
Liens entre Ingénierie (au sens de l'INSIS) et Intelligence Artificielle (IA)

1. Préambule

Dans un contexte de forte compétition en intelligence artificielle, le CNRS (notamment au niveau de l'INS2I) et d'autres institutions se sont mobilisés à l'échelle locale, nationale ou internationale, pour structurer les recherches et faire émerger des travaux innovants. Il est impossible de citer toutes ces initiatives, mais quelques exemples sont donnés ci-dessous :

A l'échelle locale :

- Sorbonne Center for Artificial Intelligence (<https://scai.sorbonne-universite.fr/>)

A l'échelle nationale par le lancement d'appels à projets dédiés :

- Dans le cadre du PIA3, l'ANR a lancé en 2018 un appel à manifestations d'intérêt pour la création d'instituts interdisciplinaires d'intelligence artificielle (3IA). Quatre instituts ont été retenus : Grenoble MIAI@Grenoble-Alpes ; Nice 3IA Côte d'Azur ; Paris PRAIRIE ; Toulouse ANITI, avec pour applications privilégiées le transport, l'environnement, l'énergie et la santé. Le CNRS est partenaire de ces 4 instituts.

Deux appels à projets complémentaires y ont été associés :

- Appel Chaires IA en 2019 pour lequel un seul projet porté par un laboratoire INSIS a été retenu (Green Artificial Intelligence porté par Sylvain Saïghi, laboratoire IMS)

<https://anr.fr/fileadmin/aap/2019/selection/chaiesia-selection-2019.pdf>

- Appel à financement de contrats doctoraux en 2020 (ANR – 200 co-financements de thèse)

<https://anr.fr/fr/detail/call/appel-a-programmes-contrats-doctoraux-en-intelligence-artificielle/>

A l'échelle internationale :

- le consortium AI4EU a été créé pour construire la première plate-forme et écosystème européen d'intelligence artificielle dans le cadre du programme H2020 de la Commission européenne.

<https://cordis.europa.eu/project/id/825619/fr>

- le projet DesCartes « Program on Intelligent Modelling for Decision-making in Critical Urban Systems », dédié à l'Intelligence Artificielle hybride, démarrera fin 2021 à Singapour pour une durée de 5 ans. Il implique du côté français le CNRS associé à 11 universités et Grandes Écoles et, du côté singapourien, cinq universités et l'institut A*STAR.

<https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/lancement-dun-projet-phare-du-cnrs-sur-lia-hybride-singapour>

Dans ce cadre d'effervescence autour de l'intelligence artificielle, la direction de l'INSIS par l'intermédiaire de son directeur Jean-Yves Marzin a fait part de l'intérêt pour que le CSI mène une réflexion sur le lien entre Ingénierie et Intelligence artificielle. Un groupe de travail a donc été mis en place en janvier 2019¹, afin de la mener avec comme objectif principal de répondre à la question suivante : En quoi l'utilisation massive de l'IA peut-elle induire de nouvelles façons de faire de la science à l'INSIS ?

Ce rapport est donc issu des travaux menés par ce groupe de travail avec le concours de l'ensemble du CSI-INSIS. Il a été approuvé par vote le 2 décembre 2021 à l'unanimité des membres présents du CSI.

¹ Le groupe de travail est composé de : Christian Audoly, Yann Boucher, Denis Flandre, Catherine Lavandier, Cécile Legallais, Claude Pellet.

2. Méthodologie

En préambule, le groupe souhaite indiquer qu'aucun de ses membres ne revendique de compétences scientifiques particulières dans le domaine de l'IA. Il a donc été proposé de mettre en œuvre une démarche d'appropriation du sujet, passant d'une part par l'analyse des documents existants et d'autre part par des auditions d'experts invités lors des séances plénières. Par la suite, le groupe IA a conçu et analysé un questionnaire envoyé à tous les responsables d'entités de recherche de l'INSIS, pour mieux cerner le positionnement scientifique de ces entités vis-à-vis de l'intelligence artificielle. Notons que l'IA a fait l'objet d'un atelier lors de la Journée des Directeurs d'Unités en 2021. Le compte-rendu de cet atelier a également été exploité. Enfin le GT a travaillé au sein du CSI en faisant régulièrement part de ses avancées et en prenant en compte la réflexion des autres membres du CSI sur le travail mené. Le présent document est un travail de synthèse qui reprend les éléments collectés. Il se conclut par des recommandations.

2.1 Définitions : Qu'est-ce que l'IA dans une vision INSIS ?

Sur le site de l'INRIA, il est écrit : « L'intelligence artificielle n'existe pas... mais la puissance combinée des données disponibles, d'algorithmes (souvent fondés sur des approches par apprentissage) et de ressources de calcul ouvre des formidables perspectives dans de nombreux domaines ». Parmi un ensemble de textes recueillis (voir annexe 1), il ressort une certaine variabilité dans les définitions, selon les sources et les communautés scientifiques.

La définition proposée pour ce rapport est la suivante :

« Champ interdisciplinaire théorique et pratique qui a pour objet la compréhension de mécanismes de la cognition et de la réflexion, et leur imitation par un dispositif matériel et logiciel, à des fins d'assistance ou de substitution à des activités humaines. »

2.2 Auditions d'experts Liens IA/INSIS

Une liste non exhaustive d'experts a été établie à partir des réseaux des membres du CSI ou suggérés par les DAS ou les présidents de section. Ils ont été auditionnés en séances plénières lors de réunions du CSI ou en plus petit comité (annexe 2) selon le calendrier suivant :

Session de Septembre 2019 :

Denis Veynante : Mission Calcul-données, CNRS

Session de novembre 2019 :

Mathias Quoy, ETIS UMR 8051, Cergy Pontoise

Bernard Claverie, Ecole Nationale Supérieure de Cognitique/ENSC - Bordeaux-INP - CIH Group, IMS Lab. UMR 5218, Bordeaux

Session de janvier 2020 :

Alain Cappy, IEMN-UMR 8520, Lille

Francesco Chinesta, CNRS - UMR 8006, Nantes

Visioconférence du 19 juin 2020 : Jean-Michel Tran, Naval Group

Visioconférence du 6 janvier 2021 : David Bol, UC Louvain

2.3 Questionnaire

À la suite des analyses de documents et des premières auditions, un questionnaire a été établi et transmis aux responsables de laboratoires, GDRs et Fédérations rattachés à l'INSIS. Il a été envoyé le 17 février 2021 pour connaître le positionnement des laboratoires relevant de l'INSIS, par rapport à cette thématique. Le recueil des réponses s'est terminé le 15 mars 2021. Au total, 87 entités ont répondu à l'enquête dont 75 labos, 7 GDR et 5 Fédérations (sur 120 unités de recherche et de service, 38 GDR et 22 Fédérations sollicités). L'analyse du questionnaire a donné lieu à la production d'un document interne au groupe (annexe 3), puis a été présentée en CSI.

2.4 Journée des Directeurs d'Unités 2021

Lors de la Journée des DUs INSIS (15/03/21), un atelier virtuel a été consacré à l'IA. Une restitution « à chaud » a été effectuée par Laurent Larger (FEMTO). La synthèse est donnée en annexe 4.

Nous tenons à remercier les directeurs d'unités ainsi que les responsables de GDR et de Fédérations, pour leurs réponses au questionnaire ainsi que tous les invités qui ont accepté d'exposer leur vision devant le CSI.

3. Synthèse des éléments collectés

Le premier objectif était de faire un état des lieux sur la place de l'IA dans les laboratoires INSIS, actuellement. Notre enquête montre que l'IA est aussi bien vue comme un objet que comme un outil de recherche.

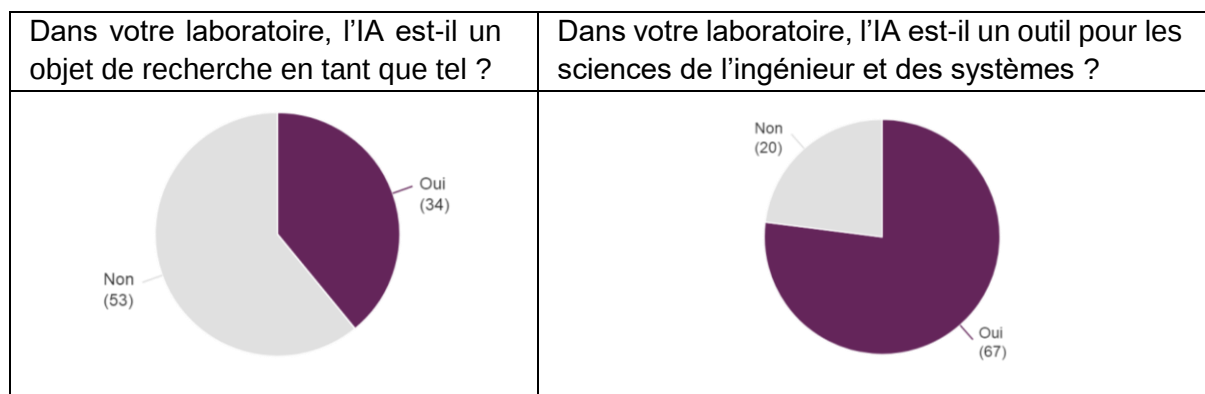


Figure 1 : Distribution des entités enquêtées vis-à-vis de l'IA en tant qu'objet ou en tant qu'outil.

Un très faible nombre de laboratoires ne revendique aucune utilisation. Certains laboratoires, notamment ceux qui considèrent l'IA comme un objet de recherche, s'y intéressent depuis plus de 15 ans.

3.1 IA en tant qu'objet de recherche

L'intelligence artificielle rassemble des techniques de traitement de l'information (plus ou moins anciennes) inspirées par ce qu'on croit savoir du fonctionnement du cerveau, souvent associées à des masses de données importantes.

Comme tout traitement de l'information, l'IA met en œuvre des programmes ou algorithmes (software) qui sont exécutés par des machines (hardware). On retrouve ainsi concernant l'intelligence artificielle des travaux qui concernent aussi bien ces deux aspects.

Concernant les entités relevant de l'INSIS, les laboratoires faisant apparaître l'IA en tant qu'objet de recherche (34 unités sur les 87 ayant répondu à l'enquête) mènent des travaux qui relèvent du hardware (composants pour la collecte de données, composants pour le traitement de données, composants pour le stockage des données, ...), du software (IA symbolique, apprentissage profond, reservoir computing²,...), voire des deux quand il s'agit d'adapter ou d'inventer de nouveaux algorithmes pour de nouvelles architectures (puces neuromorphiques³, réseau de neurones à

² Le reservoir computing se fonde sur un pool de neurones récurrents (le réservoir) dont la dynamique est chaotique (ou en tout cas oscillante) et une couche de neurones de sortie (read-out layer) qui lit cette dynamique. En présence d'une entrée, les poids entre le réservoir et la couche de sortie peuvent être appris de manière à faire l'association entrée/sortie. Il est utilisé pour l'apprentissage de séquences.

³ Une puce neuromorphique présente la même structure physique qu'un réseau de neurones biologique. Elle est composée de multiples unités de calcul correspondant chacune à un neurone artificiel.

impulsions⁴,...). Enfin, ils s'intéressent également à diminuer la consommation énergétique des systèmes mettant en œuvre l'IA, rejoignant ainsi une des autres préoccupations sociétales actuelles majeures, le développement durable. C'est sans doute là une particularité des entités INSIS par rapport aux unités relevant de l'INS2I qui sont essentiellement concernées par l'aspect logiciel de l'IA. Une autre caractéristique propre à l'INSIS concerne l'IA distribuée ou embarquée (Edge Computing⁵) et les contraintes temps-réel qui associent nécessairement étroitement les aspects matériels et logiciels.

Intégration de ces approches pour la modélisation, aide à la décision, ...

La quasi-totalité des entités (31/34) travaille à l'intégration de l'IA pour l'analyse des données, la modélisation ou l'aide à la décision. L'IA n'est pas étudiée pour elle-même mais dans un cadre applicatif : analyse ou conception de systèmes complexes (pour le sport, la santé, etc.).

Développement de puces, capteurs (composants)

13 des 34 unités de recherche déclarant aborder l'IA comme objet de recherche travaillent au développement de composants puces, capteurs le plus souvent microélectroniques, mais aussi parfois photoniques. Certains parmi ces laboratoires s'intéressent naturellement aussi à leur intégration dans des systèmes ou des réseaux, voire travaillent au développement de nouvelles architectures ou de nouvelles logiques.

Architecture des réseaux / logiciels, intégration dans le hardware

12 des 34 unités de recherche déclarant aborder l'IA comme objet de recherche travaillent sur l'architecture des systèmes, l'intégration ou l'adéquation architecture algorithme. On retrouve parmi elles bon nombre de développeurs de composants.

Consommation énergétique des systèmes

5 entités déclarent s'intéresser à la consommation énergétique des systèmes qui peut être un facteur limitant notamment pour l'IA embarquée. Un des enjeux majeurs de tout traitement de données massives par des architectures actuelles des ordinateurs est la consommation énergétique.

Pour illustrer ces trois dernières thématiques, on peut se référer à la présentation d'Alain Cappy (IEMN/IRCICA) qui promeut le développement de processeurs neuromorphiques⁶, capables d'apprendre des données et qui permettraient de résoudre des problèmes complexes avec un fort rendement énergétique. Ce développement est possible grâce à une architecture et un fonctionnement inspirés du néocortex qui, bien qu'encore très partiellement compris, n'ont rien à voir avec ceux des processeurs actuels, notamment en termes de rendement énergétique (AlphaGo a réussi à vaincre un joueur de go, mais avec une puissance supérieure à 300 kW, sans commune mesure avec les 20-30 W d'un cerveau humain).

Selon Alain Cappy, les composants CMOS actuels seraient tout à fait adaptés, à condition de mettre en œuvre des architectures basées sur le mode opératoire du cerveau (codage par impulsions et non par état, architecture corticale). Plusieurs projets de ce type sont en cours de développement aux USA : Brainscales (HBP), Loihi (INTEL), TrueNorth (IBM) : il regrette que la France soit absente de cette compétition par manque d'industrie en microélectronique.

⁴ Les Réseaux de neurones à impulsions (SNN : Spike Neural Networks, en anglais) sont un raffinement des Réseaux de Neurones Artificiels où l'échange entre neurones repose sur l'intégration des impulsions et la redescende de l'activation à l'instar des neurones naturels.

⁵ Le Edge Computing est une forme d'architecture informatique faisant office d'alternative au Cloud Computing. Plutôt que de transférer les données générées par des appareils connectés IoT vers le Cloud ou un Data Center, il s'agit de traiter les données en périphérie du réseau directement où elles sont générées.

⁶ Il s'agit d'une architecture radicalement différente de celles des processeurs conventionnels. Cette approche consiste à dupliquer le fonctionnement du cerveau, en intégrant la mémoire directement aux unités de calcul et en faisant communiquer de nombreux cœurs entre eux d'une façon similaire à celle des synapses.

Bernard Claverie (IMS, ENSC), quant à lui, ne pense pas qu'on puisse reproduire l'intelligence humaine en augmentant les puissances de calcul de nos ordinateurs. Il croit en revanche à l'accroissement des possibilités d'interactions homme-machine, qu'elles soient substitutives (la machine ou le robot travaille à la place de l'homme : voiture autonome), collaboratives (la machine fournit des éléments susceptibles d'accroître les capacités d'action ou de décision : assistants personnels), ou hybrides (la machine et l'homme travaillent de concert : compagnon embarqué).

3.2 IA en tant qu'outil de recherche

Le développement des techniques IA et des algorithmes associés impacte dorénavant l'ensemble de l'activité humaine, que ce soit pour des aspects techniques, économiques ou sociétaux. De la même façon que le monde des entreprises, le monde de la recherche est concerné par la disponibilité d'outils pouvant être utilisés pour l'activité productive ou les processus internes.

Concernant les entités relevant de l'INSIS, les entités de recherche faisant apparaître l'IA en tant qu'outils pour les sciences de l'ingénieur et les systèmes s'élèvent à 67 sur les 87 ayant répondu à l'enquête (dont 30 entités qui abordent aussi l'IA en tant qu'objet de recherche, voir Figure 1).

Rappels sur les techniques d'IA

L'historique du développement de l'Intelligence Artificielle amène à différencier deux approches : l'une symbolique (cognitivism) à partir des années 60 et l'autre neuronale (connexionnisme) à partir des années 80. Dans la première on retrouve les graphes, les systèmes experts, la logique formelle, tandis que dans la seconde, on trouve les réseaux de neurones et le Machine Learning. Plus précisément, l'IA est un ensemble de méthodes algorithmiques, qui peuvent être regroupées en différentes branches techniques (cf. présentation de Mathias Quoy) :

- L'exploration de graphes (IA classique),
- L'optimisation,
- La théorie de la décision,
- L'apprentissage automatique ou « Machine Learning » (rupture actuelle, data-science).

Traitement et analyse de données massives

La réalisation de campagnes d'essais utilisant de nombreux capteurs, la mise en œuvre de simulateurs, ou la collecte d'information sur internet, génèrent un accroissement exponentiel du volume des données. L'utilisation de nouveaux algorithmes, couplée à la disponibilité de moyens de calcul et de stockage de données toujours croissants, permet le traitement de données massives, d'où la notion de « big data » souvent associée à l'IA. Il est notamment possible de réaliser une classification des données et d'identifier les combinaisons de paramètres qui produisent les effets les plus significatifs dans l'espace des solutions. Alors qu'auparavant un opérateur humain devait définir ces classes, les algorithmes d'IA peuvent les déterminer eux-mêmes. Parmi les 45 entités qui ont développé leurs enjeux scientifiques dans l'enquête (voir paragraphe suivant), plus de la moitié déclare utiliser l'IA par des méthodes de traitement de données (16/45), pour du traitement de signal (6/45), grâce à de l'apprentissage (7/45).

Elaboration de modèles prédictifs

En l'absence de modèle physique ou de modèle numérique, l'IA peut suggérer un modèle simplifié (non physique) et servir à identifier (découvrir) ses paramètres multidimensionnels significatifs (vecteurs propres) à partir d'un ensemble de données observées. Dans ce cas, tous les paramètres multidimensionnels identifiés par l'IA n'ont pas nécessairement un sens physique.

Optimisation

Les techniques d'IA peuvent être utilisées pour optimiser la conception d'un système ou pour améliorer l'efficacité d'un processus. Par exemple, en génie des procédés, ces approches peuvent servir à définir où placer les sondes, ou quels sont les observables qui requièrent le plus d'attention.

Elles peuvent également être employées pour optimiser le fonctionnement des systèmes interconnectés et ajuster ainsi les flux, comme dans le cas des réseaux électriques intelligents ou "Smart Grids", qui, à partir des informations collectées sur l'état du réseau, contribuent à gérer l'équilibre entre énergie produite et consommée.

Parmi les 45 entités ayant présenté leurs enjeux scientifiques, 12 laboratoires ont insisté sur l'utilisation de l'IA pour modéliser ou optimiser les systèmes étudiés (voir paragraphe ci-dessous).

Robotique

A l'instar de l'industrie, la robotique est de plus en plus utilisée au sein des laboratoires. L'intégration d'algorithmes d'IA dans les robots peuvent les rendre plus performants, au bénéfice des activités de recherche.

3.3 Quels sont les enjeux scientifiques associés ?

L'intelligence artificielle désigne moins un champ de recherches avec des enjeux scientifiques spécifiques bien définis qu'un programme, fondé autour d'objectifs ambitieux :

- Comprendre comment fonctionne la cognition humaine et la reproduire
- Créer des processus cognitifs comparables à ceux de l'être humain.

Le champ est donc naturellement extrêmement vaste, tant en ce qui concerne les procédures techniques utilisées que les disciplines convoquées : mathématiques, informatiques, sciences cognitives ... Certaines aptitudes particulières de l'IA lui permettent de se substituer à la cognition humaine, de collaborer avec l'humain ou même de fusionner avec l'humain.

Les enjeux scientifiques soulevés par les laboratoires de l'INSIS s'appuient sur ces aptitudes particulières et les appliquent à leurs champs disciplinaires. Ainsi on peut relever l'usage de l'IA pour faire :

- Du traitement de données
- Du traitement de signal
- De l'apprentissage au sens du "Machine Learning"
- De l'optimisation des systèmes complexes

Certains domaines s'intéressent particulièrement à l'IA :

- Matériaux
- Sport et santé
- Architecture des circuits dédiés aux calculs pour le développement technologique des puces et du hardware.

On retrouve certains des enjeux mis en évidence dans le cadre de la mission MiCaDo "Mission Calcul-Données" interne au CNRS et pilotée par Denis Veynante de l'INSIS, comme les bases de données, les traitements et/ou analyses de données, les traitements et/ou analyses statistiques, les traitements et/ou valorisations de données d'observation, l'acquisition de données et/ou de signal et l'architecture et infrastructure pour le calcul haute performance.

A partir des réponses à la partie ouverte du questionnaire sur les enjeux scientifiques (45 responsables d'unités y ont développé les techniques utilisées de l'IA appliquées à leurs champs disciplinaires), nous avons pu faire émerger 5 grandes catégories d'entités de recherche qui s'emparent des enjeux scientifiques évoqués précédemment de manières différentes :

(1) Les entités qui s'intéressent au développement d'architectures dédiées à l'IA (4/45) font remonter des mots-clés du type :

« Architectures neuromorphiques et IA bio-inspirée ».

« Développement d'architectures (dispositifs électroniques et optiques) pour réseaux de neurones ».

(2) Les laboratoires qui s'intéressent aux données liées à la santé ont majoritairement une approche de « Machine Learning » (7/45). Quelques exemples de mots-clés :

« Un des axes majeurs de mon laboratoire est l'imagerie des populations, qui vise à faire émerger de nouveaux biomarqueurs et une nouvelle stratification des pathologies cérébrales. A ce titre, nous pratiquons massivement le Machine Learning supervisé et non supervisé (deux chaires IA) ».

« Inclusion de modèles biomécaniques dans la chaîne d'apprentissage - question de comment intégrer les notions de "perception" ».

(3) Les entités de recherche qui font du traitement de signal (6/45) décrivent des enjeux tels que :

« IA appliquée au traitement du signal acoustique et au traitement d'image ».

« Détection de dysfonctionnement, analyse de défaillance (centrale solaire PV) - Analyse d'image à l'échelle du territoire urbain (identification de toitures équipées en composants solaires) ».

(4) Les laboratoires qui travaillent sur la modélisation ou l'optimisation des systèmes complexes (12/45).

« Essentiellement utilisée dans des algorithmes d'optimisation ou d'identification de paramètres optimaux ou conditions optimales ».

« Les aspects liés à l'IA concernent le pilotage, l'observation (reconstruction d'information), le diagnostic et la modélisation comportementale de systèmes complexes ».

(5) Enfin le dernier groupe rassemble beaucoup d'entités (16/45), car ces derniers n'ont pas de particularité bien marquée si ce n'est qu'elles font globalement du traitement de données.

« Enrichissement par les données, prise en compte de la physique pour contraindre et corriger le traitement des données ».

« Analyse des données pour les détecteurs d'ondes gravitationnelles ».

« Un groupe de travail regarde comment traiter la masse de données considérables issues de nos systèmes de mesures ».

« L'usage de l'IA dans le domaine de la santé, tenant compte des problématiques liées aux données patients »

3.4 Risques et points de vigilance

IA : Perte de compétences de la « physique » en se contentant du traitement des données

Certains promoteurs de l'IA estiment qu'un traitement massif de données permet des prédictions/prévisions plus fiables que le raisonnement humain. Cela sous-entend que la compréhension des mécanismes physiques/chimiques/biologiques pourrait ne plus être la base pour appréhender les phénomènes en vue de les exploiter, ou pour les maîtriser en vue de nouveaux développements technologiques.

Ce niveau de confiance dans l'IA semble déraisonnable en sciences de l'ingénieur. Un risque de perte de contrôle face au fonctionnement d'une « boîte noire », aussi efficace soit-elle, n'est en effet pas à négliger, si l'on souhaite prédire et/ou commander de manière fiable un système. Il apparaît donc nécessaire de confronter les résultats de l'IA aux modèles de compréhension classiques. Cette approche hybride peut alors permettre une synergie entre les deux approches, conduisant à des « smart data » plus intelligibles que les « big data » : on peut alors parler de systèmes experts ou de « Physically Informed AI » (F. Chinesta).

IA et développement durable

Avec l'essor de l'IA, les questions de la consommation énergétique, de la dissémination des moyens et de la gestion des déchets « hardware » doivent être posées. Il s'agit d'un des gros enjeux/limites lors du déploiement de l'IA à l'heure actuelle. Sur les 9 laboratoires qui s'intéressent au développement durable, 5 ont aussi déclaré travailler sur la consommation énergétique des systèmes en vue de sa réduction (cf partie 3.1).

Selon Alain Cappy, la consommation énergétique des composants et les limites de leur intégration constituent une barrière pour la mise en œuvre et le développement de l'Intelligence Artificielle telle qu'elle est envisagée par le paradigme dominant actuellement. Des voies de développement peuvent être proposées, relevant en partie du champ de l'INSIS : électronique basse consommation et fonctionnement par impulsions (plutôt que par état logique continu), parallélisme accru et fonctionnement en colonnes (structure de réseaux neuronaux plus proches de celle du cerveau), traitement analogique des poids logiques plutôt que calcul numérique.

Faut-il pousser vers le développement d'algorithmes moins gourmands ? Un sujet important pourrait être de travailler sur le développement de nouvelles architectures de neurones. M. Cappy milite pour le développement de « hardware » neuro-inspiré (processeur « neuromorphique »). A ce prix, un ordinateur intelligent pourrait être bien plus compact, rapide et puissant qu'un cerveau humain. Coté « hardware », l'impact environnemental est aussi important. De nombreux composants dans les systèmes électroniques ne sont pas recyclables, et leur cycle de vie se raccourcit. Les recherches sur de nouveaux matériaux paraissent donc ici essentielles.

De façon plus générale, il est attendu que de nouvelles approches/technologies permettent de réduire cet impact environnemental. Il faut cependant être conscient, comme le rappelle David Bol, que tout incrément technologique en termes d'efficacité est « compensé » par une augmentation des usages. On pourrait alors mettre en avant le critère de « sobriété » plutôt que d'« efficacité » avant le déploiement de toute nouvelle solution.

Ethique

Dans le champ de l'éthique revient souvent la notion de l'« IA de confiance ». L'IA est présentée parfois comme une aide pour limiter le doute des opérateurs humains. Et pourtant le développement technologique de l'IA et sa mise en œuvre dans des applications de la vie quotidienne sont en avance sur la compréhension de son fonctionnement. En particulier, les mécanismes d'analyse et d'interprétation de l'IA ne sont pas toujours intelligibles : ils ne reposent pas sur des critères rationnels clairement identifiés. Au cours de son intervention Mathias Quoy (ETIS, CYU) précise que certains apprentissages sont de mauvaise qualité (les événements rares sont mal codés dans le réseau de neurones par manque d'expérience). Il arrive que l'apprentissage soit non reproductible dans ces conditions. Il en résulte une incertitude sur la fiabilité des traitements. Cela pose des questions relatives à la sûreté des outils exploitant l'IA notamment dans l'aide à la décision (synthèse et tri des données), l'assistance en médecine, pour les usages militaires, ou encore lorsque des robots contrôlés par IA fonctionnent en interaction avec les humains.

Des questions déontologiques apparaissent aussi : Que penser d'une situation où un humain ignore qu'il interagit virtuellement avec une machine « intelligente » ? Un jugement humain peut-il être mis en balance avec une IA ? Que se passe-t-il en cas d'accident provoqué par une machine, ou lorsqu'une machine privilégie des conditions pour que se produise un accident lorsque plusieurs choix étaient possibles ? Le développement de l'IA dans les outils du quotidien pose ainsi la question de la délégation de responsabilité de l'utilisateur qui reste impliqué dans les prises de décision.

Il semble donc primordial d'une part d'assurer la robustesse du process (sûreté/sécurité de fonctionnement), et d'autre part de mettre en place les moyens d'expliquer les choix proposés par l'IA. On parle donc plutôt de co-décision dans le cadre de ces interactions humain-IA. A noter que les critères de fiabilité et d'explicabilité devront être pris en compte pour les étapes de certification.

Citons J-M Tran, Naval Group : « Se pose la question de la responsabilité vis-à-vis du risque, de l'éthique de l'IA. Par exemple exclure la mise en œuvre d'arme létale par un système complètement autonome. D'autre part, dans les systèmes supervisés, il faut donner la possibilité à un opérateur de reprendre la main ». On peut donc se poser la question de la place de l'INSIS, en lien avec l'INSHS en particulier, dans la réalisation d'un guide de bonnes pratiques pour le développement de la recherche en IA, voire dans l'élaboration de nouvelles normes.

4. Recommandations

4.1 Interdisciplinarité en IA, une nécessité !

Plusieurs communautés scientifiques se sont positionnées sur l'IA : les mathématiciens (théorie des graphes), les informaticiens, les électroniciens, les roboticiens ... Les chercheurs de l'INSIS sont trop souvent perçus dans ces communautés comme demandeurs de prestations de service, alors qu'il est évident que de nombreux sujets nécessitent des approches communes. Plusieurs suggestions pour mener ces projets pluridisciplinaires :

- Il serait intéressant d'identifier des verrous en IA sur des problématiques INSIS, pour développer le dialogue et motiver la collaboration avec cet institut. Par exemple, l'intégration de modèles physiques dans les algorithmes IA (méthodes « faiblement supervisées ») nécessite la compréhension « physique » de ces modèles, que pourraient apporter les chercheurs de l'INSIS.
- Des travaux communs entre chercheurs de l'INSIS et de l'INEE pourraient valoriser l'exploitation de l'IA dans des problématiques relatives au développement durable de la ville ; par exemple : éclairage public et gestion de l'énergie, circulation routière et véhicules autonomes, transports partagés, collectifs et publics, chauffage urbain, collecte et tri des déchets ... Il est possible d'envisager des recherches communes relatives à l'impact environnemental de l'IA (circulation optimale des données, réduction de la consommation énergétique, ...) et/ou à la façon dont elle pourrait accompagner au quotidien les agents économiques vers une réduction de la consommation des matières premières ou afin d'augmenter la durée de vie des consommables.
- Sur les questions éthiques et juridiques, les ingénieurs, les spécialistes du droit et les psychologues sont désarmés s'ils restent isolés. Nous préconisons de développer des interactions spécifiques entre chercheurs de l'INSIS et de l'INSHS. A titre d'exemple, les systèmes autonomes et les dispositifs d'aide à la décision, soulèvent des questions relatives à l'échange d'information entre ces systèmes et les humains, à la responsabilité des parties prenantes, à l'émergence de nouveaux types d'interactions psychologiques, à la liberté de l'utilisateur face à un système réputé « expert », ou plus généralement à la responsabilité sociétale.
La collaboration avec les sciences cognitives pourrait aussi mener au déploiement d'approches biomimétiques plus pertinentes.
- L'interdisciplinarité doit aussi être encouragée au sein de l'INSIS même, par exemple si on pense au parallèle entre d'une part les processeurs neuromorphiques recommandés par Alain Cappy pour rendre la partie hardware de l'IA plus biomimétique (et donc plus efficace), et d'autre part l'approche hybride de Francisco Chinesta mettant en synergie IA et modèles de compréhension classiques.

Se pose donc la question de comment mener ces recherches aux interfaces. Nous évoquons trois pistes ci-dessous, dont l'une est déjà mise en place par le CNRS, à savoir la création de la CID Big Data/IA.

4.2 Mots Clés et recommandations CID

Sur la sollicitation du CS du CNRS pour donner un avis sur la création de CID potentielles, des propositions de mots clés ont été remontées par le CSI INSIS pour l'élaboration de la CID « Big Data/IA ». Nous demandions alors de bien définir les objets d'étude concernés par l'INSIS : Matériaux, Ondes, Systèmes (y compris vivants) et Procédés. Le texte remonté est repris tel quel ci-dessous.

L'explosion des moyens actuels de caractérisation des objets d'études, tant du point de vue de la résolution spatiale que de la résolution temporelle, amène les chercheurs à devoir gérer et analyser de vastes flux de données, que ce soit pour des objets statiques, dynamiques, ou en déformation, et à toutes les échelles.

L'apport des outils de l'intelligence artificielle au traitement des données, y compris les traitements concernant de gros volumes de données, peut certainement ouvrir à de nouvelles approches méthodologiques, capables de répondre aux interrogations des chercheurs de l'INSIS.

Quelques mots clés sont proposés pour donner un cadre à ces approches interdisciplinaires :

- Conception et optimisation des objets, basées sur de vastes flux de données (y compris incomplètes)
- Capteurs « intelligents »
- Pertinence des données et des paramètres issus des analyses
- Composants, circuits et systèmes matériels neuro-inspirés à faible consommation
- Ethique, confiance, responsabilité, sécurité, fiabilité des nouvelles technologies

4.3 La question des ressources humaines

Malgré les difficultés de la mise en place de solides collaborations de recherche évoquées ci-dessus, les laboratoires de l'INSIS n'hésitent pas à faire appel à des collègues d'autres laboratoires de leur site ou identifiés par des réseaux thématiques.

En parallèle, le développement de l'IA à l'INSIS s'est déjà traduit par le recrutement de spécialistes dans les laboratoires. D'après l'enquête, 28 laboratoires ont procédé récemment à de tels recrutements, à différents niveaux (Figure 2).

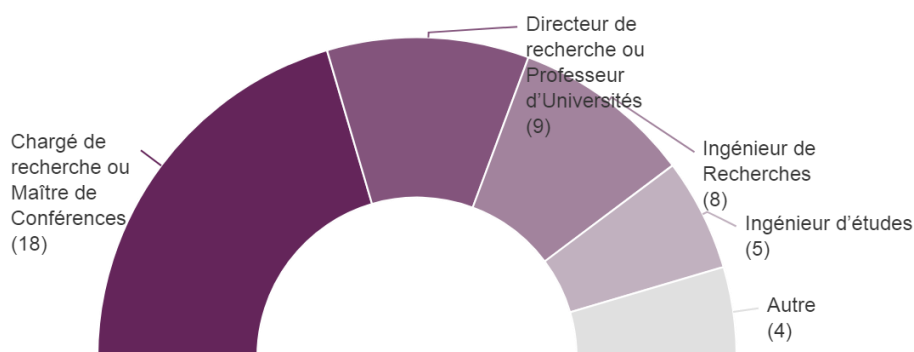


Figure 2 : Niveau auquel les recrutements ont été faits récemment dans les entités de recherche.

Les analyses croisées montrent que ces recrutements sont majoritairement effectués dans les laboratoires dans lesquels l'IA est objet de recherche. Cependant, cette donnée est à moduler car ceux où l'IA est plus un outil l'ont intégrée assez récemment, en général. L'orientation des recrutements est peut-être décalée dans le temps.

Une majorité des laboratoires souligne d'ailleurs la difficulté à recruter en IA, quand il ne s'agit pas de leur discipline principale, et surtout de trouver des profils bi-disciplinaires (IA et une des sciences de l'ingénieur). On ne peut pas s'improviser spécialiste en mécanique par exemple quand on a un profil IA, et vice-versa.

4.4 Besoins d'animation et de formation

Cet item découle naturellement des points 4.1 et 4.3.

Les collaborations en externe nécessitent l'animation de réseaux ad hoc. On note que certains GDR co-labellisés par l'INSIS ont déjà des axes thématiques incluant l'IA : GdR SOC2 <https://www.gdr-soc.cnrs.fr/> « axe thématique qui porte sur l'IA et le calcul embarqué où les préoccupations énergétiques sont très importantes » ; un groupe de travail sur IA en informatique et la consommation énergétique dans le GDR Robotique (INSII). Cependant, cela ne semble pas suffisant au vu des besoins et intérêts des laboratoires. De plus, la difficulté est de croiser les différentes disciplines concernées qui peuvent se retrouver au sein de GDRs différents.

Par ailleurs, on note des besoins de formation à différents niveaux. Il peut s'agir de formations continues, pour les personnels déjà en place. Certaines sociétés savantes, comme la SFGP, ont démarré des actions de formation dans ce sens, pour leurs communautés. Les collègues insistent également sur la formation initiale, dans laquelle des parcours mixtes pourraient être offerts, afin de former les chercheurs bi/pluri-disciplinaires de demain. Le secteur industriel met aussi en avant le besoin de formation de ses agents, pour répondre à l'adaptation de l'outil de production, et aux enjeux d'explicabilité évoqués précédemment. Certains de ces aspects sont déjà traités dans les cursus des écoles d'ingénieur, l'enjeu serait donc plutôt ici de les implémenter dans les formations orientées recherche, en M2 ou pendant le doctorat.

5. Annexes

Annexe 1 : Ressources

Annexe 2 : Résumés des auditions

Annexe 3 : Analyse du Questionnaire

Annexe 4 : Relevé de notes de l'atelier IA à la journée 2021 des Directeurs d'Unités INSIS



Annexe 1 : Ressources

Histoire des études sur l'Intelligence Humaine

- 1805 L'intelligence est dans le cerveau
- 1885 L'intelligence est héréditaire
- Début 1900 Deux hypothèses : L'intelligence est une aptitude générale (Charles Spearman) ou au contraire une somme d'aptitudes plurielles (Alfred Binet)
- 1935 L'intelligence est définitivement plurielle et s'enrichit du milieu
- 1983 L'intelligence est multiple ... à chacun son intelligence. L'intelligence s'acquiert par confrontation à l'expérience.

L'intelligence humaine est donc multiple et l'intelligence artificielle ne s'intéresse qu'à une faible partie de cette intelligence humaine. Pourrait-on mieux définir cette nouvelle branche des sciences ?

Historique en parallèle de l'Intelligence Artificielle qui amène à la différencier en deux approches : l'une symbolique (cognitivisme) à partir des années 60 et l'autre neuronale (connexionnisme) à partir des années 80. Dans la première on retrouve les graphes, les systèmes experts, la logique formelle, tandis que dans la seconde, on trouve les réseaux de neurones et le Machine Learning qui sont en général non biologiquement plausibles. Certains réseaux de neurones sont aujourd'hui bio inspirés (e.g. vers le neuromorphique) et consomment beaucoup moins d'énergie que les réseaux classiques, essayant ainsi de mieux correspondre à l'étonnante efficacité de l'intelligence humaine.
http://www.constructif.fr/bibliotheque/2019-10/intelligence-artificielle-de-quoi-parle-t-on.html?item_id=5704

Mission Villani :

Ce rapport, assez complet, fait un focus plutôt sur les données (plutôt big data que IA) :
« Donner un sens à l'intelligence artificielle »
https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf
(36 pages)
https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf
(242 pages)

CNRS : Dossier thématique produit par l'INS2I : L'intelligence artificielle au CNRS :
https://ins2i.cnrs.fr/sites/institut_ins2i/files/download-file/livret_ia_janv2021_mail_0.pdf

Rapport du COCIN (Comité d'Orientation pour le Calcul Intensif) – 2018

Livre Blanc sur les Données au CNRS : État des Lieux et Pratiques.
<http://www.cocin.cnrs.fr/spip.php?article8>

INRIA :

<http://www.inria.fr/fr/intelligence-artificielle>

Commission Européenne :

La Commission Européenne a engagé une réflexion et facilité la constitution d'un groupe d'experts pour étudier les questions relatives à l'intelligence artificielle en interaction avec l'humain.
<https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation>

Un « livre blanc » sur le sujet détaille les préconisations stratégiques de la Commission Européenne dans ce domaine : Livre blanc sur l'intelligence artificielle - Une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance
https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_fr.pdf

Réflexion d'un groupe de juristes

Un groupe de juristes a élargi la discussion à la société civile dans le cadre d'un sondage sur internet. Les conclusions / recommandations sur le plan de l'éthique et des critères de fiabilité ne sont pas très différentes de celles du groupe d'experts de la Commission Européenne.

<https://www.itechlaw.org/ResponsibleAI>

Des comités spécifiques s'intéressent à la résolution des conflits relatifs à l'usage de l'IA (notamment en e-commerce et sur les questions de propriété intellectuelle) et à l'usage de l'IA pour combattre la cybercriminalité, ainsi que dans les jeux électroniques et les médias.

Agence Innovation Défense :

« l'IA est un ensemble de méthodes algorithmiques, regroupées en 4 branches techniques :

- L'apprentissage automatique (rupture actuelle, data-science)
- La gestion des connaissances et le raisonnement
- La recherche opérationnelle
- Les systèmes multi-agents »

European Defence Association :

"AI is the capability provided by algorithms of selecting, optimal or sub-optimal choices from a wide possibility space, in order to achieve goals by applying different strategies including adaptivity to the surrounding dynamical conditions and learning from own experience, externally supplied or self-generated data."

Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations :

L'intelligence artificielle consiste à reproduire ou créer des fonctions cognitives, à pallier les limites des fonctions cognitives humaines et à trouver des solutions à des problèmes n'ayant pas de solution analytique ou difficilement modélisables.

Rapport de l'UNESCO sur l'IA – novembre 2021

Recommandation sur l'éthique de l'intelligence artificielle <https://fr.unesco.org/artificial-intelligence/ethics>

Définitions de la langue française et vocabulaire informatique :

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000844442>

Intelligence artificielle, n.f.

Domaine : Informatique-Intelligence artificielle.

Définition : Discipline relative au traitement par l'informatique des connaissances et du raisonnement.

Anglais : artificial intelligence.

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037783813>

Intelligence artificielle – Abréviation : IA.

Domaine : INFORMATIQUE.

Définition : Champ interdisciplinaire théorique et pratique qui a pour objet la compréhension de mécanismes de la cognition et de la réflexion, et leur imitation par un dispositif matériel et logiciel, à des fins d'assistance ou de substitution à des activités humaines.

Voir aussi : apprentissage automatique, apprentissage non supervisé, apprentissage par renforcement, apprentissage profond, apprentissage supervisé, dialogueur, réseau de neurones artificiels.

Équivalent étranger : artificial intelligence (AI).



Annexe 2 : Exposés des invités du CSI de l'INSIS (extraits des CR des CS INSIS – Rédacteur Etienne Petit)

Denis VEYNANTE (9 septembre 2019)

La mission MiCaDo « Mission Calcul-Données » est propre au CNRS. Elle est rattachée à l'INSIS. Le COCIN (Comité d'Orientation pour le Calcul Intensif) pilote les actions de la mission.

Contexte : Les besoins en calcul et simulation vont croissant. Le besoin est pluridisciplinaire, mais l'usage de l'outil numérique n'a pas atteint le même niveau de maturation dans toutes les disciplines. Il existe un foisonnement de développements des outils et des infrastructures. Les acteurs et financeurs se multiplient en région (Orsay, Toulouse, Grenoble, Lyon ...) et à l'échelle nationale (centre de calcul de l'IN₂P₃ – IDRIS – à Orsay – machine du centre de calcul Jean Zay). Des demandes de financement affluent au CNRS et en Région.

Constat : Il existerait un besoin de rationalisation / mutualisation (élagage) / organisation (distribuer le temps de calcul, positionnement).

Enjeux :

- Disposer d'outils performants de calcul intensif pour les traitements de données et les simulations
- Développer l'expertise et les savoir-faire dans ces domaines (fouille, gestion et exploitation des gros volumes de données, maîtrise de l'intelligence artificielle)
- Mettre en place les moyens pour le stockage (Big data)
- Mettre à disposition et valoriser les données de la recherche (Open Science)
- Exercer une influence, en relation avec la politique de site du CNRS.

Remarque : Il s'agirait d'éviter un éparpillement des moyens sur tous les centres existants actuellement. Les lieux des principaux moyens de stockage des données (IN₂P₃), et des moyens de calculs, commencent à se préciser. Le choix final des sites pourrait être déterminé de façon à assurer une cohérence avec leur activité scientifique principale (Ex : le traitement des données du synchrotron par l'IN₂P₃ à Lyon justifie que ce centre soit pourvu en moyens de stockage).

Choix de MiCaDo :

- Soutenir le développement du centre IDRIS du CNRS
- Notamment, en participant aux projets GENCI (CEA, INRIA) et PRACE (projet européen, machine EuroHPC) (investissement et fonctionnement financés au titre des Infrastructures de Recherche)
- Soutenir le développement de la plateforme de calcul de Toulouse (affectation de personnel)
- En réflexion : participer à « European Open Science Cloud ».

État d'avancement :

- La machine de l'IDRIS est en phase de test (portage des codes en cours et première mise en œuvre d'ici la fin du mois d'octobre) ;
- Inauguration fin octobre.
- Développement des procédures d'accès et de fonctionnement en cours.
- Le groupe GENCI doit « articuler » l'usage des moyens nationaux.

Questions :

- Comment élargir les sources de financement (mécénat, fondation, industrie ...) ?
- Facebook financerait GENCI à hauteur de plusieurs centaines de k€ (de façon désintéressée et sans contrepartie, sinon un assouplissement de la position de la France sur la question

de la taxation des GAFA ...) pour favoriser le développement des compétences (formation du personnel) et des connaissances dans le domaine de l'intelligence artificielle.

- Intérêt, utilité, pérennité, éthique de la gestion des données ?

Matthias QUOY (25 novembre 2019)

Intervention de M. Mathias QUOY, directeur du laboratoire ETIS, Université de Cergy-Pontoise

M. QUOY présente un exposé technique sur l'Intelligence Artificielle et les méthodes d'apprentissage automatique. Il explique sa vision des opportunités et des limitations de la technologie.

Les processus d'**intelligence artificielle** recouvrent actuellement :

- l'apprentissage automatique à partir de données (reconnaissance d'images et de comportements, perception et identification de sons, classement et comptage, identification de structures et de corrélations, prédiction) ;
- l'exploration de graphes (examens d'un ensemble de possibilités en utilisant des règles logiques figées – systèmes experts) ;
- l'optimisation ;
- l'aide à la décision.

Ces algorithmes peuvent se combiner et s'enchaîner pour fournir à un robot une certaine forme d'**autonomie**.

L'apprentissage suppose de définir des descripteurs de l'objet à analyser (par exemple des pixels, des couleurs, etc.). Ce sont les données d'entrée. Dans le cas d'un apprentissage supervisé, l'apprentissage peut reposer sur l'application de critères fournis (par exemple, un seuil entre la couleur rouge et orange, un critère de contraste, etc). L'application des filtres réglés en fonction des critères fournissent des résultats (par exemple, des contours). L'usage de la machine permet l'automatisation du traitement d'un grand nombre de données (par exemple, le traitement d'images satellite).

Les réseaux neuronaux permettent un apprentissage automatique. Il existe plusieurs types de réseaux neuronaux, dont des réseaux de neurones convolutifs (synthèse) et récurrents (à boucles, capables de contre-réactions). Le « deep learning » suppose des réseaux à plusieurs couches et un apprentissage non supervisé. La machine est capable de définir elle-même les seuils permettant de discriminer les classes (définition des vecteurs propres dans l'espace des descripteurs). Une force de l'IA est de permettre l'augmentation de la dimension (augmentation du nombre de classes – augmentation de la base des vecteurs propres), utile par exemple pour résoudre le paradoxe de Simpson.

L'IA fonctionne (exemples : reconnaissance de plats à partir de recettes, identification d'ingrédients sur les images, identification d'une recette à partir de l'image d'un plat.
<https://arxiv.org/pdf/1805.00900.pdf>, retranscription d'un discours et synthèse vocale d'un texte).

Cependant,

- le développement technologique est en avance sur la compréhension du fonctionnement de l'IA.
- Certains apprentissages sont de mauvaise qualité (les événements rares sont mal codés dans le réseau de neurones par manque d'expérience).
- L'apprentissage n'est pas toujours reproductible et il n'est pas figé.

- Il n'est pas compris (manque de transparence : pas de lisibilité ni d'interprétation de l'apprentissage).

Il résulte de tout cela une incertitude sur la fiabilité de la technologie (notamment pour les usages en médecine, les usages militaires ou pour le fonctionnement des robots en interaction avec les humains), et sur la déontologie (si un humain ne peut pas détecter qu'il interagit (virtuellement) avec une machine intelligente). Le développement de l'IA dans les outils du quotidien pose aussi la question de la délégation de la responsabilité par l'utilisateur (p. ex. : aide à la conduite d'un véhicule).

L'orateur et les membres du CSI discutent des outils et technologies qui pourraient être développées sur ce thème à l'INSIS.

- Faut-il pousser à plus d'interdisciplinarité ? Plusieurs communautés scientifiques se sont positionnées sur l'IA : les mathématiciens (théorie des graphes), les informaticiens, les électroniciens, robotique et systèmes. Les SHS sont encore peu présentes sur les questions écologiques (durabilité), éthiques (échanges d'informations entre systèmes intelligents – ex : interactions entre véhicules autonomes) et légales (responsabilité), les apports du biomimétisme (psychologie).
- La question de la consommation énergétique et de la dissémination des moyens est posée. Faut-il pousser vers le développement d'algorithmes moins gourmands ? Un sujet important pourrait être de travailler sur le développement de nouvelles architectures de neurones.
- L'INSIS est absent du GDR sur l'IA.

Bernard Claverie (25 novembre 2019)

Intervention de M. Bernard CLAVERIE, Ecole Nationale Supérieure de Cognitique – Institut Polytechnique de Bordeaux.

M. CLAVERIE présente le point de vue du psychologue sur l'intelligence artificielle.

Le rapport de la mission Villani (2018) visait à produire un programme de recherche en IA pour la France et l'Europe, avec comme objectif affiché : d'une part de comprendre et reproduire artificiellement le fonctionnement de la cognition humaine; et d'autre part, de créer des processus cognitifs comparables et éventuellement plus performants pour porter assistance aux utilisateurs ou élargir leurs capacités (transhumanisme). Selon M. Claverie, ce rapport souligne la diversité des méthodologies et outils de l'AI, et leur ancienneté.

IA et intelligence humaine

M. CLAVERIE explique que la création de l'ENSC a été motivée d'une part par la volonté de mieux comprendre le fonctionnement de l'intelligence humaine par une modélisation technologique. Il apparaît que le fait que l'intelligence artificielle semble reproduire des comportements ou des interprétations proches de celles de l'intelligence humaine, n'implique pas que les mécanismes de fonctionnement soient similaires. Les réseaux de neurones ne sont probablement pas un « bon » modèle du fonctionnement du cerveau.

La psychologie révèle que le fait qu'une machine soit capable de reproduire certaines aptitudes humaines, ne signifie pas qu'elle soit « intelligente » au sens de l'intelligence humaine. L'intelligence humaine recouvre une réalité complexe (mécanismes logiques variés ; capacité d'analogie,

d'induction et d'abduction ; perception de nuances (humour) et compréhension symbolique ; conscience et interprétation du monde ; émotions). L'augmentation des puissances de calcul ne suffiront pas pour reproduire ces mécanismes d'intelligence. La combinaison de ces mécanismes est par exemple à l'origine de manifestations de créativité propres à l'intelligence humaine : gratuité et élan artistique, détournement d'usage, catachrèse, transposition et sérendipité, innovation ... Elle permet notamment de faire émerger différents types de représentations (formelle, géométrique, temporelle, topologique), de faire apparaître les relations de causalité, d'analyser une situation ou un fonctionnement par différents points de vue (analytique, syncrétique, intuitif, conceptualisation, intelligence collective).

La neuro-psychologie s'appuie sur l'idée que l'intelligence est liée à des facteurs physiologiques (le cerveau est un organe biologique, produit d'une évolution, d'un patrimoine génétique et d'une histoire - formation), et à des facteurs psychologiques (il existe différentes formes d'intelligences). De nombreuses grilles d'analyse (modèles) ont été proposé(e)s pour analyser et mesurer l'intelligence des individus sur la base d'aptitudes spécifiques (Charles Spearman, Alfred Binet et Théodore Simon, Louis Léon Thurstone, Howard Gardner). Au-delà de l'organe biologique et des aptitudes (innées et acquises), l'intelligence de chacun se forge et se développe par la rencontre et la confrontation des aptitudes avec les expériences vécues. Les émotions (plaisir –dopamine- et bonheur –sérotonine-) jouent un rôle important dans le processus d'apprentissage.

Parenthèse : On pourrait s'interroger quant à savoir si certaines interactions homme-machine (réalité augmentée, réalité virtuelle, apprentissage assisté par ordinateur, jeux vidéos) ne pourraient pas contribuer à révéler ou à faire évoluer de nouvelles formes d'intelligences (ou des conditionnements) en proposant des « expériences » inédites.

L'analyse des aptitudes de l'IA permet de construire une grille incluant :

- l'apprentissage dans des opérations de classement et d'identification,
- les performances en analyse d'images,
- les capacités linguistiques (synthèse vocale, analyse verbale, transcription vocale, traduction),
- la capacité d'analyse, d'organisation et d'optimisation des systèmes expert.

Ces aptitudes permettent de produire une interaction de l'IA avec le monde qui ressemble à celle des hommes en termes de perception, d'analyse et d'action, dans la mesure où l'IA est capable, comme les hommes, d'observer, d'identifier et d'organiser une information perçue ; d'associer des informations pour déduire ou prédire des comportements, et d'agir en conséquence.

L'IA est-elle pour autant capable de penser ?

La notion de pensée se distingue de celle d'intelligence. Les psychologues différencient :

- la pensée objective reposant sur une compréhension et une connaissance structurée des faits, une loi de comportement (cognitivisme),
- la pensée adaptative résultant d'un apprentissage, d'une expérience, sans qu'il soit nécessaire de comprendre (connexionnisme),
- la pensée subjective, fruit d'une interprétation ou d'une conceptualisation.

Ces modes de pensée déterminent chacune une vision / perception du monde (la connaissance objective et comprise par une approche analytique, une connaissance empirique et pragmatique, une interprétation conceptuelle ou symbolique des faits). Ces perceptions déterminent

potentiellement les comportements. Différents modèles psychologiques de fonctionnement de l'intelligence humaine résultent d'un agencement et d'une pondération de ces modes de pensée.

Les systèmes experts sont capables de produire dans une certaine mesure une réponse équivalente à la pensée objective et à la pensée subjective. Les réseaux de neurone sont capables de produire une réponse équivalente à la pensée adaptative.

IA et société

L'autre souhait initial de l'équipe de l'ENSC d'améliorer par les sciences humaines les interactions homme-machine s'est trouvé détourné par des préoccupations éthiques relatives à ces interactions :

- coût des préoccupations éthiques (procédures, assurances),
- coûts écologiques,
- dimension sociale et sociétale du développement de l'AI (notamment en termes de volume d'emploi et d'accès aux emplois),
- relations de pouvoir autour de l'accès à la connaissance et aux formations (qui paie ? qui peut payer ? – cf. concept de « capital humain »),
- accès aux informations personnelles et au financement des investissements (monopole),
- risque de déshumanisation de processus décisionnel lorsque l'IA est utilisée comme outil d'aide à la décision politique ou juridictionnelle,
- autonomie et responsabilité des robots doués d'AI (voitures autonomes, drones et robots tueurs),
- interactions de l'IA avec l'opinion (bots, manipulations des populations),
- surveillance automatisée et généralisée par recours à l'IA.

La robotique et l'IA diversifient les possibilités d'**interactions homme-machine** : l'interaction avec l'IA ou le robot peut être : substitutive (la machine travaille à la place et remplace l'homme : p. ex. : véhicule autonome), collaborative (la machine fournit des éléments ou des informations qui accroissent les capacités d'action ou de décision : assistant, modèle numérique), ou hybride (l'homme et la machine travaillent de concert : compagnon embarqué).

On peut être séduit par l'idée, et espérer, que les machines améliorent nos performances (assistants, systèmes experts, transhumanisme). La technologie de l'IA peut aussi susciter de la peur (risque de déclassement social, asservissement par les machines ou à l'aide des machines). La question de l'acceptabilité sociale de l'IA se joue sans doute différemment suivant la nature des interactions (substitutive, collaborative, hybride). Comme souvent avec l'apparition de nouvelles technologies, l'attente naît de promesses (présentement, l'idéologie sous-jacente est celle d'un progrès exponentiel et éternel bénéfique pour l'humanité). Au-delà des peurs et de l'appropriation de la nouvelle technologie, de nouveaux équilibres sont à trouver, notamment en termes de maîtrise d'usage et d'éthique (discernement et déontologie dans l'usage ; cadre légal et réglementaire du développement des outils et services ; normalisation).

Le CSI échange sur l'opportunité de parler d'« Intelligence » artificielle et réfléchit à « IA et société »

Un autre dossier sur la question de l'intelligence et de l'apprentissage (institut français de l'éducation) : « **Neurosciences et éducation. La bataille des cerveaux.** »

<https://f-origin.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/1857/files/2014/04/86-septembre-2013.pdf>

Alain CAPPY (30 janvier 2020)

Intervention de M. Alain CAPPY, Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord (IEMN), Villeneuve d'Ascq

M. CAPPY partage sa vision des **enjeux** de l'engouement actuel pour l'Intelligence Artificielle. Selon lui, il serait plus judicieux de parler de « traitement de l'information » plutôt que d'« Intelligence Artificielle ».

M. CAPPY met en lumière **les limitations des stratégies actuelles** qui tablent surtout sur l'usage de large corpus de données et une augmentation des puissances de calcul, et s'interroge sur la pertinence des problématiques abordées et des solutions proposées.

M. CAPPY recommande la lecture de « **On intelligence** » de Jeff Hawkins. Selon Jeff Hawkins, le traitement des données est déterminé d'une part par un cadre fait de modèles, de présupposés, d'algorithmes et de lois ; et d'autre part, par la structure de la « machine » qui traite l'information. Dans un dispositif informatique, la mémoire, l'adressage des données et le processeur sont des instances séparées et coordonnées. Au contraire, dans le cerveau, la mémorisation et le traitement de l'information sont intégrées dans le même support organique.

M. CAPPY souligne que les machines actuelles ont un fonctionnement séquentiel et déductif. Au contraire,

- Le cerveau humain est capable d'**abstraction**. Ainsi, une machine considère l'intégralité de l'information à tout moment ; tandis que le cerveau hiérarchise et analyse l'information en décomposant : l'**organisation** globale de l'information, sa structure (détail), son évolution (dynamique). (ex : une tache rouge, constituée d'un trait, en mouvement/fixe)
- La **rétroaction** est un autre élément caractéristique du fonctionnement du cerveau. Le plus souvent, le cerveau comparerait l'observation (la donnée acquise ou reçue) avec une prédiction déduite d'un sous-ensemble de données et de « **patterns** » préétablis (situation ou élément de connaissance structuré). Dans ce contexte, le cerveau serait particulièrement sensible à l'écart entre la réalité et ce que les « patterns » permettent de prédire. Les « patterns » peuvent être conceptuels, spatiaux ou temporels. Ils sont hiérarchisés et associés entre eux.
- Enfin, les connexions synaptiques dans le cerveau produisent de nombreuses **redondances** des voies de transfert d'information. Ces redondances auraient pour intérêt de limiter les effets du bruit et du remplacement des cellules. Se peut-il que les redondances limitent ou suppriment l'incidence des poids synaptiques ? (poids = 0 ou 1)

Selon M. CAPPY, la consommation énergétique des composants et les **limites** de leur intégration constituent une barrière pour la mise en œuvre et le développement de l'Intelligence Artificielle telle qu'elle est envisagée par le paradigme dominant actuellement. Il propose des **voies de développement** : électronique basse consommation et fonctionnement par impulsions (plutôt que par état logique continu), parallélisme accru et fonctionnement en colonnes (structure de réseaux neuronaux plus proches de celle du cerveau), traitement analogique des poids logiques plutôt que calcul numérique.

En conclusion, **M. CAPPY milite** pour le développement de « hardware » neuro-inspirés (processeur « neuromorphique »). A ce prix, un ordinateur intelligent pourrait être bien plus

compact, rapide et puissant qu'un cerveau humain. M. CAPPY milite aussi pour définir des lignes directrices prioritaires pour l'ensemble de la communauté concernée. On peut penser qu'il imagine que les priorités seraient celles qu'il préconise.

Francisco CHINESTA (31 janvier 2020)

Intervention de M. Francisco CHINESTA, ENSAM – ParisTech,

M. CHINESTA présente ses options personnelles pour augmenter les possibilités de l'intelligence artificielle dans la résolution de problèmes pratiques pour l'industrie.

L'intelligence artificielle trouve un terrain de prédilection dans la gestion des procédés parce que la finesse des mesures détermine la qualité de la perception de la réalité, et qu'un suivi détaillé génère **des quantités de données considérables**. De plus, la généralisation de la production des jumeaux numériques pousse à développer une intelligence artificielle capable d'adapter les paramètres du modèle en temps réel pour prendre en compte la fatigue ou l'usure.

Il pourrait exister une voie médiane entre le modèle physique qui requiert de la puissance de calcul pour trouver la solution exacte d'un modèle complet, et le modèle purement numérique qui requiert l'exploitation d'un nombre considérable de données. Typiquement, cette voie médiane peut consister à **réduire le modèle** pour **simplifier localement la description des solutions** observées (p. ex : linéariser) ; et à faire évoluer les paramètres dans l'espace de représentation des solutions. Cette simplification s'apparente à l'usage d'abaques pour gagner en temps de calcul.

L'IA peut **suivre l'évolution des paramètres en temps réel** pour conserver un modèle prédictif à court terme. Le problème revient à une optimisation de paramètres si le modèle est fourni a priori. Une alternative peut consister à utiliser la prédiction de l'abaque en première approximation et de décrire un écart évoluant en temps réel (+ éventuellement, un bruit), « data driven modelling ».

L'IA peut **identifier des combinaisons de paramètres** qui produisent les effets les plus significatifs dans l'espace des solutions (classification). Cela revient à identifier les vecteurs propres du système linéaire local si les influences des combinaisons de paramètres sur les solutions sont décorréées dans l'espace des solutions. Une optimisation par moindre carré de l'écart entre la prédiction et l'observation permet de généraliser la « vectorisation de l'espace des solutions » pour une solution non linéaire. Les solutions sont plus facilement visualisables (appréhendables) dans un espace « vectorisé » de la sorte.

Une option **pour accélérer** la recherche de solution (et donc, le besoin en temps et en puissance de calcul) peut consister à **imposer des contraintes** physiques au modèle (linéaire) local en fournissant une connaissance de principes généraux (thermodynamique, causalité) et de modèles paramétriques simples (lois physiques), afin de limiter l'espace des solutions. (« physically informed AI »)

Il est envisageable d'**élaborer les modèles simplifiés** (locaux) à partir de solutions exactes du modèle numérique (simulation à partir du jumeau numérique), et d'identifier les combinaisons de paramètres significatifs (vecteurs propres). Le modèle simplifié sert à interpoler les solutions (pouvoir prédictif). L'IA peut exploiter le modèle simplifié, adapter et affiner en temps réel les paramètres qui l'alimentent.

En l'absence de modèle physique ou de modèle numérique, **l'IA peut suggérer un modèle** simplifié (non physique) et servir à identifier (découvrir) ses paramètres multidimensionnels significatifs (vecteurs propres) à partir d'un ensemble de données observées. Dans ce cas, tous les paramètres multidimensionnels identifiés par l'IA n'ont pas nécessairement un sens physique.

En génie des procédés, ces approches peuvent servir à définir où placer les sondes, ou quelles sont les observables qui requièrent le plus d'attention.

Jean-Michel TRAN (19 juin 2020)

Intervention de M. Jean-Michel TRAN, Naval Group,

Powerpoint :

https://extra.core-cloud.net/collaborations/CN-CS-CSI/CSI_INSIS/layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=/collaborations/CN-CS-CSI/CSI_INSIS/Documents%20partags%20CSI%20INSIS/JM_TRAN_RD_NavalGroup.pdf&action=default

M. Jean-Michel TRAN (Directeur du domaine technique « Intelligence Artificielle » de Naval Group) a présenté un exposé le 19 juin 2020 au sujet de : « **L'intelligence artificielle au service des capacités opérationnelles du naval de défense** ». M. Christian AUDOLY a transmis l'enregistrement de la conférence et du débat qui a suivi à l'ensemble des membres du CSI le 28/09/2020.

https://extra.core-cloud.net/collaborations/CN-CS-CSI/CSI_INSIS/Documents%20partags%20CSI%20INSIS/zoom%20expos%C3%A9%20TRAN.mp4

M. Christian AUDOLY a produit un résumé de l'exposé au cours de la première semaine du mois d'octobre 2020. Les principaux éléments de la présentation sont restitués ci-dessous :

L'exposé porte sur des applications orientées vers la défense : les navires, les sous-marins et plus généralement les systèmes navals (plusieurs acteurs ou systèmes interagissant entre eux dans une zone maritime), et a pour but de donner la vision d'un industriel sur l'impact de l'IA.

Ces systèmes navals, pilotés par des systèmes à logiciel prépondérant tendent à devenir de plus en plus complexes. Ici l'enjeu n'est pas le remplacement d'opérateurs humains par de l'IA ou la recherche de gains purement économiques, mais l'amélioration des performances des systèmes de défense, en mettant l'accent sur :

- La supériorité de l'information : Savoir mieux et avant les autres,
- La supériorité de l'engagement : Cybersécurité, furtivité et robustesse,
- La capacité à durer : Tenir à la mer en toute sécurité.

Les applications de l'IA dans le naval de défense comportent principalement 4 volets : perception, aides à la décision, aides à l'exploitation, autonomie décisionnelle (pour des engins autonomes comme les drones). Dans ce cadre, les actions mener visent à :

- Améliorer les performances opérationnelles des systèmes navals de défense par des intelligences artificielles performantes, robustes, auto-adaptables, explicables, validées et acceptées par les opérateurs humains,
- Bénéficier des ruptures IA en provenance du monde civil,

Il est important de noter également que dans le contexte Naval défense, « l'IA de confiance » (explicabilité, robustesse) est un sujet important, d'autant plus que les opérateurs humains restent dans la boucle (notion de co-décision, interaction homme-IA).

La discussion initiée à partir de cet exposé oriente vers des questions interdisciplinaires en direction des SHS :

L'exposé de M. TRAN parlait de systèmes experts visant à synthétiser et mettre en forme les données pour faciliter la décision. Ces systèmes sont capables d'interpréter et d'explorer rapidement un large ensemble de réponses possibles. Ces systèmes experts doivent-ils être distingués des systèmes autonomes ? Quelle importance donner à l'INSIS (section 7) pour les recherches sur l'intelligibilité et la fiabilité des analyses / comportements de l'intelligence artificielle ? Que devient la

notion de « responsabilité » dans le cas d'un système autonome (sûreté de fonctionnement) ? De quelle protection jouit un opérateur qui refuse une proposition d'un système expert ; ou lorsqu'il décide de « reprendre la main » lorsqu'il juge que le comportement de l'IA n'est plus suffisamment fiable, raisonnable, éthique ? Quelle évolution de l'éducation pour accompagner le développement de l'IA et permettre à une large partie de la population d'utiliser et de s'approprier l'IA ?

Questions diverses soulevées suite à cet exposé :

- Opportunité de parler d'«intelligence artificielle» pour les applications de « Cobotique » dans lesquelles les machines assistent les opérations humaines.
- La question de la frugalité énergétique des algorithmes a été rappelée. Elle est notamment importante dans le cas des engins autonomes.
- Stimuler la conception de composants pour les calculs neuronaux ?
- Garder à l'esprit la variété des « IA » : distinguer système expert, système auto-adaptatif, système autonome, « deep learning » et analyse de larges ensembles de données.
- Comment faire évoluer l'IA pour lui permettre de gérer des situations « rares », difficilement « apprises » par les systèmes actuels ? Possibilité de développer de nouvelles architectures algorithmiques des réseaux neuronaux, ou de nouveaux modes de fonctionnement (avec rétroaction et possibilités d'autocorrection) ?
- Définitions de nouvelles procédures permettant d'accélérer l'apprentissage des machines ? (Nettoyage des données, indicateurs bien définis)

David BOL (6 janvier 2021)

Intervention de M. David BOL (ECS group, ICTEAM Institute, UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique)

Téléconférence : ***Moore's law and ICT innovation in the Anthropocene.***

L'enregistrement de l'intervention a été mise en ligne :

<https://scalelite.lal.cloud.math.cnrs.fr/playback/presentation/2.0/playback.html?meetingId=7d2b4082c78303b026ed87d2a98f9c7514935119-1609923751648>

La conférence portait sur l'incidence des innovations dans les technologies informatiques et de communication sur la consommation énergétique. L'exposé était très centré sur l'empreinte carbone de l'activité numérique (dont IA). Approche pluridisciplinaire : technologique, économique, écologique et sociétal.

Le contenu est publié :

D. Bol, T. Pirson and R. Dekimpe, "Moore's Law and ICT Innovation in the Anthropocene," 2021 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), 2021, pp. 19-24, doi: 10.23919/DATE51398.2021.9474110.

Annexe 3 : Analyse du questionnaire

1. Introduction

Ce document détaille l'analyse d'un questionnaire¹ envoyé aux responsables des entités de recherche pour connaître le positionnement des laboratoires relevant de l'INSIS, par rapport à l'intelligence artificielle. L'intelligence artificielle est entendue ici comme suit : « *Champ interdisciplinaire théorique et pratique qui a pour objet la compréhension de mécanismes de la cognition et de la réflexion, et leur imitation par un dispositif matériel et logiciel, à des fins d'assistance ou de substitution à des activités humaines.* »

Ce questionnaire² a été envoyé le 17 février 2021. Le recueil des réponses s'est terminé le 15 mars 2021 (Figure 1).

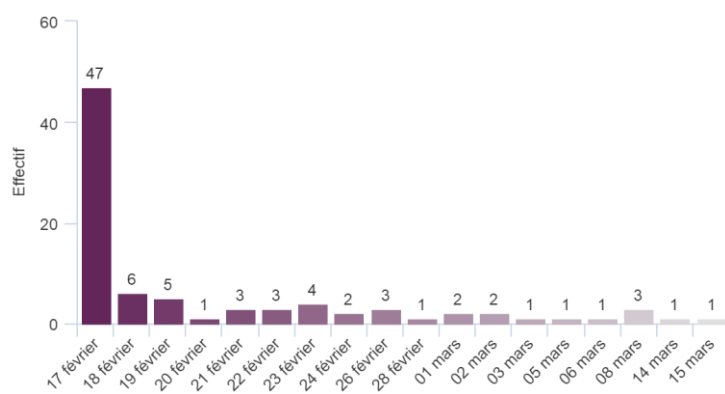


Figure 1 : Etalement des réponses dans le temps

Au total, 87 entités ont répondu à l'enquête dont 75 labos, 7 GDR et 5 Fédérations (sur 120 unités de recherche et de service, 38 GDR et 22 Fédérations). Les premières questions portaient sur la place de l'IA dans le laboratoire.

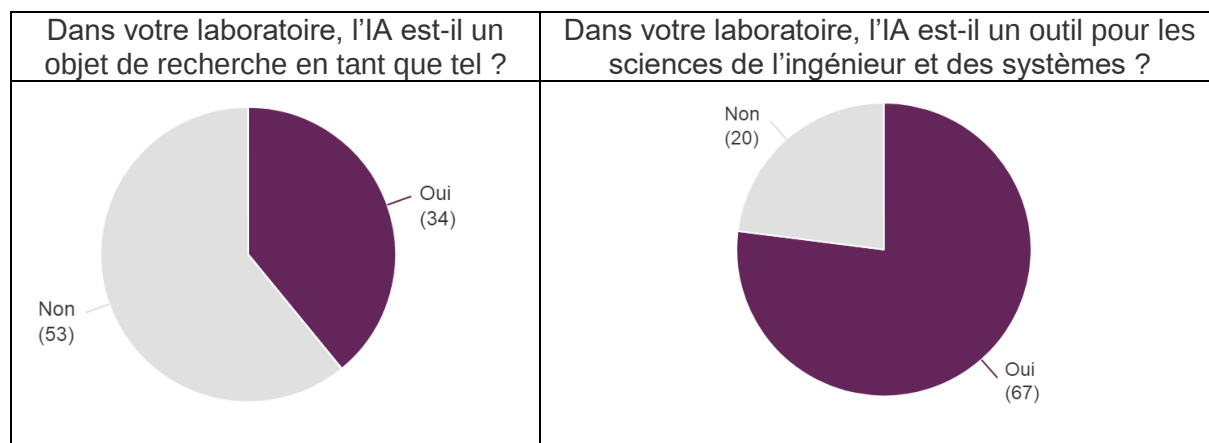


Figure 2 : Distribution des entités enquêtées vis-à-vis de l'IA en tant qu'objet ou en tant qu'outil.

¹ On trouvera le questionnaire à la fin de cette annexe. Il a été implémenté par Catherine Lavandier au sein de son laboratoire avec l'aide de Romain Dedieu sur la plateforme Sphinx. Pour tout complément d'information : catherine.lavandier@cyu.fr

² Le détail du questionnaire envoyé aux responsables des entités de recherche est présenté en fin de document.

2. Les entités de recherche qui ne travaillent pas avec l'IA

Seules 16 entités, dont 4 GDR (sur les 7) et 1 Fédération de recherche (sur les 5), ont répondu que l'IA n'était ni un objet de recherche, ni un outil. Certaines entités relativisent tout de même en précisant qu'ils s'intéressent quand même à l'IA mais vraiment à la marge de leurs projets scientifiques. Un laboratoire mentionne que « *il a débuté un petit projet pour mieux analyser des images avec des collègues d'une école d'ingénieur voisine. Cette preuve du concept a bien montré l'importance de l'Intelligence Artificielle pour améliorer la "lecture" de ces images. Mais faute de moyens le projet est en standby !* ».

Les raisons évoquées sont présentées Figure 3 :

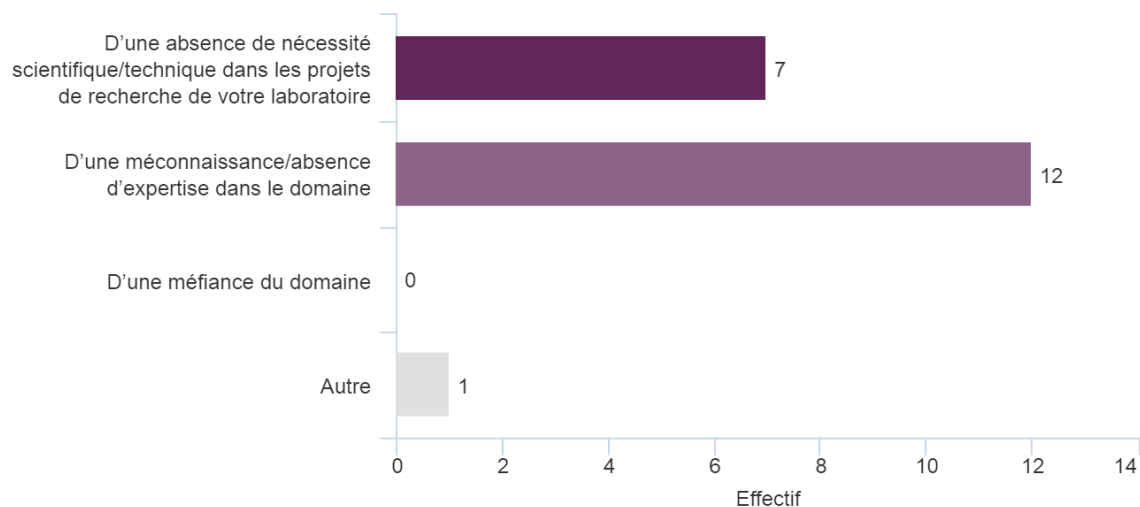


Figure 3 : Raisons évoquées pour le non-usage de l'IA

Naturellement, si des compétences sont recherchées, elles sont trouvées ailleurs (Figure 4) :

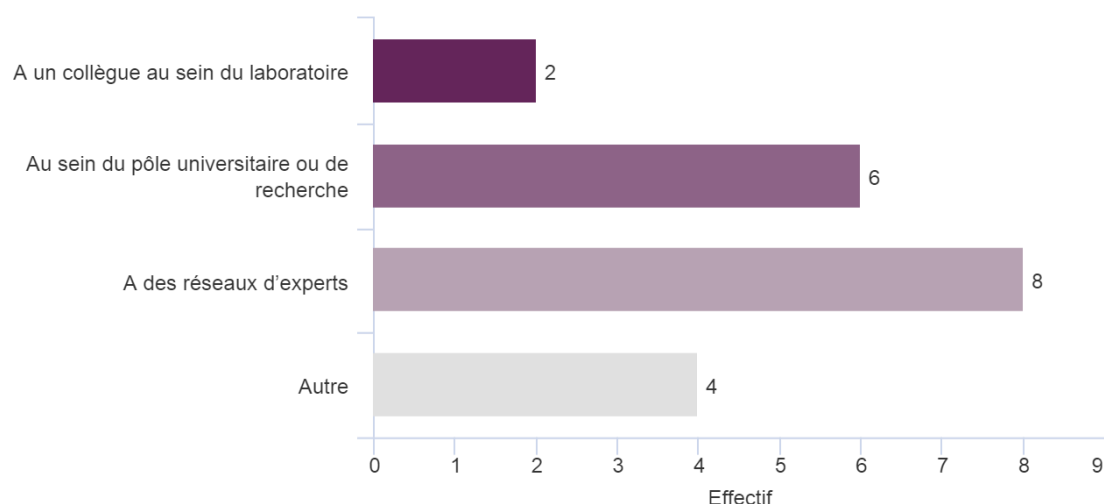


Figure 4 : Réponses à la question suivante : Lorsqu'une compétence spécifique est recherchée, où vos chercheurs s'adressent-ils ?

3. IA intégrée dans le laboratoire

Au total 71 entités travaillent avec l'IA dans leur laboratoire. 30 entités ont précisé qu'elles travaillaient avec l'IA à la fois comme objet et comme outil de recherche, 4 ne s'intéressent à l'IA que comme objet de recherche et 37 utilisent seulement l'IA comme outil pour la recherche.

3.1 IA comme un objet de recherche et comme outil de recherche

Parmi les 30 entités précitées, certains laboratoires (10 exactement sur les 87 réponses) cochent toutes les cases, car l'IA est déjà fortement implantée dans leurs recherches (IA comme objet de recherche et IA comme outil à la fois dans son approche symbolique et en réseaux de neurones). Les 20 autres laboratoires n'utilisent pas l'approche IA symbolique dans leurs outils pour les sciences de l'ingénierie et des systèmes.

3.2 IA comme un objet de recherche

L'IA est donc un objet de recherche pour 34 entités.

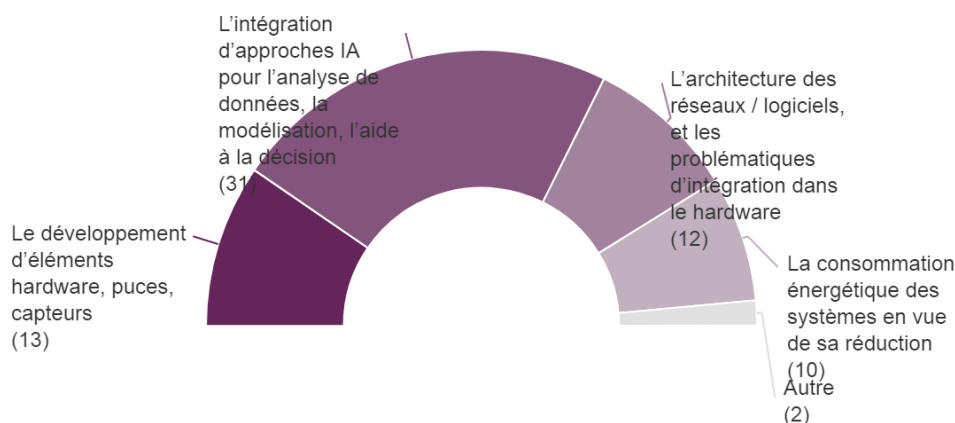


Figure 5 : Travaux développés par les unités qui s'intéressent à l'IA en tant qu'objet de recherche

Les 4 laboratoires qui abordent l'IA uniquement comme objet de recherche travaillent principalement sur l'architecture des réseaux et le développement d'éléments hardware, puces et capteurs. Presque toutes les entités cochent la deuxième case (Figure 5), c'est-à-dire qu'elles développent leurs propres codes pour les adapter à leurs besoins (« cybersécurité » par exemple).

3.3 IA comme outil pour les sciences de l'ingénieur et des systèmes

On compte 37 entités pour qui l'IA est uniquement un outil pour, auxquelles viennent s'ajouter les 30 unités qui travaillent sur les deux approches. Un seul laboratoire sur les 67 utilise uniquement l'IA dans son approche « historique, symbolique », 37 laboratoires n'abordent l'IA que via les « réseaux de neurones » et 29 laboratoires travaillent avec les deux approches. Globalement, l'approche « réseaux de neurones » est plus partagée que l'approche « historique » (Figure 6).

Un responsable de laboratoire écrit dans ses commentaires généraux :

« L'IA est un sujet nouveau pour nous, qui n'est pas au cœur de nos activités mais qui nous intéresse fortement pour mettre en valeur la qualité de nos travaux. Nous n'avons pas attendu cette enquête pour nous y intéresser. En bref nos modèles (numériques ou traitement de données) sont au top. Les temps de calcul peuvent encore être améliorés (mais pour faire quoi ?). L'espace de stockage est bien géré par les grandes multinationales américaines. Toutefois le dépouillement des données

pose problème, pas d'outil pour les traiter efficacement. En effet nous avons des tonnes d'information, généralement peu pertinentes. Donc Il me semble pertinent de travailler sur la qualité et la fiabilité des données ... , et aussi encourager les collègues à intégrer l'IA pour progresser plus vite ».

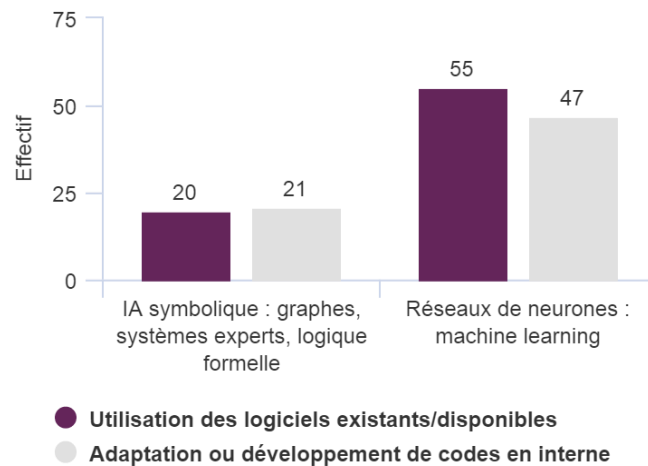


Figure 6 : Approches d'IA utilisées comme outil pour les sciences de l'ingénieur et des systèmes.

Parmi les 37 laboratoires qui ne travaillent qu'avec les réseaux de neurones en tant qu'outils, seules 9 entités (dont 1 GDR et 1 IRL) ne développent pas leurs logiciels et utilisent uniquement des logiciels déjà existants. Inversement 4 entités (dont 1 GDR et 1 Fédération) développent ou adaptent les logiciels à leurs propres besoins uniquement.

Parmi les 29 laboratoires, qui utilisent l'IA en tant qu'outil sur les deux approches (symbolique et réseaux de neurones), 6 entités n'utilisent que des logiciels existants quelle que soit leur approche. Inversement 5 entités ne font que du développement ou adaptent les codes en interne quelle que soit leur approche.

Deux laboratoires utilisent seulement l'IA symbolique via des logiciels existants, mais développent leurs réseaux de neurones. Inversement deux laboratoires utilisent seulement les logiciels existants pour les réseaux de neurones, mais préfèrent adapter ou développer des codes en IA symbolique.

3.4 Les enjeux scientifiques

Une autre façon de regarder comment l'IA est intégrée dans les laboratoires est d'analyser les textes qui ont été écrits en commentaire libre sur les enjeux scientifiques développés dans les laboratoires. 45 responsables ont répondu à cette question ouverte sur les 71 à qui cette opportunité était présentée. L'analyse lexicale des réponses fait apparaître 7 champs sémantiques : « **traitement des données** », « **optimisation des systèmes** », « **traitement du signal** », « **machine learning** », « **architecture** », « **matériau** », « **sport et santé** ». L'hypothèse qui est faite ici est que le décompte des mots relevant des champs sémantiques reflète l'importance de chaque domaine dans les activités des laboratoires ou des équipes.

- 0 si le laboratoire n'aborde pas le champ sémantique, c'est-à-dire qu'aucun mot affecté au champ lexical correspondant n'a été retrouvé dans le discours du responsable
- 1 si le champ sémantique a été ciblé dans les enjeux scientifiques du laboratoire, c'est-à-dire si l'on retrouve les mots affectés à cette thématique dans le commentaire du responsable.

Une analyse en composantes principales a été effectuée sur cet espace de façon à réduire le nombre de dimensions et de regrouper les laboratoires qui abordent les mêmes thématiques.

Sur les plans ci-dessous (Figure 8 et Figure 9) qui regroupent les dimensions deux à deux, chaque petit point représente un laboratoire (ou plusieurs laboratoires superposés). La couleur du point permet de savoir à quel groupe il appartient. Le point de cette même couleur mais de diamètre plus important représente la position du barycentre de l'ensemble des laboratoires appartenant à un même groupe.

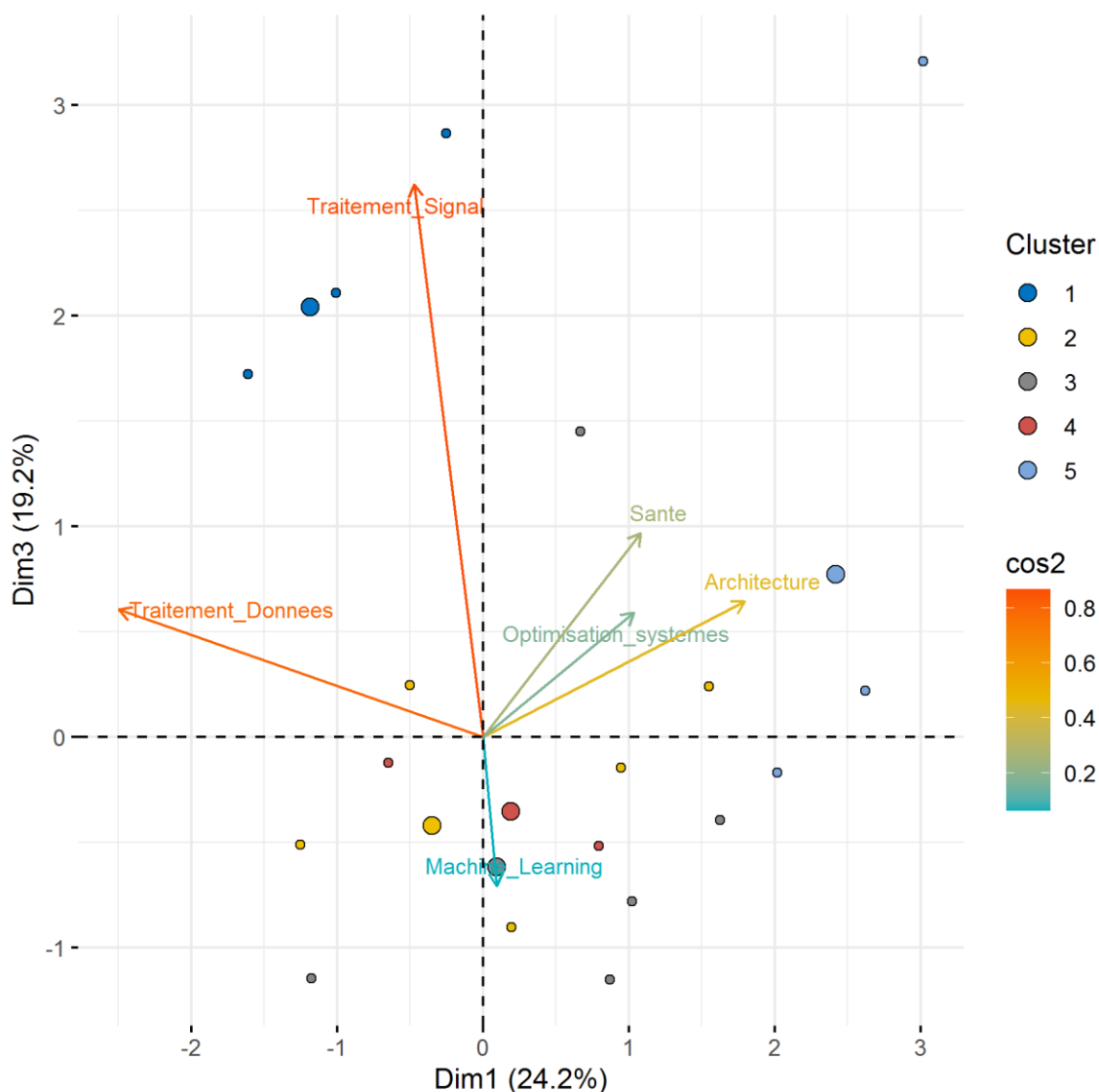


Figure 8 : Plan représentant les entités de recherches sur les dimensions 1 et 3 de l'analyse en composantes principales (ACP). Les vecteurs représentent les corrélations plus ou moins grandes entre les 7 dimensions initiales et les dimensions issues de l'ACP.

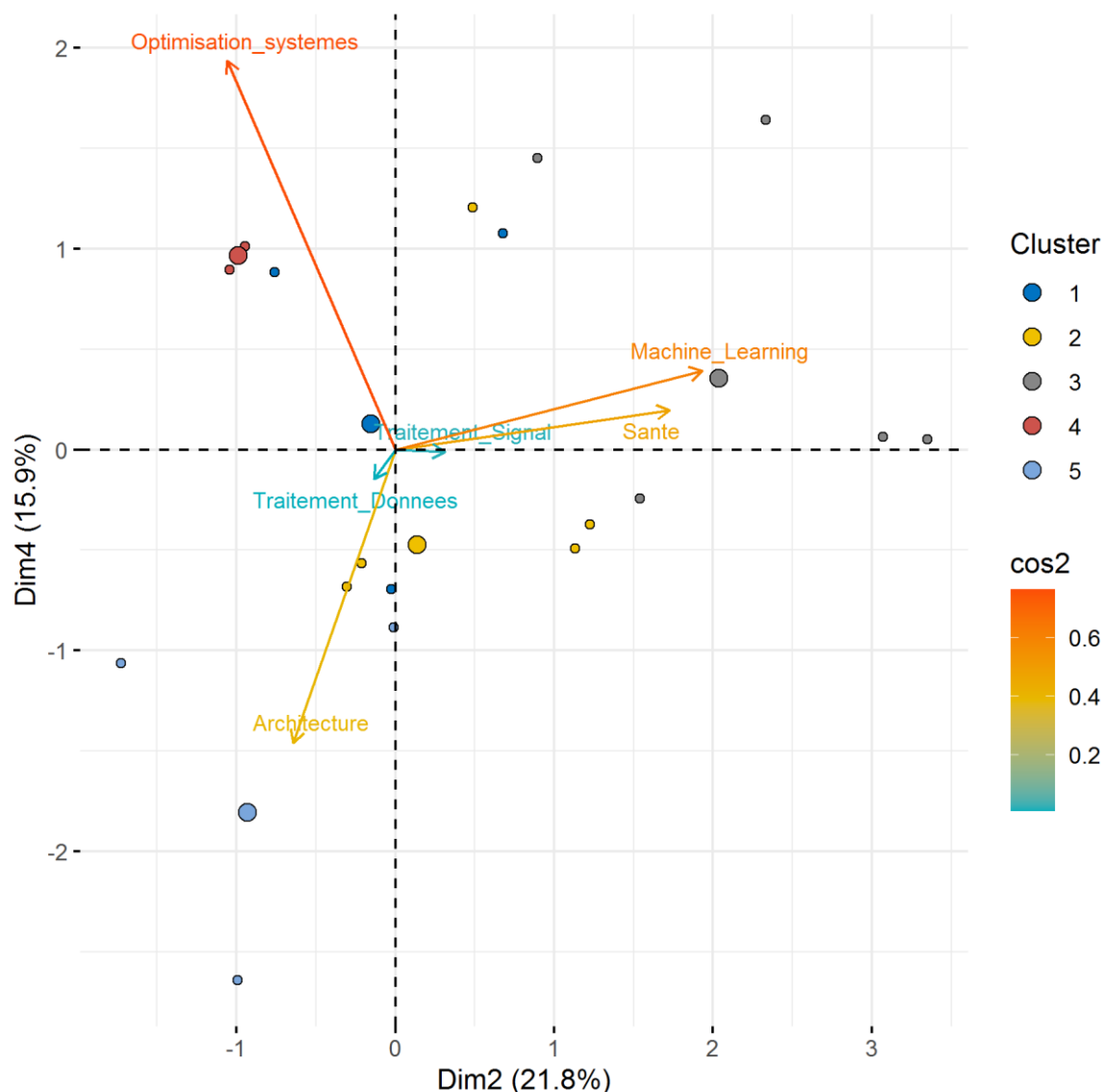


Figure 9 : Plan représentant les entités de recherches sur les dimensions 2 et 4 de l'analyse en composantes principales (ACP). Les vecteurs représentent les corrélations plus ou moins grandes entre les 7 dimensions initiales et les dimensions issues de l'ACP.

Quatre dimensions suffisent à expliquer plus de 80% de la variance des données. Les laboratoires ont donc maintenant 4 coordonnées (que l'on appelle composantes principales). Les projections des 7 variables initiales sur les dimensions de cet espace réduit sont issues des corrélations entre ces thématiques abordées par les laboratoires et les 4 composantes principales. La valeur du $\cos^2$ (et sa couleur) correspond à la qualité de la représentation d'une la variable dans le plan. Elle est égale à la somme des corrélations au carré r^2 de chaque variable sur chacune des dimensions représentées. La position des laboratoires (des points donc) dans cet espace à 4 dimensions permet de les regrouper par similitude de thématiques abordées.

Cinq groupes ont donc été formés par classification hiérarchique sur les coordonnées des laboratoires dans cet espace réduit à 4 dimensions.

Le 1^{er} groupe (cluster bleu foncé) rassemble 6 entités qui font du **traitement de signal** avec une approche IA. Ils sont placés sur la partie positive de la dimension 3. Les enjeux présentés sont par exemple :

« *IA appliquée au traitement du signal acoustique et du traitement d'image* ».

« *Détection de dysfonctionnement, analyse de défaillance (centrale solaire PV) - Analyse d'image à l'échelle du territoire urbain (identification de toitures équipées en composants solaires)* ».

Le 2^{ème} groupe (cluster ocre) rassemble 16 entités dont le centre de gravité est proche du centre de l'espace. Ils n'ont pas de particularité bien marquée si ce n'est qu'ils s'opposent sur cet axe aux laboratoires qui développent des **architectures réseaux** (à droite de cet axe). Ils font donc globalement du **traitement de données**, puisque les deux thématiques **traitement de données** et **architecture réseau** semblent négativement corrélées (variables opposées sur l'axe 1).

« *Enrichissement par les données, prise en compte de la physique pour contraindre et corriger le traitement des données* ».

« *Analyse des données pour les détecteurs d'ondes gravitationnelles* ».

« *Un groupe de travail regarde comment traiter la masse de données considérables issues de nos systèmes de mesures* ».

« *L'usage de l'IA dans le domaine de la santé en tenant compte des problématiques liées aux données patients* ». Ce laboratoire est donc placé aussi sur la partie positive de la dimension 2 (santé).

Le 3^{ème} groupe (cluster gris) rassemble 7 laboratoires qui abordent les données liées à la **santé**. Dans ce même groupe sont rassemblées les entités qui travaillent avec du **machine learning**. Les deux thématiques sont assez corrélées sur cette dimension, ce qui veut dire que les laboratoires qui analysent des données de santé le font probablement avec des approches de machine learning. Par exemple un des laboratoires très bien représenté sur cet axe 2 (proche de l'extrémité droite de l'axe 2) se caractérise par le texte suivant, reprenant les deux thématiques :

« *Un des axes majeurs de mon laboratoire est l'imagerie des populations, qui vise à faire émerger de nouveaux biomarqueurs et une nouvelle stratification des pathologies cérébrales. A ce titre, nous pratiquons massivement le Machine Learning supervisé et non supervisé (deux chaires IA)* ».

« *Inclusion de modèles biomécaniques dans la chaîne d'apprentissage - question de comment intégrer les notions de "perception"* ».

Le 4^{ème} groupe (cluster rouge) rassemble 12 laboratoires qui travaillent sur de la modélisation ou **optimisation des systèmes complexes**. Etant peu dispersés dans cet espace, les laboratoires de ce groupe semblent assez homogènes.

« *Essentiellement utilisée dans des algorithmes d'optimisation ou d'identification de paramètres optimaux ou conditions optimales* ».

« *Les aspects liés à l'IA concernent le pilotage, l'observation (reconstruction d'information), le diagnostic et la modélisation comportementale de systèmes complexes* ».

Le 5^{ème} groupe (cluster bleu clair) rassemble 4 laboratoires qui s'intéressent prioritairement à l'IA en tant qu'objet sur le développement d'**architectures** dédiées à l'IA (placés sur la dimension 1 du côté positif).

« *Architectures neuromorphiques et IA bio-inspirée* ».

« *Développement d'architectures (dispositifs électroniques et optiques) pour réseaux de neurones* ».

3.5 Durée d'intégration de l'IA

La Figure 10 montre la distribution des réponses à la question : Depuis combien de temps avez-vous intégré l'IA comme objet ou outil de recherche dans votre laboratoire ?

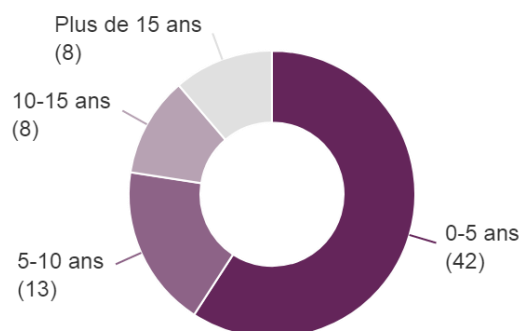


Figure 10 : Durée d'intégration de l'IA dans les enjeux scientifiques.

Tableau 1 : Croisement de la durée d'intégration de l'IA dans les enjeux scientifiques avec les différentes entités vis-à-vis des outils de recherche.

DANS VOTRE LABORATOIRE, L'IA EST-IL UN OUTIL POUR LES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR ET DES SYSTÈMES ?	DEPUIS COMBIEN DE TEMPS AVEZ-VOUS INTÉGRÉ L'IA COMME OBJET OU OUTIL DE RECHERCHE DANS VOTRE LABORATOIRE ?				TOTAL
	<5	5-10	10-15	>15	
	0-5 ANS	5-10 ANS	10-15 ANS	PLUS DE 15 ANS	
Oui	39	13	8	7	67
Non	3	0	0	1	4
TOTAL	42	13	8	8	71

Tableau 2 : Croisement de la durée d'intégration de l'IA dans les enjeux scientifiques avec les différentes entités vis-à-vis des objets de recherche.

DANS VOTRE LABORATOIRE, L'IA EST-IL UN OBJET DE RECHERCHE EN TANT QUE TEL ?	DEPUIS COMBIEN DE TEMPS AVEZ-VOUS INTÉGRÉ L'IA COMME OBJET OU OUTIL DE RECHERCHE DANS VOTRE LABORATOIRE ?				TOTAL
	<5	5-10	10-15	>15	
	0-5 ANS	5-10 ANS	10-15 ANS	PLUS DE 15 ANS	
Oui	19	7	1	7	34
Non	23	6	7	1	37
TOTAL	42	13	8	8	71

Le Tableau 1 rappelle ici que 4 laboratoires seulement n'utilisent pas L'IA comme outil et se concentrent sur le hardware. Il n'a pas donc trop d'intérêt pour l'interaction, car il reprend la Figure 10 générale précédente.

Le Tableau 2 montre que, parmi les 71 entités qui intègrent l'IA dans leurs recherches, 8 laboratoires intègrent l'IA depuis plus de 15 ans, parmi eux 6 travaillent sur l'IA en tant qu'objet et outil.

Un des responsables précise que, bien qu'il considère que la majorité de son laboratoire a intégré l'IA au sens d'optimisation depuis moins de 5 ans, l'IA intéresse depuis plus de 20 ans certains de ses collègues.

3.6 Recrutement

Parmi les 71 entités qui intègrent l'IA dans leurs recherches, 28 ont récemment soutenu des candidatures ou recruté des personnels experts en IA et 43 ne l'ont pas fait (Tableau 3).

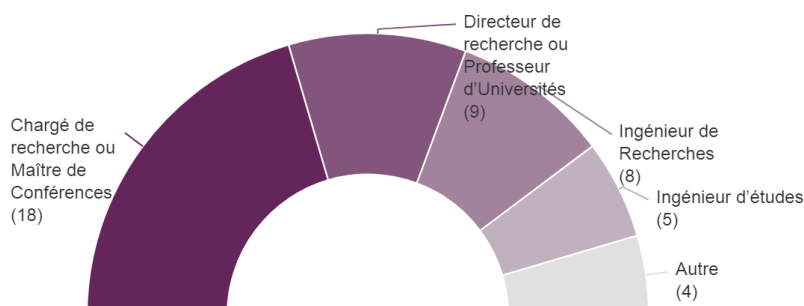


Figure 11 : Niveau auquel les recrutements ont été faits récemment dans les entités de recherche.

Pour les quatre « Autres » réponses de la Figure 11, on trouve :

- Doctorant
- Post-doctorat
- Doctorants et Post-doctorants
- Intégration de chercheurs de CYU suite à reconfiguration de cette université

Tableau 3 : Croisement des recrutements avec les entités vis-à-vis des objets de recherche.

DANS VOTRE LABORATOIRE, L'IA EST-IL UN OBJET DE RECHERCHE EN TANT QUE TEL ?	AVEZ-VOUS RÉCEMMENT SOUTENU DES CANDIDATURES OU RECRUTÉ DES PERSONNELS EXPERTS EN IA ?		TOTAL
	OUI	NON	
	OUI	NON	
Oui	20	14	34
Non	8	29	37
TOTAL	28	43	71

■ Éléments sous-représentés ■ Éléments sur-représentés

La relation est très significative. $p\text{-value} = < 0,01$; $\chi^2 = 10,3$; $ddl = 1$.

Il semble que les laboratoires qui n'utilisent l'IA que comme outil (ceux qui ne s'intéressent pas à l'IA en tant qu'objet de recherche) soient moins en demande de ressources humaines que les autres laboratoires. Peut-on interpréter cela comme un démarrage plutôt lent des laboratoires vers l'IA ? Une remarque d'un directeur du laboratoire est intéressante, car il écrit :

« La difficulté que nous rencontrons aussi actuellement, au-delà des aspects scientifiques, concerne le recrutement des chercheurs juniors avec une double compétence "énergie/IA". Pour les profils IA, le temps d'apprentissage "énergie" est long et l'inverse l'est également. Ceci est d'autant plus important qu'il ne s'agit pas simplement d'appliquer les outils IA mais bien de travailler aux interfaces et aux adaptations en fonction du procédé énergie ou des données typiques de ces systèmes. »

Cette difficulté est aussi remontée par un autre directeur qui écrit :

« Par rapport à l'ensemble de nos sollicitations, nous manquons cruellement de personnel, notamment chercheurs et ingénieurs. »

3.7 Collaboration avec les industriels

Le Tableau 4 montre que le type de laboratoire (IA objet ou IA outils) n'a pas d'influence sur les collaborations avec les industriels qui semblent nombreuses : 70% des entités répondent positivement à cette question (50/71).

Tableau 4 : Croisement des collaborations industrielles au sujet de l'IA avec les entités vis-à-vis des objets de recherche.

DANS VOTRE LABORATOIRE, L'IA EST-IL UN OBJET DE RECHERCHE EN TANT QUE TEL ?	LES RECHERCHES EN IA SONT-ELLES L'OCCASION DE COLLABORATIONS AVEC DES INDUSTRIELS ?		
	OUI	NON	TOTAL
	OUI	NON	
Oui	25	9	34
Non	25	12	37
TOTAL	50	21	71

■ Eléments sous-représentés ■ Eléments sur-représentés

La relation n'est pas significative. $p\text{-value} = 0,6$; $\text{Khi}^2 = 0,3$; $\text{ddl} = 1$.

Tableau 5 : Croisement des aspects sur lesquelles portent les collaborations industrielles avec les entités de recherche

DANS VOTRE LABORATOIRE, L'IA EST-IL UN OBJET DE RECHERCHE EN TANT QUE TEL ?	SUR QUEL(S) ASPECT(S) :			
	OBJET	OUTILS		
	MISE AU POINT DE TECHNIQUES IA SPÉCIFIQUES À UN DOMAINE D'APPLICATION ET TRANSFERT À L'INDUSTRIEL (CF. IA COMME OBJET DE RECHERCHE)	UTILISATION DE TECHNIQUES IA POUR L'OPTIMISATION D'UN SYSTÈME, D'UN PROCESS OU D'UN PROCÉDÉ DE CALCUL (CF. IA COMME OUTIL)		
			AUTRE	TOTAL
Oui	16	18	0	34
Non	8	22	0	30
TOTAL	24	40	0	64

■ Eléments sous-représentés ■ Eléments sur-représentés

La relation est peu significative. $p\text{-value} = 0,1$; $\text{Khi}^2 = 2,8$; $\text{ddl} = 1$.

On retrouve dans le Tableau 5 la logique qui veut que les laboratoires qui intègrent l'IA comme objet de recherche (et qui majoritairement utilisent aussi l'IA comme outil) s'ouvrent vers les industriels sur les deux aspects (objet et outil) alors que les autres laboratoires qui ne font pas de développement hardware ou réseaux vont vers des applications pour l'optimisation ou des procédés de calculs.

3.8 Réflexions sur l'impact des approches IA dans le laboratoire

Le Tableau 6 montre que 20 laboratoires ont une réflexion sur l'impact des approches IA dans le laboratoire. Ceux qui sont tournés vers l'utilisation de l'IA (réseaux de neurones, analyses de big data, etc.) n'ont pas encore de réflexion sur l'impact de leurs outils. Un seul s'y intéresse !

Tableau 6 : Entités ayant une réflexion sur les impacts de l'IA en fonction de leur approche vis-à-vis de celle-ci (objet de recherche ou non).

DANS VOTRE LABORATOIRE, L'IA EST-IL UN OBJET DE RECHERCHE EN TANT QUE TEL ?	Y A-T-IL UNE RÉFLEXION DANS LE LABORATOIRE SUR L'IMPACT (SOCIÉTAL, OU AUTRE) DE CES APPROCHES IA ?		
	OUI	NON	TOTAL
	OUI	NON	
Oui	19	15	34
Non	1	36	37
TOTAL	20	51	71

■ Eléments sous-représentés ■ Eléments sur-représentés

La relation est très significative. $p\text{-value} = < 0,01$; $\text{Khi}^2 = 24,8$; $\text{ddl} = 1$.

La Figure 12 montre que parmi ceux qui s'y intéressent, deux entités seulement travaillent sur l'implication sur l'emploi, ce qui montre que si collaborations il y a avec les SHS, elles portent peu actuellement sur cette thématique. Sur les 9 laboratoires qui s'intéressent au développement durable, il y en a 5 qui ont aussi déclaré travailler sur la consommation énergétique des systèmes en vue de sa réduction.

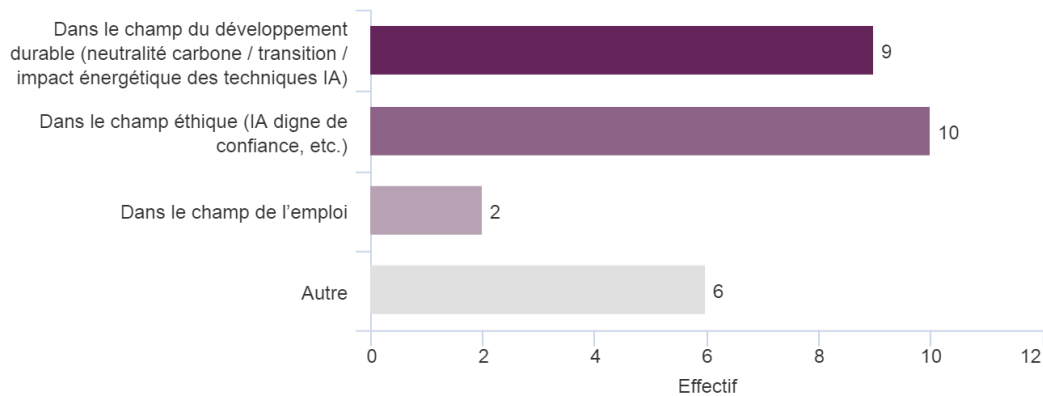


Figure 12 : Champs d'intérêt pour les laboratoires qui se posent des questions sur l'impact de l'IA.

Ce ne sont pas les mêmes laboratoires qui s'intéressent au champ de la confiance en l'IA, mais encore une fois, aucun laboratoire n'est seulement utilisateur de l'IA en tant qu'outil.

Pour les six « Autres » réponses de la Figure 12, on trouve :

- Dans le champ de la Santé et des SHS
- IA pour la santé
- Médecine du futur
- Protection des personnes, gestion de la concurrence (compétition sportive)
- Acceptabilité de l'IA et enjeux sociétaux
- Sur le domaine scientifique, donc l'évolution de l'emploi, etc. (Fédération Française de Mécanique)

Cette dernière remarque peut être rapprochée des deux entités qui s'intéressent au champ de l'emploi.

4. Besoins de ressources en IA

Les Figures 13 et 14 montrent où sont recherchées les compétences en IA.

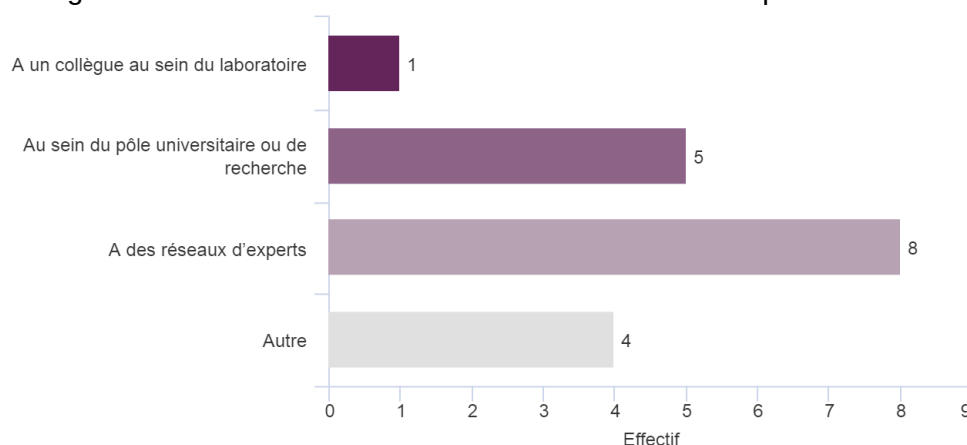


Figure 13 : Entités vers qui s'adressent les laboratoires qui ne travaillent pas avec l'IA lorsqu'un besoin se fait sentir.

Certains laboratoires précisent qu'ils ont des collaborations privilégiées avec d'autres instituts.

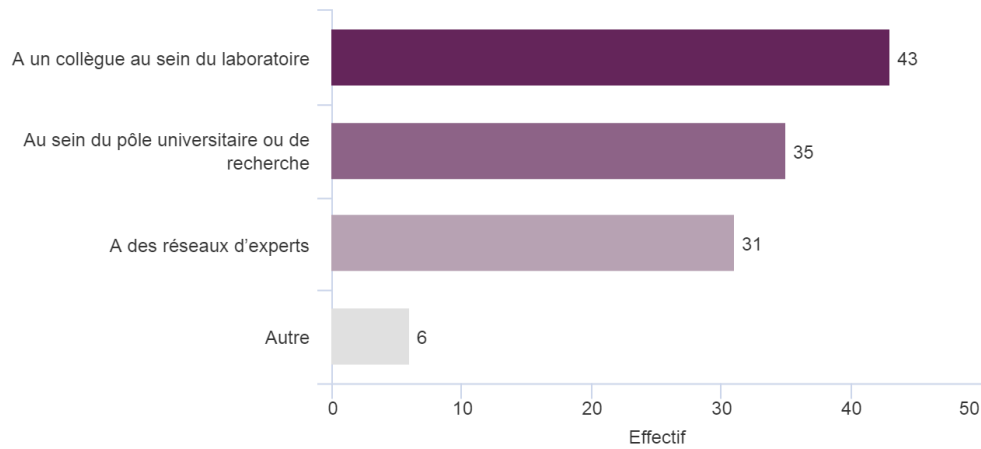


Figure 14 : Entités vers qui s'adressent les laboratoires qui travaillent avec l'IA lorsqu'une expertise spécifique se fait sentir.

Questionnaire IA – Labos INSIS

Préambule :

Le Conseil Scientifique de l'INSIS a mis en place un groupe de réflexion sur la place de l'intelligence artificielle (IA) dans les laboratoires relevant de l'Institut. L'intelligence artificielle est entendue ici comme suit :

« *Champ interdisciplinaire théorique et pratique qui a pour objet la compréhension de mécanismes de la cognition et de la réflexion, et leur imitation par un dispositif matériel et logiciel, à des fins d'assistance ou de substitution à des activités humaines.* »

En parallèle d'auditions menées auprès d'un certain nombre d'experts du domaine, il paraît utile de connaître le positionnement des laboratoires relevant de l'INSIS, par rapport à cette thématique.

Questionnaire :

1. L'IA est-il un objet ou un outil de recherche dans votre laboratoire ?

1a. Est-ce un **objet de recherche** en tant que tel ?

Si non, passer à 1b directement

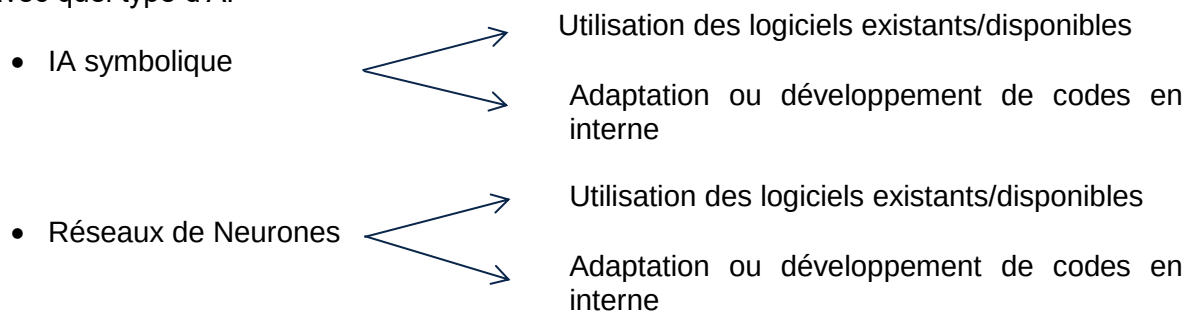
Si oui,

- S'agit-il plutôt de travaux concernant :

- Le développement d'éléments hardware, puces, capteurs
- L'intégration d'approches IA pour l'analyse de données, la modélisation, l'aide à la décision
- L'architecture des réseaux / logiciels, et les problématiques d'intégration dans le hardware
- La consommation énergétique des systèmes en vue de sa réduction
- Autre

1b. Est-ce un **outil** pour les sciences de l'ingénieur et des systèmes ?

Si oui, avec quel type d'AI



NB : AI symbolique = graphes, systèmes experts, logique formelle
Réseaux de neurones = machine learning

Si oui à 1a ou à 1b, passer à 2 puis questions suivantes (sauf 7)

Si non à 1a et à 1b Passer à 7 directement.

2. Quels sont les autres enjeux scientifiques ou technologiques associés à l'IA dans votre laboratoire ?

3. Depuis combien de temps avez-vous intégré l'IA comme objet ou outil de recherche dans votre laboratoire ?

- 0-5 ans
- 5-10 ans
- 10-15 ans
- Plus de 15 ans

4. Avez-vous récemment soutenu des candidatures ou recruté des personnels experts en IA ? Si oui, à quel niveau ?

- Chargé de recherche ou Maître de Conférences
- Directeur de recherche ou Professeur d'Universités
- Ingénieur de Recherche
- Ingénieur d'études
- Autre

5. Les recherches en IA sont-elles l'occasion de collaborations avec des industriels ? Si oui, sur quels aspects ?

- Mise au point de techniques IA spécifiques à un domaine d'application et transfert à l'industriel (cf. IA comme objet de recherche)
- Utilisation de techniques IA pour l'optimisation d'un système, d'un process ou d'un procédé de calcul (cf. IA comme outil)
- Autre

6. Y a-t-il une réflexion dans le laboratoire sur l'impact de ces approches IA ? Si oui dans quel champ ?

- Dans le champ du développement durable (neutralité carbone / transition / impact énergétique des techniques IA)
- Dans le champ éthique (IA digne de confiance,)
- Dans le champ de l'emploi
- Autre

7. Si la réponse est « NON » aux questions 1 et 2, le non-usage de l'IA provient-il :

- D'une absence de nécessité scientifique/technique dans les projets de recherche de votre laboratoire
- D'une méconnaissance/absence d'expertise dans le domaine
- D'une méfiance du domaine
- Autre

Dans tous les cas, poser la question 8.

8. Lorsqu'une compétence spécifique en IA est recherchée, où vos chercheurs s'adressent-ils ?
(au sein du labo, au sein de votre pôle universitaire, auprès de centres experts) ?

- A un collègue au sein du laboratoire
- Au sein du pôle universitaire
- A des réseaux d'experts
- Autre

9. Avez-vous des remarques à ajouter



Annexe 4 : Relevé de notes de l'atelier IA à la journée 2021 des Directeurs d'Unités INSIS

TIMOTHÉ GODOU 09 MARS 2021 13H13

- Les GDR sont très bien, mais souvent génériques ou a minima large spectre
- Besoin d'outils d'animation d'un domaine plus focalisés thématiquement, avec des outils où il serait possible de construire des projets ciblés avec des partenaires de différentes disciplines (évoquant de réseaux thématiques interdisciplinaires tels qu'ils existaient dans les années 2000, disparus en 2010 ;
- Moyens financiers pour faire des réunions régulières sur un sujet focaliser, pendant 3 à 4 ans ; sorte de super PEPS)
- Nécessité d'avoir un environnement capable de rassembler les compétences de l'ensemble d'une chaîne de valeurs d'un sujet IA-connexes (ex. l'IA basse consommation, architectures matérielles)
- Les instituts 3IA sont ressentis comme des initiatives trop locales géographiquement et scientifiquement (pas assez d'ouverture nationale et thématique par rapport aux sujets INSIS)
- Mettre en place des écoles thématiques proposant des formations en IA sur plusieurs niveaux
- Besoin d'une stratégie pour former aussi les étudiants à l'IA (écoles d'été)
- Recherche fortement interdisciplinaire
- Besoins en formation, sur les compétences IA, pour les chercheurs INSIS
- Manque d'étudiants aux profils adaptés - Sentiment de cloisonnement entre "IA Informatique" vs. "Thématiques INSIS liées à l'IA"
- Constat souvent du désintérêt des informaticiens pour les domaines d'utilisation ou d'exploration de l'IA autres que le développement d'algorithmes

Outils institutionnels pour animer les recherches à l'interface IA - « Autres »

Caractéristiques ressenties communes

- capteurs distribués, collecte et analyse des données
- contrainte de calcul temps-réel sur un nombre réduit de données
- données massives, base de données à exploiter, résultats expérimentaux très massifs
- aide à la conception de systèmes complexes
- développement de processeurs dédiés (photonique, intégration 3D, mémoires non-volatiles)
- Outils de l'IA dans la combinaison entre modèles physiques, modèles virtuels, et données
- IA pour la synthèse / conception de nouveaux matériaux (pas seulement boîte noire, apport aussi de nouvelles approches de la recherche en matériaux grâce à l'IA, nouvelles manières de travailler sur la base des sorties de l'IA)
- Traitement du signal via de l'IA (ondes gravitationnelles, transformation / analyse de signaux complexes), identification de systèmes dynamiques complexes
- Réduction de modèles
- Robotique, analyse et interprétation de l'environnement
- Compréhension des systèmes multi-physiques faiblement contrôlé / instrumentés
- Prédiction d'événements complexes / rares, avec de faibles données
- ...

Nombreuses approches liées à l'IA dans les unités INSIS

Plateformes collaboratives

Besoin d'associer des acteurs à tous les niveaux de la chaîne de valeur (technologies, architectures, logiciel, applications ...)

Interdisciplinarité

Besoin d'instruments favorisant l'émergence de groupes interdisciplinaires / inter-instituts

Technologies émergentes

Photonique
Intégration 3D
Mémoires non-volatils

Paradigmes

Calcul approximatif
Calcul neuromorphique

Besoins en formation

- Spécialisé
- "Culturelle" pour accrocher des non-spécialistes aux différentes techniques

Aide à la conception de systèmes complexes, incertains, time-variant, multiphysique ...

Approche hybride - combinaison avec modèles, outils existants

Support matériel IA

Enjeux : données massives et partielles, nombre de paramètres, DNN, coût énergétique + environnemental

Capteurs + IA

"Edge" AI, IA distribuée
Systèmes critiques,
Contraintes temps-réel