rien à déconstruire le mille-feuille administratif mais serait au contraire de nature à le complexifier.

Les missions envisagées viendraient par ailleurs à nouveau en dégrèvement du temps consacré à la recherche pour les personnels des organismes concernés. Enfin, si ces agences de programmes thématiques devaient se voir pilotées par des organismes spécifiques, ce projet induirait une concurrence délétère sur le paysage national et conduirait à un morcellement thématique entre organismes et sites, globalement nocif pour la science à l'échelle du pays. Les recherches en Sciences Informatiques sont menées de front par divers organismes (EPST, EPIC, Universités) et l'affectation du pilotage d'une thématique englobante à un unique organisme aura des effets largement anticipables, dont notamment l'incitation à la course aux indicateurs au niveau des établissements. Le CNRS permet à l'échelle nationale de sortir de cette concurrence stérile, il faut veiller à ne pas installer un dispositif qui mènerait à l'épuisement et la désresponsabilisation des chercheurs et enseignants-chercheurs.

[1] <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/remise-du-rapport-de-la-mission-gillet-sur-l-ecosysteme-de-la-recherche-et-de-l-innovation-91274>

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I



Recommandation adoptée le 30 novembre 2023
Vote : 16 oui / 16 votants

Destinataires :

- Mme Élisabeth BORNE, Première ministre
- Mme Sylvie RETAILLEAU, ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche
- M. Stanislas GUERINI, ministre de la transformation et de la fonction publiques

Copie à:

- M. Antoine PETIT, président-directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- M. Pierre SENELLART, président de la Section 6
- Mme Inbar FIJALKOW, présidente de la Section 7
- M. François PARCY, président de la CID51
- M. Yves GRANDVALET, président de la CID55
- Mme Sylvie BAUER, présidente de la commission permanente du conseil national des universités (CP-CNU)
- M. Manuel TUNON DE LARA, président de France Universités
- Mme Tania MARTINS VIEIRA, cheffe de cabinet, France Universités
- Mme Adeline NAZARENKO, directrice de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)
- M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national (CPCN)
- Mme Christine ASSAIANTE, porte-parole de la Coordination des responsables des instances du CoNRS (C3N)
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CSI de l'Institut de physique (INP), M. Olivier DRAPIER, président du CSI de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), M. Serge SIMOENS, président du CSI de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS), Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CSI de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU), M. Olivier SANDRE, président du CSI de l'Institut de chimie (INC), Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CSI de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS), M. Yaël GROSJEAN, président du CSI de l'Institut des sciences biologiques (INSB), M. Remi CARLES, président du CSI de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI), Mme Patricia GIBERT, présidente du CSI de l'Institut écologie et environnement (INEE)

Conseil scientifique de l'Institut des sciences Informatiques et de leurs interactions (INS2I)

Recommandations sur le rôle du Conseil Scientifique de l'INS2I dans l'écosystème du CNRS

Les Conseils Scientifiques d'Instituts (CSI) sont des instances du Comité National qui sont adossées à chacun des dix instituts du CNRS. Au-delà de leur composition, les statuts de ces instances mentionnent le rôle de conseil apporté à l'institut ainsi que l'obligation de rédiger un rapport de prospective en fin de mandature. De notre analyse à l'issue de ces cinq années (2019-2023) émergent des opportunités pour un rôle amélioré du CSI INS2I dans l'écosystème global. Nous distinguons ainsi trois vecteurs d'amélioration comme suit qui forment les présentes recommandations, à l'attention de la direction de l'INS2I, de l'organisme ainsi que de la prochaine mandature.

Un CSI à l'interface entre chercheurs et institut

Le CSI est relativement méconnu des communautés scientifiques de l'INS2I. Il pourrait contribuer de manière plus efficace au dialogue entre chercheurs et institut en s'installant dans un rôle bienveillant à l'interface. Ceci apparaît d'autant plus important que le modèle par ailleurs vertueux des UMR installe les chercheurs CNRS dans des environnements diffus par nature où le lien avec l'organisme et par extension l'institut de rattachement peut être perçu comme distendu, et ce malgré les efforts consentis par ces derniers. Un format possible reposerait sur une organisation des sessions du CSI en deux temps : une phase scientifique ouverte, comprenant des exposés et débats en présence de la direction de l'institut et des sections, suivie d'une seconde phase plus classique d'échange entre CSI et institut. Un format hybride, à l'image de ce qui se pratique dans d'autres instituts du CNRS, est adéquat pour permettre une audience large. Ceci contribuerait à créer du lien, installer un dialogue et traiter dans la durée des sujets d'importance, tels que les nécessaires débats sur les questions de responsabilité environnementale et d'éthique scientifique.

Intelligence collective et politique scientifique

Le tryptique formé par l'institut, les sections du Comité National (CN6, CN7, CID51, CID55) et le CSI pourrait s'inscrire dans un fonctionnement plus harmonieux s'agissant des recrutements. Les postes publiés aux concours sont pour partie fléchés et coloriés, et constituent un instrument puissant de politique scientifique. Leur emploi se doit d'être également mesuré pour à la fois créer un effet thématique inductif tout en se conformant à la volonté d'excellence dans le recrutement. Les sections du Comité National sont statutairement en charge de l'évaluation et ont de fait une excellente visibilité sur les profils des chercheurs et candidats. Le CSI, en concertation avec les sections et l'institut, par la diversité thématique des profils de ses membres, pourrait jouer un rôle de conseil dans l'étape amont à la publication de ces postes. La temporalité des concours laisse l'opportunité à l'institut de présenter un projet de coloriage/fléchage au printemps qui pourrait faire l'objet d'une restitution lors de la séance d'automne, en amont du processus de validation suivi de la publication des postes.

CSI et missions

Le travail du CSI s'articule naturellement autour de groupes de travail constitués de membres volontaires pour traiter un sujet donné qui est ensuite présenté et discuté en séance. La définition de ces missions est propre à l'actualité et aux sujets traités, le CSI pouvant répondre à une sollicitation de l'institut ou bien s'emparer de sujets qu'il juge importants. Pour autant, eu égard à la durée d'une mandature (5 ans), il semblerait pertinent de définir en début de mandat quelques sujets qui s'inscrivent dans le temps long, en lien étroit avec l'institut.

Par extension, et de par la nature pluridisciplinaire de nombre de sujets d'importance tels que l'intelligence artificielle ou les questions de numérique responsable, la dimension collaborative déjà présente entre CSI d'instituts pourrait être renforcée, sous l'impulsion du CS de l'organisme qui a déjà émis des recommandations en ce sens [1]. La C3N [2] qui installe un dialogue entre la direction de l'organisme et les différentes instances du comité national et notamment les présidents de CSI, pourrait par extension se saisir de ces sujets pour une coordination améliorée sur ces grands sujets.

[1] Conseil Scientifique du CNRS https://www.cnrs.fr/comitenational/cs/cs_acc.htm

[2] C3N - Coordination des responsables des instances du comité national <https://c3n-cn.fr>

Gilles SASSATELLI
Président du Conseil scientifique de l'INS2I



Recommandation adoptée le 30 novembre 2023

Vote : 16 oui / 16 votants

Destinataires :

- M. Antoine PETIT, président directeur général du CNRS
- M. Alain SCHUHL, directeur général délégué à la science du CNRS
- Mme Adeline NAZARENKO, directrice de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I)
- M. Olivier COUTARD, président du Conseil scientifique du CNRS
- M. Fabien JOBARD, président de la Conférence des présidents du Comité national (CPCN)
- Mme Christine ASSAIANTE, porte-parole de la Coordination des responsables des instances du CoNRS (C3N)
- Mme Claudine GILBERT, présidente du CSI de l'Institut de physique (INP), M. Olivier DRAPIER, président du CSI de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), M. Serge SIMOENS, président du CSI de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS), Mme Beatrice MARTICORENA, présidente du CSI de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU), M. Olivier SANDRE, président du CSI de l'Institut de chimie (INC), Mme Nathalie VIENNE-GUERRIN, présidente du CSI de l'Institut des sciences humaines



et sociales (INSHS), M. Yaël GROSJEAN, président du CSI de l'Institut des sciences biologiques (INSB), M. Remi CARLES, président du CSI de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (INSMI), Mme Patricia GIBERT, présidente du CSI de l'Institut écologie et environnement (INEE)

- M. Pierre SENELLART, président de la Section 6
- Mme Inbar FIJALKOW, présidente de la Section 7