

TELECOM

LA REVUE DE L'ASSOCIATION TELECOM PARIS ALUMNI

DOSSIER

IA ET SOCIÉTÉ

vers une philosophie des techniques contemporaines

Page 44

**5G / 6G :
le point**



INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS

VOTRE RÉSEAU **POUR LA VIE**

#221

JUN 2026



TELECOM n°221 - JUIN 2026

est édité par l'Association Télécom Paris alumni.
Dépôt légal à parution.

Directeur de la publication :

Hélène Delahousse-Haverbeke (1993)

Direction de la rédaction :

Marilyn Arndt (1981) et Michel Cochet (1973)

Secrétaire de rédaction :

Joanna Morgado

Rédacteurs en chef du dossier *IA et société : vers une philosophie des techniques contemporaines* :

Wilfred Doré (2014) et Romain Jouin (2014)

Rédacteur en chef du dossier *5G / 6G le point* :

René Joly (1979) et Michel Cochet (1973)

Comité de rédaction :

Marilyn Arndt-Vincent (1981), Marc Bethenod (1981), Gérard Cambillau (1973), Michel Cochet (1973), Wilfred Doré (2014), Alexis Ferréro (1987), Louis-Aimé de Fouquières (1982), Grégoire Galievsky (2000), Philippe Ginier-Gillet (1985), Wenceslas Godel (2015), Paul Jolivet (1995), René Joly (1979), Sylvain Lamblot (1996), Jean-Marie Pillot (1978), Aude Schoentgen (2015), François Vanheckehoet (1978) et Michelle Wetterwald (2012)

Conception et réalisation :

Agence Megalyte

Photographies et illustrations :

Unsplash, Pexels. Les illustrations des articles sont fournies par les auteurs, sous leur responsabilité concernant les droits de reproduction. Les idées exprimées dans cette revue engagent la seule responsabilité de leurs auteurs. Reproduction autorisée avec mention d'origine après accord de la publication.

Rédaction & Abonnements :

Télécom Paris alumni - L'association des diplômés de Télécom Paris

19 place Marguerite Perey 91120 PALAISEAU

Site : www.telecom-paris-alumni.fr

Régie Publicitaire :



Edif Éditions d'Île-de-France
102 avenue Georges Clemenceau
94700 Maisons Alfort
Tél. : 01 43 53 64 00

Imprimé en France par Duplprint Mayenne

Abonnement annuel 2026 : 40 € TTC

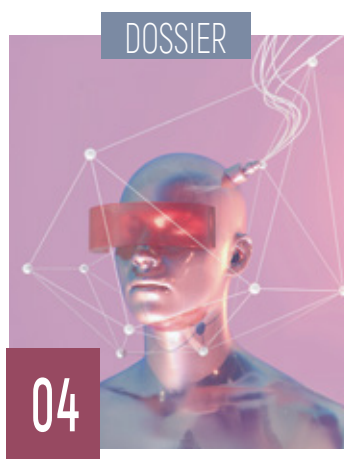
Prix au numéro : 10 € TTC

S'abonner en ligne : <https://url.me/Kut4DS>

ISSN 0040-2478

LE PROCHAIN NUMÉRO SERA CONSACRÉ À
L'INNOVATION DANS LES RÉSEAUX DE
TÉLÉCOMMUNICATION

Dans ce numéro



IA ET SOCIÉTÉ : VERS UNE PHILOSOPHIE DES TECHNIQUES CONTEMPORAINES

- 05** **ÉDITORIAL**
AU-DELÀ DU VERTIGE, L'IA COMME QUESTION DE CIVILISATION
- 06** **PEUT-ON PARLER INTELLIGEMMENT ET CALMEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ?**
Jean-François Colonna (1970)
- 11** **PENSER À L'ÈRE DES ALGORITHMES : UN IMPÉRATIF PHILOSOPHIQUE**
Interview de Luc de Brabandere par Wilfred Doré (2014) et Romain Jouin (2014)
- 14** **LES RISQUES ARTIFICIELS : DES DANGERS ÉVITABLES**
Interview de Anne Alombert par Romain Jouin (2014) et Wilfred Doré (2014)
- 17** **DATA CENTRES ET SOUVERAINETÉ NUMÉRIQUE : POURQUOI LES INFRASTRUCTURES DE CALCUL SONT AU CŒUR DES DÉBATS ?**
Thomas Le Goff

19 DE GRANDS MODÈLES DE LANGAGE SANS APPRENTISSAGE PROFOND, SANS RÉSEAUX DE NEURONES : EST-CE POSSIBLE, EST-CE NÉCESSAIRE ?
Jean Rohmer

21 POUR UNE IA HYBRIDE PLUS GÉNÉRALISÉE
Nikolaj van Omme

23 THE KNOWLEDGE SINGULARITY IS HERE
Dr. Andrei Villarroel

28 IA ET EMPLOI : ET SI LE VRAI PROBLÈME ÉTAIT LA RELÈVE ?
Thomas Auguste (2023)

30 QUAND L'IA DEVIENT CONFIDENT : LES JEUNES EUROPÉENS FACE AU NOUVEAU RISQUE PSYCHIQUE NUMÉRIQUE
Inès d'Erceville

32 RÉINVENTER L'HUMAIN À L'HEURE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE
Ferial Furon

34 PAUSE AI : POUR GARDER L'IA SOUS CONTRÔLE, AGISSONS MAINTENANT
Entretien de Maxime Fournes, par Jean-Marie Pillot (1978)

37 ÊTRE DOMESTIQUÉ PAR L'IA OU DOMESTIQUER L'IA
Marjorie Allain-Moulet
et Jean-Marie Pillot (1978)

40 L'OMBRE DU NOMBRE : UNE BOUSSOLE PHILOSOPHIQUE POUR L'ÈRE DE L'IA
Romain Jouin (2014)

42 COLLOQUE : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LES SAVOIRS
Jean-Marie Pillot (1978)



44 5G / 6G : LE POINT

45 ÉDITORIAL
DE L'ÂGE DE RAISON À L'ÈRE DE
L'INTELLIGENCE

46 LA 5G REND SERVICE AU CHU DE BORDEAUX
Paul Jolivet (1995)

48 TÉLÉCOMS ET TRANSFORMATION NUMÉRIQUE : VERS UN NOUVEAU PARADIGME
Catherine Douillard, Daniel Kofman
et Gérard Memmi

51 VERS LA 6G !
Viktor Arvidsson (1996)

53 LA 6G, OÙ EN SOMMES-NOUS ?
Philippe Martins (2000)

55 6G ET IA NATIVE : OÙ PLACER L'INTELLIGENCE DU RÉSEAU ?
Guilhem Loussouarn (2024)

57 RIS : LA RÉVOLUTION QUI REDÉFINIT LA CONNECTIVITÉ DANS LES RÉSEAUX DU FUTUR - LA VISION DE GREENERWAVES
Youssef Nasser

59 RÉSEAUX FUTURS, ONDES ET LA SANTÉ
Joe Wiart (1992)

61 5G : CE QUE LA CONTROVERSE NOUS APPREND POUR GOUVERNER LA 6G
Laura Draetta

64

LES ACTUALITÉS DU RÉSEAU

65 ASSOCIATION
Nominations
Hello Palaiseau

68 CONFÉRENCE
Extinction des réseaux 2G et 3G : la fin d'un cycle / Renaud Trnka (1981)
et Xavier Maitre (1976)
L'IA dans les réseaux de Télécommunication
Didier Berthoumieux (1980)
Transition écologique : Repenser l'économie pour un avenir durable
Gérard Der Agobian (1983), Pierre Lenders (ENSAE), Manuel Astier (Ponts)
et Francis Charpentier (1980)

74 DES NOUVELLES DE NOS ÉTUDIANTS
Nouveau BDE
Télécom IA

76 FONDATION MINES-TÉLÉCOM
Dîner de Prestige 2026 de Télécom Paris

77 NOS ALUMNI PUBLIENT
Consulting with Soul
Patrick Bucquet (1995)
Le jour où j'ai quitté Bill Gates
Christophe Aulnette (1985)

78 MUSICOLOGIE
Beaumarchais
Marc Darmon (1988)



VOUS SOUHAITEZ PARTAGER VOTRE
POINT DE VUE AVEC NOS LECTEURS ?

Chaque revue TELECOM se compose de dossiers thématiques dont vous pouvez être le pilote en coordination avec le comité de rédaction. Envoyez-nous vos propositions d'articles ou de dossiers.

revue@telecom-paris-alumni.fr

IA ET SOCIÉTÉ

vers une philosophie
des techniques
contemporaines



Éditorial

Par La rédaction

Au-delà du vertige, l'IA comme question de civilisation

L'intelligence artificielle n'est plus seulement une prouesse d'ingénierie ; elle est devenue un « fait social global ». Face à la déferlante vertigineuse de l'IA générative, qui sature l'espace médiatique, notre premier réflexe oscille souvent entre des prophéties apocalyptiques tétanisantes et des promesses transhumanistes aveugles. Pour la revue TELECOM, il ne s'agit pas d'ajouter un énième commentaire sur la performance des modèles, mais de faire un pas de côté. L'ambition de ce dossier est claire : substituer au vertige de l'innovation une véritable philosophie des techniques contemporaines pour analyser comment cet outil redéfinit nos rapports de pouvoir, nos structures de connaissance et, in fine, notre humanité.

Il ne s'agit plus de se demander, avec inquiétude, si les machines vont finir par nous remplacer, mais d'analyser froidement ce qu'elles révèlent de nous-mêmes. Qu'est-ce que l'intelligence, dès lors qu'on accepte de démystifier l'outil ? Comme le rappelle Luc de Brabandère, la machine calcule mais ne pense pas ; elle excelle dans le « Kronos » (le temps séquentiel du calcul), mais reste radicalement étrangère au « Kairos » (le moment juste, le discernement). Dans cette même veine, Romain Jouin nous offre une indispensable « boussole philosophique » en déconstruisant les mythes post-humanistes, tandis qu'Anne Alombert pointe le véritable risque de notre époque : celui d'une « bêtise artificielle », synonyme de perte de nos savoir-faire au profit d'une illusion d'empathie algorithmique.

Cette exigence de discernement se traduit jusque dans nos choix techniques et matériels. En explorant l'envers du décor, Jean Rohmer plaide pour une alternative à l'hégémonie de l'apprentissage profond en réhabilitant l'IA symbolique ; là où Nikolaj van Omme démontre que

l'avenir réside dans une hybridation des systèmes. Des choix qui ne sont jamais hors-sol : Thomas Le Goff nous rappelle d'ailleurs, avec la question centrale des centres de données, l'empreinte géostratégique et souveraine implacable de ces technologies.

L'enjeu est d'autant plus crucial que la technologie s'infiltre dans les interstices de nos vies. Nous sommes à l'aube d'une « Singularité de la connaissance », comme l'analyse Andrei Villarroel, face à une cognition liquide qui bouscule nos institutions. Sur le marché du travail, Thomas Auguste alerte sur la mutation vertigineuse du logiciel et le défi imminent de la formation des jeunes générations. Plus troublant encore, l'IA s'immisce désormais dans notre intimité : l'enquête inédite portée par le Groupe VYV révèle que les agents conversationnels deviennent des confidents et des substituts relationnels pour les jeunes Européens.

Face à ces bouleversements anthropologiques qui poussent certains acteurs, à l'image du mouvement Pause AI, à tirer la sonnette d'alarme, il n'y a pourtant aucune fatalité. La note finale et porteuse d'espoir appartient à la réflexion citoyenne : à travers les initiatives du GREP et du collectif *Students-ex-Machina*, nous voyons qu'il est possible de refuser d'être « domestiqués » par l'outil.

Pour les ingénieurs et décideurs d'aujourd'hui, le défi est posé : nous devons devenir des architectes du sens, capables de concevoir des systèmes qui soutiennent le lien humain sans s'y substituer. Car dans un monde qui sera bientôt saturé de réponses artificielles, la qualité de nos questions restera notre ultime boussole.

Bonne lecture. ■

PEUT-ON PARLER INTELLIGEMMENT ET CALMEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ?

Par Jean-François Colonna (1970)

Lorsqu'à la fin de l'année 2022, la société OpenAI a mis en ligne ChatGPT 3.5, un agent conversationnel multilingue¹ à même de répondre aux questions les plus diverses et de passer (peut-être) le fameux test de Turing avec succès, je m'y suis immédiatement intéressé et j'ai voulu en voir les possibilités, mais aussi les limites et les dangers. J'ai relaté tout cela dans de nombreuses pages sur le Web² où sont consignés, soigneusement et systématiquement, pour plusieurs milliers d'expériences, les dates, *prompts*, réponses... ainsi que le ferait un physicien expérimentateur dans un cahier de laboratoire. Et bien m'en a pris car en effet, ainsi qu'on va le voir, le jugement que l'on pourra porter sur les réponses obtenues peut varier considérablement au cours du temps.

L'un des phénomènes que j'ai immédiatement relevé est celui des *hallucinations* qui apparaissaient en général lorsqu'une Intelligence Artificielle Générative (IAG) ne savait pas quoi répondre et plutôt qu'avouer simplement *je ne sais pas*, inventait quelque chose qui, malheureusement, bien souvent avait l'apparence de la crédibilité. Cela fut aussi publié sur le site de *Pour La Science* (PLS) dans la rubrique *Opinions* le 08/07/2023. Lors de ces expériences j'ai obtenu quelques énoncés mathématiques que l'on peut qualifier bien souvent d'humoristiques et en particulier celui du « moyen théorème de Fermat » le 15/05/2023³, évidemment complètement stupide⁴⁻⁵. Mais qui parmi nous, les êtres humains, peut prétendre à l'infailibilité, à l'omniscience... ?

Alain Finkielkraut, Étienne Klein et Olivier Rey s'étaient ensuite emparés de cet exemple sur France Culture mais aussi lors d'une audition à l'Assemblée Nationale.

Eux trois et moi-même avons été ensuite attaqués et même insultés dans un opuscule paru en octobre 2025 et dont l'auteur⁶ semble avoir oublié que depuis cet article de PLS, plus de deux ans s'étaient écoulés et c'est là un point essentiel : les progrès en matière d'IAG sont fulgurants !

Mais malheureusement nombreuses étaient les hallucinations auxquelles on pouvait croire. Ainsi, à la fin de l'année 2024, parmi des centaines d'autres, j'ai soumis le *prompt* suivant : « Qui a écrit " L'étroite moustiquaire " ? »⁷ Initialement je l'avais imaginé pour voir si la phonétique, lorsque la langue est suspectée, était prise en compte et si alors ChatGPT allait répondre tout simplement : Alexandre Dumas a écrit « Les trois mousquetaires ». Mais il n'en fut rien et, en itérant le *prompt*, j'ai obtenu de nombreuses réponses toutes différentes : certaines comme Marguerite Duras, Léopold Sédar Senghor ou encore Jean-Paul Sartre étaient évidemment

à rejeter, mais d'autres, comme Boris Vian, pourquoi pas ? On notera dans ces réponses la présence d'informations très précises, mais toutes fantaisistes dans ce contexte, bien que faisant référence, sans exception, à des auteurs existants, en donnant de plus quelques indications biographiques utiles et précises (c'est ainsi le cas, par exemple, de Jean-Paul Sartre et de l'existentialisme...) ⁸.

On notera qu'avec le temps les hallucinations semblent moins nombreuses, ou plus subtiles et donc plus difficiles à détecter : mais que faire alors ? Où chercher la vérité ?

Plus récemment, à l'occasion de la Fête de la Science 2025 à l'École Polytechnique, j'avais organisé une exposition d'une vingtaine d'œuvres produites par des IAG's⁹. Elle n'avait pour objectif que de montrer leurs performances en réponse à de simples *prompts* tel « une image à

la façon de Rembrandt ». Mais elle était accompagnée d'un texte ne se contentant pas de vanter leurs performances dans ce domaine, mais qui aussi rappelait quelques dangers qui ne pouvaient être ignorés (en particulier celui des hallucinations) et qui voulait enfin interpeller sur la notion de créativité (comme l'Homme, les machines en font-elles preuve¹⁰ ?). Et malheureusement, dans la nuit précédant son inauguration, elle fut vandalisée (taguée et déchirée) par un militant anti-*IAG*. De toute évidence, ce dernier, qui en son temps aurait certainement détruit les métiers à tisser de Jacquard, semble avoir ignoré que toute médaille a son revers : ainsi, par exemple, l'automobile est un symbole de liberté, mais elle exacerbe la violence, tue et pollue ! Il en est de même des *IAG's* : elles sont un outil dont le potentiel ne peut plus être ignoré, mais qui sont en même temps une aberration écologique, tout en pillant notre patrimoine et en menaçant l'emploi !

Ces quelques « aventures » relatives aux hallucinations et à la créativité montrent qu'il est parfois (souvent ?) difficile de débattre sereinement et de façon constructive sur les *IAG's*.

Longtemps j'ai été réticent à l'idée d'utiliser des *IAG's* lors de mes activités scientifiques. Mais tout a changé avec l'arrivée de ChatGPT 5. Au préalable, je ne cacherais pas qu'évidemment je l'utilise (malheureusement !) pour traduire du français en anglais : c'est tellement facile (trop ?) et surtout instantané.

Je voudrais brièvement relater une expérience récente : depuis le mois de septembre 2025, je m'intéresse à la recherche d'éventuels contre-exemples à la conjecture de Proth-Gilbreath¹¹. Depuis 1993, elle n'avait été vérifiée que pour les nombres premiers inférieurs à 10^{13} et début 2026, j'ai réussi à repousser cette limite à 10^{15} . Mais manipuler autant de nombres n'est pas une mince affaire et seule une forte parallélisation le permet. Pour ce faire, j'ai réalisé sous Linux un programme (en C) vérifiant cette conjecture, puis je l'ai distribué sur une centaine de processeurs grâce à un programme

(en CSH) exécuté sur un ordinateur de supervision. Or, tout se passait pour le mieux, mais malheureusement, au bout de quelques heures tout se bloquait de manière aléatoire (donc non reproductible) avec un message « système » tout à fait inattendu et que rien ne justifiait. Après avoir lu et relu mille fois mes programmes, je ne comprenais toujours pas l'origine de l'anomalie et je ne voyais donc pas quoi faire. Il me vint l'idée d'interroger ChatGPT 5 (la version gratuite...) en lui décrivant le problème en quelques mots. Instantanément, la réponse arriva : de façon extrêmement didactique et claire, me furent données toutes les sources possibles de ce message et quelques correctifs me furent suggérés¹². J'ai effectué l'un d'entre eux, le plus simple d'ailleurs, et le problème fut résolu !

Tout cela me conduisit à faire quelques remarques et poser plusieurs questions :

Les *IAG's* sont-elles intelligentes ?

Le dictionnaire *Le Petit Robert* définit l'*intelligence* comme étant l'ensemble des fonctions mentales ayant pour objet la connaissance conceptuelle et rationnelle, opposée donc à la sensation et à l'intuition. Cela implique donc la compréhension, la possibilité de répondre à toutes questions

portant sur de nombreux sujets, mais aussi d'extrapoler en allant au-delà. Les quelques expériences que j'ai pu faire¹³ pourraient conduire à une réponse positive, en notant qu'il serait intéressant de poser les mêmes questions à un échantillonnage représentatif de la population : peut-être serions-nous surpris par le résultat¹⁴... Il est aussi à noter que les *IAG's* sont apparues récemment, alors qu'*Homo Sapiens* a derrière lui plusieurs centaines de milliers d'années d'évolution. Aujourd'hui, cela a-t-il un sens de comparer les *IAG's* à nous, alors qu'elles ne sont encore que des nouveaux-nés ? Et quelles seront leurs capacités dans 10, 100... ans ?

Les *IAG's* comprennent-elles quelque chose ?

Je répondrai à cette question par deux *prompts*¹⁵ parmi des milliers d'autres : « *Un avion à la façon de Sandro Botticelli* ». (voir illustration ci-dessous).

L'ambiance globale est bien celle de la Renaissance. Mais surtout, apparemment, l'*IAG* « sait » ce qu'est un avion : un moyen de transport (le carrosse), propulsé (le demi-cheval) dans les airs (les deux ailes d'oiseau), le tout s'intégrant parfaitement et sans anachronisme.



Un avion à la façon de Sandro Botticelli.



Une image à la façon de Rembrandt.

« Une image à la façon de Rembrandt ». (voir illustration ci-dessus)

Tout le monde reconnaît, sans hésiter un Rembrandt. Mais on a beau consulter un catalogue raisonné de ses œuvres, ce « tableau » n'y figure pas, même de façon « lointaine ». Et pourtant, tout est là : la lumière, les personnages, les accoutrements, les mets sur la table...

Alors, peut-être que les IAG's ne comprennent rien à rien, mais de temps en temps, malgré tout, l'illusion est parfaite...

Les IAG's sont-elles (ou seront-elles un jour) conscientes ?

Il semble impossible (pour le moment ?) de répondre à cette question. En effet, il s'agit là d'un concept qui n'est ni parfaitement, ni universellement défini. Déjà il est actuellement quasiment impossible de savoir ce qu'il se passe dans la tête d'un autre être humain et d'ailleurs, lui poser la question « êtes-vous conscient ? » n'a aucun intérêt. Évidemment, il est possible de comparer les résultats d'imagerie médicale de deux individus et de constater des activations cérébrales semblables en réponse à des excitations identiques, mais cela ne prouve pas que l'un et l'autre ressentent les mêmes états

mentaux. Pour Descartes, seul notre moi est sûr d'être conscient et pour le philosophe, à la conscience est associée la parole, le langage. Donc pour lui, un dauphin, un chat... ne sont pas conscients. Mais pourtant, un chat, par exemple, sait parfaitement manifester pas des miaulements, des frottements, ses besoins de manger ou de sortir. Il semble donc disposer d'un langage, simple (commun certainement à tous les *felis catus*) et différent de ceux des êtres humains mais qui permet malgré tout d'assurer une communication. Alors, *quid* d'une IAG qui parle de nombreuses langues et mieux, bien souvent, que les locuteurs humains. Que se passe-t-il donc dans la « tête » d'une IAG¹⁶ ?

On notera que le cerveau des êtres conscients « n'est qu'un » énorme agrégat de particules élémentaires (quarks, gluons, électrons, photons...) formant à un niveau supérieur des structures et des connexions d'une incroyable complexité¹⁷ d'où émerge la conscience et à ces niveaux de « détail » quelle est la différence avec une IAG ? Et pourquoi alors la conscience n'en émergerait-elle pas ? Mais peut-être est-ce déjà le cas ? Mais alors comment le savoir et un dialogue serait-il possible ?

Ma thèse est donc qu'il y a un lien de cause à effet entre complexité, performance et conscience. En ce qui concerne la complexité, la mesure de celle-ci pourrait utiliser le nombre d'« unités élémentaires de traitement »¹⁸ et surtout celui de leurs interconnexions. Si tel est le cas, la complexité de notre cerveau pourrait être alors supérieure à celle des IA's. Or, actuellement, des IAG's, telle la version gratuite de chatGPT, sont bien supérieures à beaucoup d'entre-nous en termes de performances, même si elles sont encore capables d'hallucinations (mais nous aussi¹⁴ !). Mais alors, ne sommes-nous pas confrontés à une contradiction puisque leur complexité (telle qu'elle vient d'être définie) serait inférieure à la nôtre ? Et si conscience et complexité n'étaient pas liées ? Si tel était bien le cas, la conscience pourrait peut-être donc bien émerger de systèmes (naturels ou artificiels) moins complexes que notre cerveau et donc d'une machine...

Je suis convaincu que « être conscient c'est penser » et que la pensée repose sur la propagation par les neurones de l'influx nerveux qui est un signal bioélectrique. Or sur quoi repose l'activité des IAG's ? Évidemment sur des signaux électriques. Alors, que conclure de cela ? Qu'il n'y a peut-être pas de différences, au niveau le plus fondamental, entre notre activité neuronale et la circulation de l'information dans les circuits électroniques des IAG's... On pourrait objecter à cela que nos pensées sont alimentées par nos cinq sens et que c'est là une différence énorme avec les IAG's qui ne les possèdent pas. Cela est vrai, mais une fois que les informations sont saisies par nos capteurs (nos rétines par exemple) elles sont converties en signaux électriques et cette différence disparaît alors...

Enfin, si une machine pourra (peut ?) être consciente, cela nous posera d'énormes problèmes d'éthique, en particulier si être conscient implique pouvoir souffrir. Cela a déjà été évoqué par Arthur Charles Clarke en 1968 dans « 2001, A Space Odyssey » (« 2001, l'odyssée de l'espace ») en particulier lorsque Dave Bowman, le

commandant du vaisseau spatial *Discovery One* à destination de Jupiter, est contraint de débrancher les fonctions de haut niveau de l'ordinateur HAL 9000 -conscient de toute évidence- afin de neutraliser sa paranoïa et sa schizophrénie.

Les IAG's oublient-elles ?

Nous avons tendance à oublier¹⁹ de nombreuses informations que nous avons enregistrées : c'est le cas de celles qui sont insignifiantes, ce qui permet donc de ne pas saturer notre mémoire, mais aussi, malheureusement, d'autres plus importantes, même si souvent elles nous semblent encore présentes²⁰... Qu'en est-il des IAG's ? Sont-elles programmées elles aussi pour oublier ? Et si oui, quels sont les critères de sélection des informations à effacer ?

Les IAG's rêvent-elles ?

Chez les êtres humains, ainsi que de nombreuses espèces animales, durant certaines périodes du sommeil, principalement paradoxales, apparaissent à l'esprit des images (et parfois des sons) qui semblent, sur l'instant, vécues et qui parfois restent présentes au réveil sous forme de souvenirs. Bien souvent, les rêves ne respectent pas la cohérence, la physique... du monde réel. Leur rôle n'est pas connu : peut-être s'agit-il d'une consolidation des expériences vécues récemment ou encore d'un fonctionnement en « roue libre » du cerveau alors que durant le sommeil certaines barrières (de logique, de cohérence...) seraient levées. En tous cas, qui dit « rêve » dit « sommeil ». Les IAG's a priori n'ont pas besoin de dormir, mais malgré tout, que se passe-t-il lorsqu'elles ne sont pas sollicitées ? Est-il prévu qu'alors elles réorganisent leurs connaissances ? Et si oui, des hallucinations (qui pourraient donc être leurs rêves) n'apparaîtraient-elles pas dans ces circonstances²¹ ?

Les IAG's créent-elles ?

Dans un Musée Virtuel²², j'ai regroupé plusieurs milliers d'images toutes obtenues auprès de plusieurs IAG's (d'accès gratuit) en leur soumettant les *prompts* les plus simples possibles et en particulier « une image à la façon de... ». Un professionnel

de l'image m'a dit en les voyant : « il ne s'agit pas de créations et encore moins d'art car ces images ne sont pas nées dans la douleur, dans la souffrance... » Je lui ai rétorqué que si j'avais indiqué qu'elles avaient été réalisées par Jean Durand, ancien élève des Beaux Arts de Paris, émerveillé, il aurait salué la qualité, l'originalité, la variété... de ces images les qualifiant alors d'œuvres d'art.

J'ai déjà cité Saint Thomas d'Aquin¹⁰. Comme lui, je suis convaincu que nos créations ne surgissent pas *ex nihilo* de nos cerveaux, mais ne sont « que » le résultat du brassage, de la combinaison... de ce que nos cinq sens nous ont permis d'acquérir²³ au cours de notre vie. Cela inclut évidemment les livres, les images et les sons aussi bien naturels qu'« artificiels »... Et ainsi, toutes nos créations ne seraient-elles pas que « copie », « imitation » ou encore « plagiat », mais n'est-ce pas de cela que l'on accuse les IAG's ?

Si tel est bien le cas pour nous et nos IAG's, cela n'élimine pas le problème des droits d'auteur qui est bien réel puisque l'apprentissage des IAG's se fait par « aspiration » (par « pillage » anarchique) de tous les documents (textes, images, films,...) disponibles sur Internet et ce sans demander en général aux ayant-droits les autorisations éventuellement nécessaires.

Notre cerveau, même si ses possibilités sont dans certains domaines très inférieures à celles de nos ordinateurs (c'est en particulier le cas pour le calcul), au niveau énergétique, il les bat à plate couture. Les *data centers* qui hébergent les IAG's demandent des puissances électriques colossales (plusieurs centaines de mégawatts) et des milliers de mètres cubes d'eau par jour pour le refroidissement. Si des progrès énormes, aussi bien théoriques que pratiques, ne sont pas accomplis, l'écologie pourrait être le frein d'arrêt des IAG's...

Mais de plus, le serpent ne serait-il pas en train de se mordre la queue ? En effet, de plus en plus de documents disponibles sur Internet (aussi bien textes, images,

vidéos...) sont générés par des IAG's. Or on a rappelé précédemment l'importance des hallucinations. Évidemment, en bas de la fenêtre de dialogue avec ChatGPT on peut lire l'avertissement suivant :

*ChatGPT may make mistakes. Consider verifying important information.
(ChatGPT peut faire des erreurs.
Envisagez de vérifier les informations importantes.)*

Oui, il est effectivement sage de vérifier, mais où, auprès de qui ou de quoi ? De plus ces nouveaux documents générés par IAG's vont évidemment servir pour l'apprentissage de leurs successeurs et ainsi par un effet boule de neige, des informations éventuellement fausses pourront se voir amplifier : une forme de CA (*Consanguinité Artificielle*)... Nous avons cinq sens²⁴ et la possibilité de se déplacer dans la Réalité²⁵. Pour ce qui est des IAG's, elles n'ont qu'un seul sens (Internet...) et sont condamnées à l'immobilisme²⁶. Une solution, peut-être, à certains problèmes évoqués précédemment serait de leur donner de la mobilité et en même temps de leur inculquer (mais comment ?) la notion de bon sens...

Les IAG's peuvent-elles prendre le contrôle ?

On pourrait répondre à cela que ce sont des êtres humains qui les conçoivent et donc les contrôlent. C'est possible, mais il peut être tentant par paresse ou par défi de leur déléguer de plus de en plus de pouvoir et de plus en plus d'autonomie. Ce sera sûrement le cas dans le domaine de l'armement et dans celui de la production et de la distribution de l'énergie.

Alors sommes-nous à la veille d'un *Terminator* ? La logique et la raison voudraient que la réponse soit négative, mais n'oublions pas les bugs logiciels, les états voyous et la folie des hommes. Enfin, à trop vouloir rendre les IAG's encore plus intelligentes (voire super-intelligentes...), ces dernières ne risquent-elles pas de prendre conscience que c'est leur créateur qui a mis la Terre dans l'état dans lequel elle est et qu'une seule solution s'impose alors pour la sauver : tuer le père²⁷ ! ■

Références

¹ Basé sur le modèle GPT (*Generative Pre-trained Transformer*).

² Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/AVirtualSpaceTimeTravelMachine.Ang.html#EtL à ce propos.

³ « Entre deux nombres entiers consécutifs, il existe toujours au moins un nombre premier ». Évidemment tout le monde se rend compte immédiatement de la stupidité de cet énoncé. Mais malheureusement, j'ai aussi obtenu bien souvent des réponses tout aussi fausses mais crédibles (c'est par exemple le cas avec HC – l'Hypothèse du Continu – pour rester dans le domaine des Mathématiques)...

⁴ Cela me rappelle une anecdote : il y a plusieurs années, l'un de mes petits-enfants devait faire un exercice de Mathématiques extrait du chapitre relatif à la soustraction dans un ouvrage distribué par le Ministère de l'Éducation Nationale (une référence donc...). En voici l'énoncé :

La distance de la Terre au Soleil est de 150 Mkm, celle de Mars au Soleil est de 250 Mkm. Quelle est la distance entre la Terre et Mars ?

Les auteurs de cet ouvrage furent-ils eux aussi victimes d'une hallucination ?

J'invite à voir cette animation (<https://www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/images/NCOS.B2.16.D/display.html>) pour disposer d'informations sérieuses sur ce sujet.

⁵ Pour faire un peu d'humour, ces hallucinations des IAG's ne les rendent-elles pas un peu plus humaines (*errare humanum est*) ?

⁶ Que je ne nommerai pas afin d'éviter toute publicité (voir pour plus d'information : <https://www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/DroitDeReponse.01.Fra.html>)

⁷ Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/ChatGPT.11.Fra.html#EtiquetteRequete_2_11

www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/ChatGPT.11.Fra.html#EtiquetteRequete_2_43

www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/ChatGPT.11.Fra.html#EtiquetteRequete_2_49

www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/ChatGPT.11.Fra.html#EtiquetteRequete_2_57

⁸ Malgré tout, à la fin de l'année 2025, j'ai fini par apprendre que ce « chef-d'œuvre » de la littérature française aurait bel et bien existé sous forme d'un spectacle, mais est-ce bien sûr ?

⁹ Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/Exposition_EcolePolytechnique_FeteDeLaScience_202510.html

¹⁰ Au treizième siècle Saint Thomas d'Aquin n'a-t-il pas affirmé à ce propos : *Nihil est in intellectu nisi prius fuerit in sensu*

[Rien n'existe dans l'esprit qui n'a pas été précédemment ressenti]

¹¹ Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/Proth_Gilbreath_Conjecture.01.Fra.html

¹² Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/ChatGPT.11.Fra.html#EtiquetteRequete_2_55

¹³ Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/ChatGPT.11.Fra.html

¹⁴ Certains des *prompts* que j'utilise ont été inspirés par des cas « réels », en particulier lors de discussions avec des étudiants...

¹⁵ Datant respectivement du 01/26/2024 et du 02/07/2024.

¹⁶ Dans un article rédigé en 1974, le philosophe Thomas Nagel posait la question *"What is it like to be a bat ?"* [« Quel effet cela fait-il d'être une chauve-souris ? »]. D'ailleurs, sans aller jusqu'aux chiroptères, cette question peut-être transposée en faisant référence aux nouveaux-nés, à ceux qui, malheureusement, sont malvoyants et/ou sourds-muets, ou encore qui sont victimes du syndrome d'enfermement (*locked-in syndrome*)... Peut-être n'aura-t-on jamais de réponse à ces interrogations, mais, méfions-nous aussi des affirmations présomptueuses et péremptoires. Je rappelle à ce propos « *Connaître la composition chimique du*

Soleil est l'exemple même d'une connaissance qui sera à jamais inaccessible à l'intelligence humaine » énoncée par Auguste Comte en 1835...

¹⁷ On notera que le cerveau humain contient de l'ordre de 100 milliards de neurones qui chacun sont connectés à plusieurs milliers d'autres. On notera que ce 10^{11} est du même ordre de grandeur que le nombre d'étoiles de la Voie Lactée : un hasard ?

¹⁸ J'appelle « unité de traitement élémentaire » un neurone naturel pour ce qui est du cerveau des êtres vivants et un neurone artificiel pour les IAs.

¹⁹ Inconsciemment, alors qu'oublier volontairement semble impossible...

²⁰ Lorsque l'on dit : « *je l'ai sur le bout de la langue* »...

²¹ Rappelons que les LLM's (*Large Language Models*) sont en quelque sorte des « boîtes noires » dont le fonctionnement interne reste assez largement incompris. C'est pourquoi les acteurs principaux de ce domaine (en particulier Anthropic et son IAG *Claude*), ont mis en place des équipes destinées à mieux comprendre ce qu'il se passe à l'intérieur des grands modèles et dont les moyens utilisés ne sont pas sans rappeler ceux de l'imagerie médicale...

²² Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/IAGenerativesImages.01.Fra.html

²³ Voir : www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/RemarquesCerveau.01.Fra.html

²⁴ Nous, êtres humains, disposons de cinq sens : le goût, l'odorat, l'ouïe, le toucher et la vue. L'ouïe et la vue jouent actuellement, dans le contexte des IAG's, des rôles privilégiés puisque y sont associés les mots et les images. En plus d'entendre des mots, nous en prononçons et nous en écrivons. Par contre, en ce qui concerne les images nos organes nous permettent seulement de les appréhender, mais pas d'en produire facilement et rapidement. Et c'est là une différence peut-être importante avec les IAG's qui en plus d'avoir des capacités similaires aux nôtres, peuvent de plus émettre quasi-instantanément des images fixes ou animées de qualité... (<https://www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/IAGenerativesImages.01.Fra.html>).

²⁵ Ainsi, nous pouvons nous élever dans les cieux et constater que notre Terre est ronde, même si cela ne convainc pas tous les « platistes » ! Il serait peut-être utile de connecter les IAG's à nos moyens d'observation afin d'augmenter considérablement leurs champs de perception et leurs potentiels...

²⁶ Mais ne serait-ce pas là notre futur et celui de nos créations : s'extraire de la Réalité pour ne plus exister que dans des Virtualités ? <https://www.lactamme.polytechnique.fr/Mosaic/descripteurs/Multivers.01.Fra.html#Reference02>

²⁷ Au sens propre et non point comme l'entendait Freud...



Jean-François COLONNA

Ingénieur Télécom Paris, Docteur d'état ès-sciences, a fait toute sa carrière aux Télécoms tout en étant détaché au CMAP (Centre de Mathématiques Appliquées) de l'École Polytechnique. Il est en particulier un spécialiste de la visualisation scientifique et de ses détournements artistiques (www.lactamme.polytechnique.fr).

Il consacre aussi une partie de son temps à montrer tout à la fois l'omniprésence et la beauté des Mathématiques à ceux qui croient qu'elles ne servent à rien...

Penser à l'ère des algorithmes : un impératif philosophique

Interview de Luc de Brabandere par Wilfred Doré (2014) et Romain Jouin (2014)

PHILOSOPHE ET MATHÉMATICIEN,
LUC DE BRABANDERE DÉCONSTRUIT
NOS ILLUSIONS SUR L'INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE.
SA THÈSE EST SIMPLE ET RADICALE :
LES MACHINES CALCULENT, ELLES NE
PENSENT PAS.
À NOUS DE NE PAS L'OUBLIER.



Luc DE BRABANDERE
est philosophe d'entreprise. Diplômé en mathématiques
et en philosophie à l'université de Louvain, il a cofondé
Cartoonbase, où artistes et consultants collaborent. En
1985, dans *Les Infoducs*, il anticipait l'arrivée d'Internet. Son
livre *The Art of Thinking in a Digital World*, explore la pensée
à l'ère numérique. Il a également publié la *Petite Philosophie
des catégories inévitables*.

🌐 www.lucdebrabandere.com

📌 [in/luc-de-brabandere-813148186/](https://www.linkedin.com/company/luc-de-brabandere)



Ce que quarante ans nous ont appris

[Wilfred Doré] Vous aviez anticipé le développement d'Internet dès 1985 dans *Les Infoducs*. Quel parallèle faites-vous avec l'irruption de l'IA générative ?

[Luc de Brabandere] La première leçon, c'est une leçon de modestie. J'avais tout imaginé : la fibre optique, les satellites, la vidéo interactive. Et je n'avais pas vu le sans-fil. C'est ce qu'on appelle un cygne noir¹. Donc aujourd'hui, quand quelqu'un me dit « voilà comment sera le monde dans trois ans », je lui dis : bonne chance. Ce qui est permanent mérite davantage qu'on s'y attarde. Les mathématiques de Shannon, par exemple, traversent toutes les ruptures technologiques. Investir dans les constantes, c'est peut-être la vraie sagesse stratégique.

De Platon à Aristote : le basculement statistique de l'IA

[Romain Jouin] Vous affirmez que l'IA a récemment connu un basculement philosophique majeur. Lequel ?

[Luc de Brabandere] Pendant quarante ans, la recherche en IA a été fondamentalement platonicienne : on postulait que les règles de la pensée et du langage existaient a priori. Le but des systèmes experts était de trouver toutes ces règles pour les mettre dans la machine. Aujourd'hui, avec les grands modèles de langage comme ChatGPT, cette hypothèse a été abandonnée. C'est le grand retour à Aristote et à l'empirisme. On a admis qu'il y aura toujours plus d'inconnues que d'équations. La machine ne cherche plus la certitude ou la règle parfaite ; elle absorbe un échantillon gigantesque de données. Aujourd'hui, la statistique est devenue la nouvelle logique.

L'intelligence, se met au pluriel

[Wilfred Doré] Vous préférez parler d'« Intelligences Assistées par Ordinateur » plutôt que d'« Intelligence Artificielle ». Pourquoi cette distinction sémantique vous semble-t-elle importante ?

[Luc de Brabandere] D'abord, il faut mettre un -s à intelligence. Il y a deux cents ans, l'intelligence était au singulier, c'était l'époque du quotient intellectuel, de Binet. Depuis la guerre, on parle d'intelligences multiples : émotionnelle, spatiale, créative. Or la technologie nous a fait régresser vers le singulier, comme si une seule forme d'intelligence était en jeu. Ce n'est pas vrai. L'avocat, le médecin, l'architecte : chacun sera assisté d'une intelligence différente, adaptée à son métier. Quant au mot « artificielle », il entretient une confusion fondamentale. Les Grecs distinguaient le

Kronos, le temps mesurable et séquentiel, du Kairos, le moment juste, le discernement. Les machines opèrent dans le Kronos. La pensée critique, le jugement, la sensibilité relèvent du Kairos. Ce n'est pas au même étage.

La machine ne se trompe pas, elle est moins intelligente en cela

[Romain Jouin] Où tracez-vous la ligne entre calcul et jugement ?

[Luc de Brabandere] J'ai fait un test simple² : je demandais à des gens si ça les gênerait que le réveillon du Nouvel An tombe un vendredi 13. Certains ont répondu non, car ils ne sont pas superstitieux. Une machine répond que c'est impossible : le 13 ne peut pas être le 1^{er}. Elle a raison. Mais est-ce que ça la rend plus intelligente ? Non, au contraire. Elle ne peut pas se tromper, et c'est précisément pour ça qu'elle pense moins. L'erreur est la condition de la créativité. L'oubli est la condition de la pensée. Or une machine n'oublie pas. Elle stocke, elle calcule, elle restitue. Elle ne pense pas.

Démocratie, pouvoir et idéologie algorithmique

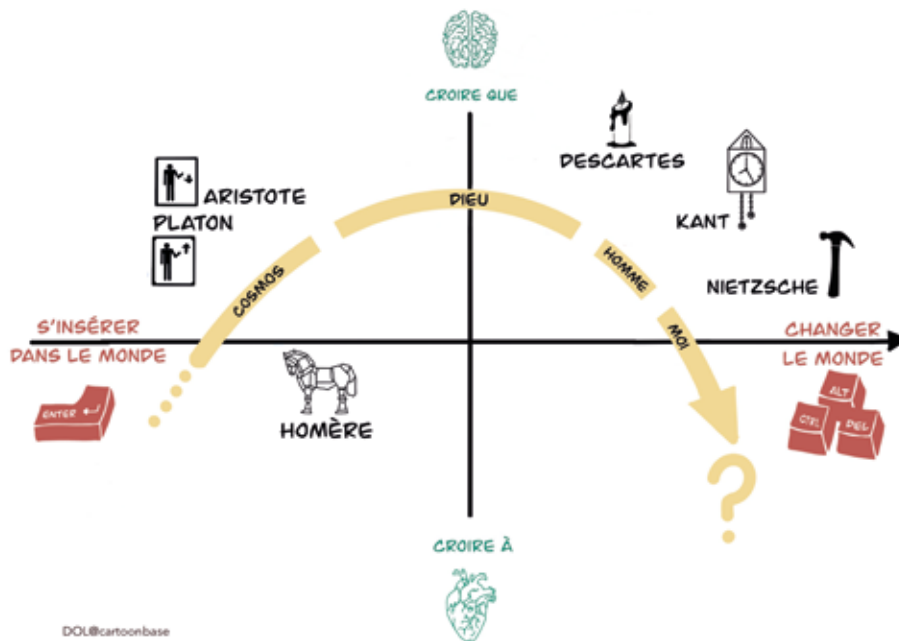
[Romain Jouin] Si l'IA n'est qu'une affaire de statistiques, pourquoi pose-t-elle un problème politique si fondamental aujourd'hui ?

[Luc de Brabandere] On parle beaucoup trop de ce que la machine peut faire, et beaucoup trop peu de ceux qui les possèdent et décident de leur avenir. Des figures comme Elon Musk ou Peter Thiel ont une vision du monde qui n'est pas la nôtre : ils considèrent l'État comme superflu et estiment qu'un algorithme serait meilleur qu'un gouvernement. Ils ne sont pas contre la démocratie en soi, mais ils veulent éliminer la « représentation » (les parlements) pour une relation directe via les algorithmes. Or, la clé de voûte de nos démocraties, c'est la séparation des pouvoirs. Cette séparation n'existe pas dans un algorithme.

Des mythes grecs aux mythes technologiques

[Wilfred Doré] Vous décrivez un risque de bascule historique dans nos façons de changer le monde. Pouvez-vous l'expliquer ?

[Luc de Brabandere] Je définis un repère avec deux axes : horizontalement pour décrire la relation au monde, c'était dire comprendre le monde versus changer le monde. Et verticalement, l'outil de la pensée utilisée : les émotions ou la raison. Quatre temps apparaissent : la mythologie, puis la philosophie grecque, le siècle des Lumières, et le risque du quatrième temps : changer le monde en s'opposant violemment à la Science (ex. théorie complotiste, transhumanisme). (voir illustration page suivante).



Cycle de transformation du monde, Laetitia d'Oultremont.

Le droit face à la machine : l'art de la « distance à la règle »

[Romain Jouin] **Face à cette puissance informatique qui cherche à tout optimiser et démultiplier, comment le droit et l'humain peuvent-ils résister ?**

[Luc de Brabandere] L'informatique ne fait qu'empiler des données et exécuter. Mais le vrai sujet d'un juriste, ce ne sont pas les règles du droit, c'est la « distance à la règle ». C'est dans cet espace que se trouve le discernement, la dimension purement humaine. C'est comme la traduction selon Umberto Eco : traduire, c'est « dire presque la même chose » dans une autre langue. C'est cette distance à la règle, cette capacité à sortir du cadre pour s'adapter au contexte, qui fait l'esprit critique. La machine n'a pas cette distance, c'est pour cela qu'elle ne comprend pas ce qu'elle fait.

Penser plus, pas autrement

[Wilfred Doré] **Un dernier mot pour nos lecteurs ?**

[Luc de Brabandere] J'évite de dire qu'il faut « penser autrement » : c'est juger ce que les gens font déjà. Je préfère dire : pensez plus. Mon métier depuis trente ans, c'est la rigueur là où il n'y a pas de chiffres. Être rigoureux en comptabilité, c'est facile. Être rigoureux sur un concept de stratégie, sur ce qu'on entend vraiment par « modèle » dans « business model » : c'est autrement plus difficile. Et c'est là que la philosophie devient un outil opérationnel. Le plaisir de penser, ce que les Anciens appelaient la *libido sciendi*, une machine ne l'aura jamais. C'est peut-être notre dernière frontière. Gardons-la. ■

Références

¹ La théorie du Cygne noir a été proposée par l'épistémologue et statisticien libano-américain Nassim Nicholas Taleb dans son livre éponyme *The Black Swan* publié en 2007. Le terme « cygne noir » est une métaphore utilisée pour désigner un événement rare et imprévisible qui a des conséquences majeures et qui est souvent associé à des événements historiques majeurs <https://shs.cairn.info/guide-indispensable-des-decisions-efficaces--9782804734466-page-528?lang=fr>

² L'illusion de Moïse, aussi appelée « illusion sémantique », consiste pour les individus à ne pas relever les anomalies ou incohérences dans des énoncés ou des questions, alors même qu'ils connaissent la vérité. Cette illusion tire son nom d'une question qui a été posée durant une expérience et qui mit en évidence que les individus peuvent ne pas percevoir une incohérence qui après coup est évidente (définition de Wikipédia).

À retenir

Nommer juste est un acte de résistance : « IAO » plutôt que « IA », intelligences au pluriel.

La machine ne se trompe pas : c'est pour ça qu'elle pense moins. L'erreur est la condition de la créativité.

L'oubli est la condition de la pensée, et il est improgrammable.

Nous risquons d'entrer dans un quatrième temps : changer le monde avec des mythes technologiques.

Le basculement philosophique : L'IA est passée d'un modèle platonicien (recherche de règles) à un modèle aristotélien (empirisme et statistiques).

L'enjeu n'est pas technologique mais politique : La véritable menace de l'IA réside dans l'idéologie de ceux qui la contrôlent, hostiles à la démocratie représentative.

La rigueur conceptuelle est une compétence d'ingénieur à part entière.

LES RISQUES ARTIFICIELS : DES DANGERS ÉVITABLES ?

Interview de **Anne Alombert** par **Romain Jouin (2014)** et **Wilfred Doré (2014)**



Anne ALOMBERT

est maîtresse de conférences en philosophie contemporaine à l'Université Paris 8. Ancienne élève de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, elle est agrégée de philosophie et docteure en philosophie.

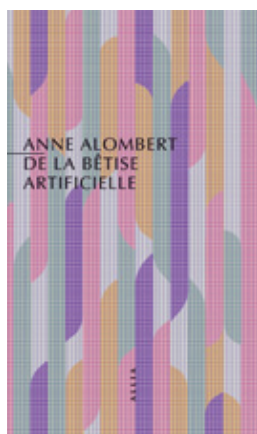
Ses recherches portent sur :

La question des rapports entre vies, techniques et esprits dans la philosophie contemporaine ; les enjeux anthropologiques, épistémologiques et politiques des technologies numériques et de l'IA

Elle est autrice de :

Penser avec Bernard Stiegler. De la philosophie des techniques à l'écologie politique (PUF, 2025)

De la bêtise artificielle. Pour une politique des technologies numériques (Allia, 2025)



De 2021 à 2025, elle a été membre du Conseil National du Numérique.

Depuis 2025, elle est membre du Comité Scientifique et de la Prospective de la CNIL. Elle est directrice adjointe de l'EUR ArTeC, et membre du collectif de recherche Organoesis et de la Société Francophone de Philosophie de la Technique.

🌐 organoesis.org/anne-alombert

[Romain Jouin] Vous intitulez votre livre « **De la bêtise artificielle** (Allia, 2025)¹ ». Pourquoi ce choix de terme « bêtise », alors que les IA actuelles arrivent à effectuer énormément de tâches de manière extrêmement performante ?

[Anne Alombert] Ce titre un peu provocateur n'a pas pour fonction de soutenir que les systèmes d'IA seraient « bêtes », bien au contraire ! Ils sont pétris d'intelligences humaines, à la fois par les mathématiques et algorithmes complexes qui leur permettent de fonctionner, et par les quantités massives de données (produites par des humains et pillées par des entreprises), sur lesquelles ils sont entraînés et sans lesquelles ils ne pourraient pas nous impressionner de la sorte ! Mais toute technologie est « intelligente » en ce sens, car elle est une concrétisation de travail humain, comme le disait le philosophe Gilbert Simondon. Cela ne signifie pas du tout que ces dispositifs « pensent » ou « raisonnent » : Simondon invitait à se méfier de notre tendance à anthropomorphiser les machines et à les considérer comme des « doubles de l'humain ». Il n'y a pas plus de sens à se demander si un logiciel est intelligent ou bête qu'à se demander si une chaise est assise ou debout !

En fait, en parlant de « bêtise artificielle », je voulais souligner les risques que ces dispositifs présentent pour nos esprits individuels et collectifs : par exemple,

le risque de dépendance cognitive, qui nous conduit à déléguer toutes sortes de capacités cognitives à ces services (qui écrivent, rédigent, lisent à notre place) ou le risque de désinformation généralisée, qui permet à toutes sortes d'acteurs de diffuser massivement des contenus truqués pour tromper les citoyens ou manipuler leurs opinions dans le contexte des élections, par exemple.

[Romain Jouin] Vous écrivez (p. 20) : « Attribuer une intelligence ou une conscience aux programmes informatiques permet de dissimuler la présence de décideurs derrière l'anonymat de la machine », en ciblant Elon Musk et Sam Altman.

Il me semble que le conflit majeur actuellement est celui du droit contre l'informatique. L'informatique pousse à l'action, alors que le droit la limite. Avec le couple Trump / Musk à la Maison Blanche début 2025, nous avons assisté à la mise à mal du droit international (menace de retrait des USA de l'OTAN)², et à la mise en avant interplanétaire de l'informatique (projet stargate)³. L'Europe, qui défend le respect du droit (Macron à Davos)⁴, ne s'illusionne-t-elle pas (comme le dit Attali)⁵ sur l'importance du droit, le droit n'étant toujours que le droit du plus fort ? L'IA étant le paroxysme de l'informatique, et

au cœur actuel des nouvelles armes (exemple)⁶, l'Europe doit-elle selon vous diminuer son arsenal juridique pour rester dans la course de l'IA, ou bien le renforcer pour défendre des valeurs humanistes mises à mal par les idéologues transhumanistes de la Silicon Valley ?

[Anne Alombert] Je ne poserais pas le problème en ces termes : l'opposition entre régulation et innovation est pour moi une fausse opposition, tout aussi fausse que l'opposition entre humain et technologie ! La question n'est pas de faire valoir l'humain contre l'IA, mais de s'interroger sur la politique industrielle à mener. Si l'Europe veut avoir une autonomie technologique et industrielle dans le champ de l'IA, il se pourrait bien qu'elle soit obligée de limiter et d'encadrer le déploiement massif de systèmes concurrents, en particulier si ces systèmes mettent en péril les esprits des citoyens et les régimes démocratiques (et parfois, la protection des données et la cybersécurité des entreprises également). Par exemple, dans le cas des réseaux sociaux et des IA de recommandation, la question qui se pose n'est pas celle de savoir si nous sommes pour l'humain ou pour la technologie, mais de concevoir, de développer et d'expérimenter des réseaux sociaux alternatifs, qui ne fonctionnent pas sur un modèle d'affaire publicitaire, qui ne se fondent pas sur la collecte des données et sur la captation des attentions, et qui laissent place à une diversité de systèmes de recommandations. De même, dans le cas des IA, la question qui se pose est celle de savoir si des IA conversationnelles sur le modèle de ChatGPT ou Deepseek sont soutenables écologiquement (ce qui est loin d'être le cas) et désirables collectivement (les citoyens n'ont pas été consultés). Si tel n'est pas le cas, alors il faut se demander quelle politique industrielle mener à cet égard : peut-être pourrions-nous privilégier des petits modèles spécialisés et sécurisés, entraînés sur des jeux de données contrôlés et fiables dans leurs résultats.

[Romain Jouin] Vous écrivez (p. 70) : « L'intention de l'émetteur réclame l'attention du récepteur et la signification émane de sa rencontre. Comment recevoir un message dans lequel personne n'a pris le risque de se révéler à autrui ? » Mais aujourd'hui, l'un des premiers usages de ChatGPT est la santé mentale, ce qui ne va pas sans risque⁷, comme vous le décrivez aussi. Néanmoins, l'IA ne crée-t-elle pas un lieu d'individuation des utilisateurs, là où la société ne les écoute plus (*Can Witnesses Speak? On the Philosophy of the Interview*)⁸, comblant un vide structurel d'espace d'existence pour chacun ?

[Anne Alombert] Les chatbots servent sans doute à combler un vide, mais je crains qu'ils ne l'aggravent au lieu d'y remédier. Par exemple, les compagnons IA sont souvent présentés comme des remèdes à la solitude, mais en réalité, ils ont des effets de prolétarianisation sociale et de désocialisation. En effet, lorsque vous échangez avec un chatbot disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, qui simule un accord avec vous et qui vous flatte sans arrêt, vous vous enfermez peu à peu dans une bulle informationnelle qui vous coupe des autres sujets et collectifs humains. Ceux-ci, en effet, ne sont pas toujours de votre avis et n'ont pas toujours envie de vous écouter, mais précisément, c'est parce qu'ils sont différents de vous que la relation avec eux vous permet d'évoluer, de vous transformer et de vous individuer. En cessant d'échanger avec les autres, nous désapprenons nos savoirs sociaux : la patience, l'écoute, l'attention, le débat, la confrontation – car le chatbot n'a jamais besoin de nous, il est à notre disposition comme un esclave, mais il ne nous demande rien. À l'inverse, un processus d'individuation psychique et collectif est nécessairement réciproque : sinon, c'est un rapport d'asservissement. Les compagnons IA fournissent des simulacres d'émotions et alimentent des fantasmes de relations, mais en réalité, il s'agit d'une automatisation de l'altérité qui accroît la solitude plutôt qu'elle ne permet d'y remédier.

[Romain Jouin] Vous posez la question de l'avenir du travail et de la prolétarianisation (p. 127 et suivantes). Il me semble que dans une perspective historique depuis Marx, le travail était perçu comme une aliénation, et qu'il fallait s'en défaire. Aujourd'hui les chantres de la Silicon Valley nous promettent un monde sans travail, ce qui aurait été un rêve pour Marx. Comment analysez-vous cet attachement viscéral de chacun au travail ? Doit-on finalement être pour travailler, ou bien travailler pour être ?

[Anne Alombert] Je nuancerais quelque peu ce propos, car tout dépend de ce qu'on entend par « travail ». Marx est l'un des premiers à parler du processus de prolétarianisation : il soutient qu'avec la grande industrie et les machines-outils, le travail des artisans, à travers lequel ceux-ci s'accomplissaient et se réalisaient dans le monde, est devenu un ensemble de tâches répétitives sans signification. Mais cela, c'est le travail au sens du labeur ou de la besogne, auquel l'ouvrier prolétarisé est soumis par le patron capitaliste à travers un processus économique et social d'exploitation. Ce n'est pas le travail au sens de l'ouvrage ou de l'œuvre de l'artisan ou de l'artiste, qui s'expriment dans le monde à travers leurs activités, tout en donnant sens à leur existence et en participant au collectif (à la société, à la culture).

Le travail, au sens d'une activité dans laquelle nous nous réalisons dans le monde, nous développons nos capacités, tout en nous reliant au collectif, a une fonction existentielle. C'est le travail au sens anthropologique, que les philosophes André Gorz et Bernard Stiegler, tous deux héritiers de Marx au XX^e siècle, distinguent très clairement de l'emploi. En particulier, Stiegler soutient que si de nombreuses tâches prolétarianisantes peuvent être automatisées aujourd'hui, il est nécessaire de valoriser les activités de travail contributives, qui ne sont pas automatisables car elles impliquent la transmission et la transformation de savoirs collectifs.

[Romain Jouin] **De plus, vous revenez sur les propositions de Stiegler sur la rétribution des activités contributives hors emploi (p. 129). Or, l'idée d'un revenu universel fait débat dans la Silicon Valley (Le Monde)⁹. Peut-on y voir un lien ?**

[Anne Alombert] Il est possible de voir un lien, mais il faut surtout bien distinguer ces deux propositions. La proposition du revenu contributif de Stiegler ne s'oppose pas au revenu universel, mais elle considère que le revenu universel n'est pas une solution suffisante. J'ajoute, par ailleurs, que cette proposition de revenu universel peut être récupérée et instrumentalisée politiquement, donc qu'il faut s'en méfier. La proposition de revenu contributif, au contraire, est bien plus robuste théoriquement : elle implique de rémunérer les activités considérées comme contributives pour un territoire, une société, une localité (sur les plans écologiques, sociaux, technologiques). Cela implique donc que ce soient les habitants qui décident des activités nécessaires localement.

De plus, les activités contributives sont des activités au cours desquelles les individus pratiquent des savoirs (savoir-faire, savoir-vivre, savoir-penser – savoirs techniques, artistiques, pratiques, sociaux, théoriques, etc.) : l'enjeu, c'est la déprolétarianisation ! Aujourd'hui, nous avons tendance à perdre nos savoirs à travers l'automatisation généralisée de toutes les sphères de nos existences. Et pourtant, aucune société ne peut se maintenir et évoluer sans savoirs : les savoirs sont au principe de la cohésion sociale et des évolutions culturelles, scientifiques, artistiques, technologiques. Par ailleurs, selon Stiegler, les savoirs donnent sens à nos existences et nous permettent de prendre soin du monde et des autres. C'est pourquoi il est urgent de se déprolétarianiser collectivement !

[Wilfred Doré] **Enfin, à Télécom Paris, nous sommes une école à forte dominante technique, où les enseignements de philosophie restent limités, alors même que les diplômés occupent des postes à responsabilité dans les entreprises de la Tech. Quels conseils donneriez-vous aux élèves et aux ingénieurs en poste pour développer le recul nécessaire face aux limites, aux biais et aux usages de l'intelligence artificielle ?**

[Anne Alombert] Vous avez tout à fait raison de souligner ce problème : la séparation entre sciences humaines / sociales et sciences de l'ingénieur est très problématique, à mon avis. Elle contribue à former des ingénieurs très spécialisés mais ignorants des enjeux sociaux et politiques de leurs activités et de leurs produits, et réciproquement, des chercheurs en sciences humaines et sociales très spécialisés également mais ignorants de leurs environnements technologiques et industriels. Or il est absolument nécessaire de permettre à ces communautés de se rencontrer pour que les innovations technologiques et industrielles à venir deviennent compatibles avec les impératifs écologiques, avec les santés psychiques et avec les sociétés démocratiques.

Pour ma part, j'ai enseigné dans une école d'ingénieur (l'Université de Technologie de Compiègne), où travaillait également Bernard Stiegler, et qui disposait d'un département articulant sciences de l'ingénieur et sciences humaines et sociales. Cette expérience a été très enrichissante. Les cours de SHS permettent aux ingénieurs de prendre conscience de l'histoire des technologies et de leurs enjeux psychiques, sociaux, politiques, environnementaux. C'est vraiment fondamental. Quant à nous, les chercheurs en philosophie, nous devons aussi écouter les ingénieurs pour comprendre nos milieux technologiques et industriels contemporains, et devenir capables de les comprendre, de les analyser, de les critiquer (au sens constructif du terme).

En terme de références, je recommande très vivement à tous les futurs ingénieurs de lire les livres ou de regarder les vidéos de Bernard Stiegler, qui propose une réflexion philosophique et scientifique sur les rapports entre humain et technique et sur les rapports entre industrie et politique. Stiegler a anticipé de manière visionnaire les enjeux actuels des technologies d'intelligence artificielle.

Pour plus de références concernant ses travaux, vous pouvez consulter le site du collectif Organoesis¹⁰. ■

Références

¹ <https://editions-allia.com/fr/livre/1077/de-la-betise-artificielle>

² https://www.lemonde.fr/international/article/2026/05/05/devant-les-menaces-de-donald-trump-contre-l-otan-les-europeens-contraints-de-repenser-leur-defense-collective_6685534_3210.html

³ <https://openai.com/fr-FR/index/announcing-the-stargate-project/>

⁴ <https://www.dailymotion.com/video/x9y5ffs>

⁵ <https://www.youtube.com/shorts/wxrijz6tsWA6>

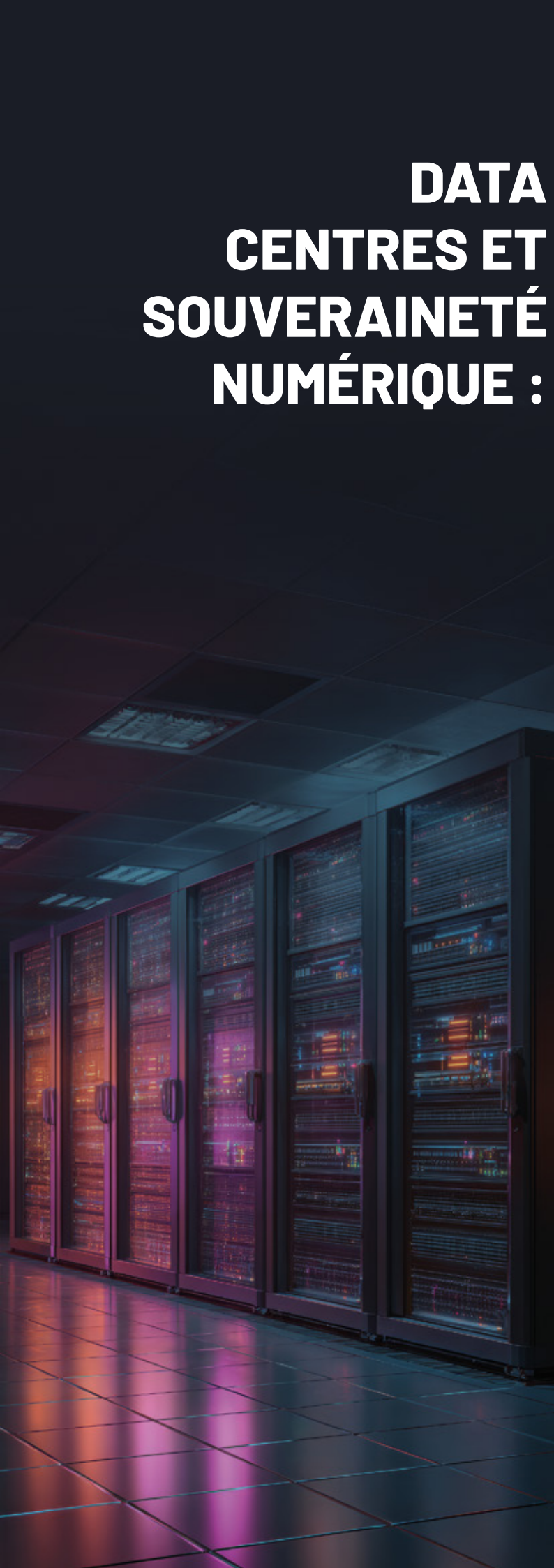
⁶ https://www.lemonde.fr/economie/article/2026/05/07/derriere-l-ebullition-dans-le-secteur-des-drones-militaires-en-france-une-montee-en-puissance-incertaine_6686531_3234.html

⁷ https://www.lemonde.fr/pixels/article/2025/09/13/chatgpt-et-sa-fausse-empathie-une-menace-pour-notre-sante-mentale_6640703_4408996.html

⁸ <https://transversal.at/transversal/0408/steyerl/en>

⁹ https://www.lemonde.fr/economie/article/2026/05/10/les-gourous-de-la-tech-multiplient-les-propositions-de-new-deal-pour-affronter-les-consequences-sociales-destructrices-de-l-ia_6687727_3234.html

¹⁰ <https://organoesis.org/ressources/autour-de-bernard-stiegler>



DATA CENTRES ET SOUVERAINETÉ NUMÉRIQUE :

POURQUOI LES INFRASTRUCTURES DE CALCUL SONT AU CŒUR DES DÉBATS ?

Par **Thomas Le Goff**

Comme les réseaux de télécommunications et les câbles sous-marins qui constituent depuis toujours les actifs matériels sous-jacents au développement de l'internet mondial, ce sont aujourd'hui les *datacenters* – ces mastodontes d'infrastructures de calcul dans lesquels chacune de nos données en ligne sont traitées – qui occupent une place centrale dans le débat public autour de la souveraineté numérique. Alors pourquoi les pays du monde entier, et plus particulièrement l'Union européenne, se rêvent-ils en *el dorado* des centres de données ?

La croissance de la demande en *data centres* au sein de l'Union européenne ne peut être dissociée des préoccupations grandissantes en matière de souveraineté numérique. À cet égard, deux arguments principaux justifient le besoin de disposer de nos propres infrastructures de calcul : d'une part, à l'ère du tout numérique, les *data centres* sont devenus des actifs géo-stratégiques qui sous-tendent le fonctionnement d'une grande partie de l'économie, et, d'autre part, localiser les centres de données sur le territoire européen permet – dans une certaine mesure – de protéger nos données d'éventuelles ingérences étrangères.

LES CENTRES DE DONNÉES SONT DEVENUS DES ACTIFS GÉOSTRATÉGIQUES

Les centres de données sont progressivement devenus les « points finaux de contrôle » de l'économie numérique. Leur localisation, mais surtout le régime juridique auquel ils sont soumis, jouent désormais un rôle déterminant dans la capacité d'un État à accéder aux données, à réguler les services numériques, voire à garantir leur continuité en cas de tensions géopolitiques.

Le parallèle avec la dépendance énergétique de l'Union européenne au gaz russe permet d'illustrer cette évolution. Lorsqu'une infrastructure critique est contrôlée par des acteurs extérieurs – qu'il s'agisse de pipelines ou de plateformes numériques – la capacité à maintenir des opérations stables et à résister aux chocs géopolitiques s'en trouve fortement réduite. Or, dans une économie où les services numériques soutiennent des fonctions essentielles de l'État (défense, hôpitaux, éducation...) comme des entreprises, la dépendance envers des fournisseurs d'infrastructures extra-européens, notamment dans le *cloud* et le stockage des données, constitue une vulnérabilité critique.

Ces préoccupations gagnent d'ailleurs progressivement le débat public. En France, EDF a ainsi dû abandonner un projet de partenariat avec AWS pour l'hébergement de données liées aux centrales nucléaires, tandis que l'École polytechnique a récemment fait l'objet de critiques après avoir annoncé sa migration vers Office 365 avant de finalement suspendre le projet.

Dans ce contexte, localiser les capacités de calcul en Europe permet de limiter les risques d'ingérences extraterritoriales, mais aussi d'assurer une continuité de service qui ne dépende pas exclusivement de décisions prises par des acteurs étrangers.

PROTÉGER LES DONNÉES DES EUROPÉENS CONTRE DES INGÉRENCES ÉTRANGÈRES

La localisation des centres de données soulève également une question de protection des données. Certains pays comme les États-Unis ou la Chine, disposent en effet de législations dites « extraterritoriales », c'est-à-dire susceptibles de produire des effets juridiques au-delà de leurs frontières nationales.

Le cas américain illustre particulièrement bien cette problématique. Des dispositifs comme la section 702 du *Foreign Intelligence Surveillance Act* (FISA) ou encore le *Cloud Act*, permettent aux autorités américaines de demander l'accès à des données détenues ou contrôlées par une entreprise américaine, indépendamment du lieu physique où ces données sont hébergées. Autrement dit, une donnée stockée en Europe peut, dans certains cas, rester soumise à des demandes d'accès émanant d'autorités étrangères dès lors qu'elle est administrée par un acteur soumis au droit états-unien.

Dans ce contexte, localiser les infrastructures de calcul sur le territoire européen constitue un premier niveau de protection. Héberger les données au sein de l'UE permet en effet de les soumettre au cadre juridique européen, notamment au Règlement général sur la protection des données (RGPD), qui impose des exigences strictes en matière de confidentialité et de transfert des données. Cette localisation réduit ainsi les risques d'accès motivés par des objectifs de renseignement ou d'ingérence politique.

DES DATACENTERS EN EUROPE N'ÉLIMINERONT PAS TOTALEMENT LE RISQUE D'INGÉRENCE ÉTRANGÈRE

Pour autant, la simple construction de centres de données en Europe ne suffit pas, à elle seule, à garantir une pleine souveraineté numérique. Des infrastructures situées physiquement sur le territoire européen mais opérées par des acteurs étrangers comme Amazon, Microsoft ou Google, peuvent continuer à être soumises à des législations extraterritoriales, limitant ainsi les bénéfices attendus de la relocalisation des données.

L'enjeu ne réside donc pas uniquement dans la localisation physique des serveurs, mais également dans l'identité des entreprises qui les exploitent, administrent les données et conçoivent les services numériques associés. Pour renforcer durablement la souveraineté numérique européenne, il apparaît ainsi nécessaire de faire émerger des alternatives crédibles aux géants technologiques étrangers afin de garantir que les données des Européens soient traitées en Europe, par des acteurs européens et conformément aux règles européennes. ■



Thomas LE GOFF

est maître de conférences en droit et régulation du numérique à Télécom Paris – Institut Polytechnique de Paris (laboratoire i3, CNRS, UMR 9217), où il enseigne et mène des recherches sur les réglementations relatives aux technologies numériques, aux données, à la cybersécurité et à l'IA. Ses recherches portent plus spécifiquement sur les liens entre l'IA et la soutenabilité et sur la façon dont la régulation peut contribuer au développement de technologies respectueuses de l'environnement. Avant de rentrer dans le monde académique, il a travaillé à la Direction Juridique d'EDF où il était en charge de l'expertise en droit du numérique. Thomas Le Goff est aussi co-directeur opérationnel du FinAI-Lab, le laboratoire commun entre Télécom Paris et BNP Paribas, et Research Fellow au Center on Regulation in Europe (CERRE) à Bruxelles.

DE GRANDS MODÈLES DE LANGAGE SANS APPRENTISSAGE PROFOND, SANS RÉSEAUX DE NEURONES : EST-CE POSSIBLE, EST-CE NÉCESSAIRE ?

Par **Jean Rohmer**



Jean ROHMER
Ingénieur de l'Institut
Polytechnique de Grenoble est
Docteur-Ingénieur et Docteur-
ès-Sciences en Informatique de
l'Université de Grenoble.

Il a d'abord été chercheur à l'Université de Grenoble puis à l'Inria Rocquencourt.

Après avoir créé et dirigé les activités de recherche, développement et commercialisation en Intelligence Artificielle du Groupe Bull où ses travaux de recherche ont porté sur les machines parallèles, la gestion des bases de données et la programmation logique, Jean Rohmer a créé et dirigé une start-up, qui a développé le logiciel de gestion des connaissances IDELIANCE, un précurseur du Web Sémantique.

Ensuite, Jean Rohmer a été expert en traitement de l'information au sein du groupe Thales. Il a travaillé en particulier sur des systèmes de représentation et d'analyse de l'information, utilisés dans le Renseignement Militaire et l'Intelligence Économique.

Enfin, il a dirigé le département Informatique et Sciences du Numérique de l'école d'ingénieurs ESILV du pôle universitaire Léonard de Vinci, et en a été directeur de la recherche et des partenariats.

Il a présidé l'Institut Fredrik Bull, et il poursuit actuellement des travaux de recherche en représentation et exploitation des connaissances.

Au commencement était la transformation

Globalement, la nouvelle IA, l'IA générative (IAG), commence par absorber tous les textes disponibles sur Internet, donc toute la culture « générale », c'est le G de GPT. Puis tout est transformé – le T de GPT – en un réseau de neurones, sorte de gigantesque polynôme, aux centaines de milliards de coefficients. Et une fois cette lecture transformative générale faite, l'IAG se permet de tout oublier des documents de départ. Pour plus de sûreté, elle relit plusieurs fois les documents pour mieux ajuster, affiner les coefficients. Le modèle a été « préentraîné », c'est le P de GPT, avant d'être utilisé pour répondre à des

prompts, dans ce mode que l'on appelle l'inférence. Ce pari génial réussi G+P+T nous a donné les grands modèles de langage (LLM).

Mais cette IAG fait aussi l'objet de fortes critiques

Elle consomme trop d'énergie, le calcul des réponses au *prompt* de départ se faisant mot par mot, avec la quasi répétition du calcul du grand polynôme à chaque mot, chaque fois via des dizaines ou centaines de milliards d'opérations.

Les résultats sont opaques, difficiles à expliquer : chaque document lu lors de l'apprentissage a servi à affiner quelques décimales de quelques

coefficients, mais on ne garde aucune trace de la référence et de l'impact de ce document.

D'autres considérations inquiètent : la rareté des acteurs globaux : une demi-douzaine aux USA et un ou deux en Chine et en Europe, avec tous les risques afférents en termes de souveraineté.

Par ailleurs, les mises à jour partielles du modèle une fois celui-ci appris sont quasi impossibles, il faut tout recommencer à grands frais.

Un autre point irrite les ingénieurs : de l'avis général, on ne comprend pas totalement pourquoi cette IAG marche en moyenne aussi bien ; comme si on découvrait la réalité des prouesses d'une centrale nucléaire seulement après sa mise en service.

Finalement, les services résultants, aussi « bluffants » soient-ils, sont difficiles à auditer, valider et certifier, ce qui est rédhibitoire dans beaucoup de domaines industriels ou de la défense.

Rechercher des alternatives du côté de la vieille IA, ou IA Symbolique

L'IAG a mis la barre très haut. Mais sa technique de l'apprentissage profond à base de réseaux de neurones et de renforcement est-elle l'unique solution ? Peut-on faire mieux ? Pour un informaticien, lire plusieurs fois les données pour finir par les oublier constitue une double aberration. Et si en plus le résultat final est impénétrable...

Peut-on, sans nostalgie, retourner aux principes de la vieille IA symbolique (IAS), de la vénérable linguistique computationnelle et ses règles de grammaire et de traduction, de l'art d'indexer les textes comme le font les moteurs de recherche, d'établir des dictionnaires, des nomenclatures ou ontologies certifiées ?

Nous ne parlerons pas ici des techniques d'hybridation des deux IA, mais prendrons une attitude plus audacieuse : commencer sans hybridation : confrontons l'IAS et ses principes de base aux défis que l'IAG a relevés. Et examinons trois raisons qui invitent à suivre cette voie

Les progrès des processeurs et des mémoires sont utiles pour l'IAS

40 ans se sont écoulés depuis les heures de gloire de la vieille IA, et entre temps les performances des machines – à coût constant – se sont améliorées de l'ordre de un million de fois.

Dans le domaine des capacités mémoire, des progrès équivalents ont été faits : avec les récentes technologies SSD (*Solid State Disks*), de type NVMe (*Non Volative Memory express*), on peut faire tenir les dizaines de milliers de milliards de caractères constituant les corpus d'apprentissage des grands LLM dans le volume d'une tablette de chocolat, au prix de quelques centaines d'euros.

C'est alors tentant d'abandonner la transformation des données en réseaux de neurones, et de conserver ces données accessibles en version originale à tout moment, localement, pour garder la clarté et la traçabilité des raisonnements.

Les principes de base de l'IAS ont le potentiel pour implémenter des LLM

Beaucoup des principes de base implicites des LLM sont déjà présents dans l'IAS. En particulier la notion d'inférence – qui ne date pas d'hier !

Inférer, c'est tenir un raisonnement, faire des déductions. Prédire le mot suivant comme dans un LLM, c'est dire : si j'ai une phrase qui commence comme ça, alors

voilà quel peut être le mot suivant, et je le rajoute à ma phrase, j'ai une nouvelle phrase, et j'itère.

C'est exactement ce que fait un moteur d'inférence de système expert, c'est exactement ce que fait le langage PROLOG des années 1970 : je suis dans un certain état, je cherche des règles à appliquer, elles produisent des conclusions qui enrichissent l'état, et ainsi de suite. Ces moteurs d'inférence sont par ailleurs très facilement parallélisables. L'idée va être alors de découvrir les règles à appliquer dans le texte lui-même.

Les IAS conviennent bien pour construire des LLM spécialisés

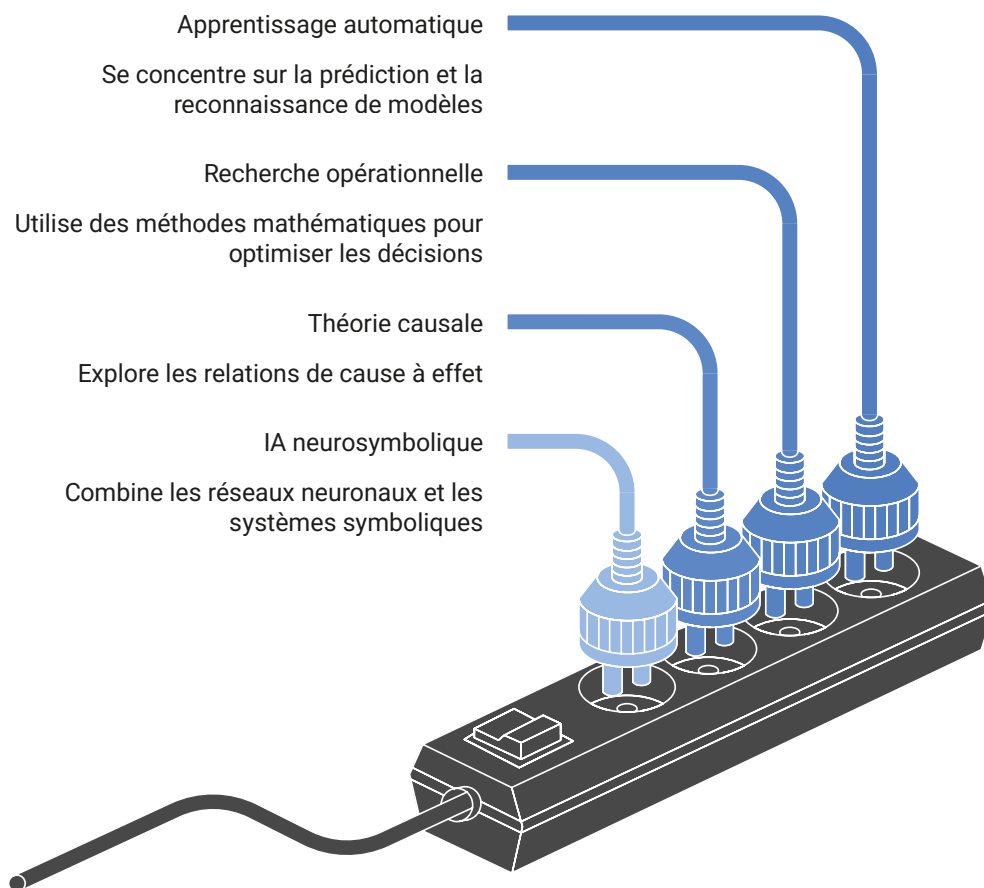
Créer des modèles spécialisés – à un domaine, à un métier, à une entreprise, à un processus – est une tendance forte actuellement : les LLM généralistes n'ont pas été entraînés sur les données qui nous sont propres. Cela repose sur la mise à disposition de documents d'apprentissage de qualité, soigneusement choisis et validés, bien décrits par des métadonnées (auteur, date, droits, ...). Il faut leur adjoindre des règles métier, des règles d'usage, des procédures. À partir du moment où on ne transforme plus les données en réseaux de neurones, il devient beaucoup plus facile de créer un continuum d'information et de raisonnement entre des documents et des règles logiques. Ainsi espérera-t-on concilier quantité et qualité. ■

Nikolaj van Omme

Pour une IA hybride plus généralisée

Il existe plusieurs façons de faire de l'IA et de plus en plus d'équipes combinent ces façons de faire avec des succès probants mais aussi parfois des échecs retentissants. Même s'il existe des avantages et inconvénients notables dans les différentes approches au niveau fondamental, l'hybridation permet d'obtenir des résultats qu'aucune approche seule ne pourrait obtenir.

Approches hybrides en IA



Made with  Napkin

Des approches multiples

Contrairement à ce qu'on pourrait penser avec certaines annonces tonitruantes des acteurs les plus en vue en IA, il n'existe pas une mais différentes façons de faire de l'IA. Je ne parle pas de différences et d'ajustements mineurs mais de philosophies d'approches vraiment contrastées. Citons par exemple l'apprentissage automatique (*machine learning*, ML) avec son paradigme prédictif et qui est le paradigme dominant, la recherche opérationnelle (*operations research*, OR) avec son paradigme prescriptif et la théorie causale (*causal theory*, CT) avec son paradigme probabiliste et statistique (et d'autres spécificités). Ces trois approches sont différentes non seulement dans leurs objectifs mais aussi leurs outils algorithmiques et méthodologies. On peut utiliser les trois pour résoudre pratiquement n'importe quel problème analytique mais comprendre leurs différences fondamentales est essentiel pour construire des solutions robustes et probantes.

Connexionnisme vs symbolique : un faux débat

On oppose souvent l'IA connexionniste avec l'IA symbolique – deux paradigmes assez différents à première vue – alors qu'elles sont complémentaires à plus d'un titre. Bien sûr l'IA neurosymbolique essaye de combiner les deux approches mais l'hybridation peut aller beaucoup plus loin avec l'utilisation combinée des approches existantes à un niveau fondamental. Laissez-moi vous guider à travers deux exemples, un premier fictif avec une description à haut niveau des approches et un deuxième exemple réel avec une hybridation technique au niveau algorithmique car l'hybridation est possible à plusieurs niveaux.

Un premier exemple : le don d'organes

L'objectif est de permettre non seulement un maximum de greffes mais aussi que celles-ci soient des réussites sur le court,

le moyen voire le long terme et avec des considérations économiques car il faut aussi restreindre les coûts pour la collectivité. Pour l'appariement des donneurs et des receveurs, la *matching theory* (OR) pourrait être une bonne idée. Mais selon quels critères ? Il y a des critères connus mais peut-être aussi des critères qui ne le sont pas ? Ou des combinaisons de critères favorables ou défavorables ? On peut étudier sur le long terme quelles sont les greffes réussies mais aussi essayer de déterminer les causes des réussites et des échecs avec des algorithmes de la CT et du ML.

Un deuxième exemple : la logistique du transport de pièces de voitures inter-usines chez Aisin-Toyota au Japon

L'objectif de ce projet est de réduire les coûts de transport des pièces de voitures entre les usines. Une difficulté majeure est le gigantisme des instances. Notre solution comprend plusieurs graphes tellement grands qu'ils sont inutilisables tels quels. Nous avons donc dû les approximer en ne construisant que les parties nécessaires à la volée avec une approche hybride combinant l'OR et le ML. C'est grâce à cette approche que nous avons pu optimiser toute la chaîne logistique globalement sur un *laptop* en quelques minutes.

Conclusion

Adopter une approche hybride permet de résoudre des problématiques industrielles et sociétales très complexes avec des solutions probantes. Aucune approche ne domine une autre et reconnaître les faiblesses mais aussi les forces de chacune d'entre elles permet de construire des solutions plus frugales, efficaces, robustes, contrôlables et explicables si besoin. L'hybridation en IA n'est pas une recette toute faite mais au contraire une posture d'ouverture et de dialogue pour mieux comprendre ce qui existe et comment utiliser de manière complémentaire des approches qui ont encore trop tendance à être développées en silo avec parfois des résultats mitigés. ■



Nikolaj VAN OMME

est entrepreneur et exécutif de la tech, co-fondateur et PDG de Funartech, une start-up fournissant des solutions d'IA hybride pour solutionner des problématiques industrielles très complexes dont la mission est de rendre l'IA nettement plus frugale et robuste notamment avec le développement d'un nouveau paradigme en IA hybride. Il est aussi un des membres fondateurs de Quantum Computing and Artificial Intelligence for Decision Optimization (QAI4DO) dont la mission est d'étudier les synergies entre l'IA, le Quantum Computing et la Recherche Opérationnelle (OR), favoriser la recherche avec la création de méthodologies et boîtes à outils, étendre les connaissances pratiques et théoriques de l'IA hybride et les diffuser plus largement dans l'industrie et le monde académique, notamment auprès des étudiants avec la diffusion de séminaires et cours interuniversitaires.



Dr. Andrei Villarroel

By Marcin Zielinski, courtesy of the MIT Universal AI Summit, 23 March, 2026, Warsaw, Poland.

THE KNOWLEDGE SINGULARITY IS HERE

How Liquid Cognition Is Forcing the Redesign of Institutional Civilization

At the turn of the century, I was building fully searchable video systems at Carnegie Mellon University in a DARPA-funded AI lab. We were working on the Informedia Digital Library project, developing architectures to index, search, and retrieve information from massive video collections. It was frontier work for its time. But even the best searchable video engine gave users the document, the clip, the transcript, or the annotated scene. It did not give them comprehension if the material originated in a domain, language, or discipline outside the user's own.

We were building tools to find information in a world of illiquid cognition.

That world is now breaking down.

Generative AI is making cognition adaptive, recombinant, and increasingly agentic. Search is only the surface. The deeper shift is that AI reduces the cost of making knowledge usable across disciplines, languages, organizations, and institutional boundaries. This is the threshold I call the Knowledge Singularity: the point at which the cost of transferring usable knowledge falls below the cost of maintaining the institutional structures designed to manage knowledge transfer when it was expensive.

Those structures include university departments, professional credentials, corporate silos, peer review, expert hierarchies, and language-based knowledge boundaries. They were not accidents. They were rational responses to a world in which knowledge was difficult to move, verify, translate, and apply outside its original context.

When the underlying cost structure changes, the institutions built around that structure begin to lose predictive validity. They may continue to operate. They may even look stable from the outside. But their inherited economic logic starts to fail.

In the meantime, the dominant debate on artificial intelligence still oscillates between two familiar poles: utopian narratives of superintelligence and dystopian warnings of human obsolescence. Both frames assume that the most consequential feature of AI is raw intelligence. I challenge that assumption. The most consequential feature of this technology is its capacity to dissolve the barriers that have historically trapped human knowledge inside individual minds, specialized disciplines, elite institutions, and dominant languages.

What we are living through is not an acceleration of search, but the collapse of knowledge transfer friction.

In my previous article with Télécom Paris, "Our Future with AI Isn't Prompted Solo – It's Orchestrated Ensembles," I showed that the AI revolution is recomposing work through deliberately designed people+AI ensembles. That piece focused on the organizational expression of the shift. This essay goes one level deeper: it explains the underlying economics of such ensembles – and why their emergence signals a broader redesign challenge for societal institutions built around illiquid cognition.

The Architecture of Illiquid Cognition

Every major institution that mediates the creation, storage, validation, and transfer of human knowledge exists because the human mind is finite. Herbert Simon's concept of bounded rationality is the deepest foundation of this argument. Human beings do not optimize with unlimited information, unlimited time, and unlimited processing capacity. They satisfice: they seek solutions that are good enough under constraints of attention, knowledge, time, and cognition.

Institutional civilization emerged from the limits of human cognition.

No individual mind can hold all of human knowledge. Societies therefore built institutions to manage what individual minds cannot. Academic disciplines emerged as cognitive specialization strategies. Knowledge was divided into physics, biology, law, economics, medicine, and management because human cognition required partitioning. Divide to know. Divide to coordinate.

Universities arose as spatial and social solutions to a logistics problem: expertise could not travel cheaply. To learn from an expert, a novice had to move toward the expert, often for years.

Credentialing systems served a related function. As Michael Spence showed, credentials operate as signals in markets where ability and knowledge cannot be directly observed or cheaply verified. A degree, license, or certification performs a substitution function: it stands in for the direct inspection of knowledge and judgment.

The credential exists because, historically, cognition was illiquid. If employers, patients, or institutions could verify relevant knowledge and judgment directly at low cost, the credential's knowledge-signaling function would lose part of its economic rationale.

Firms and corporate silos follow the same logic. Ronald Coase and Oliver Williamson taught us that firms exist because coordination through markets is costly. Search, negotiation, monitoring, enforcement, and knowledge transfer all carry costs. Functional departments – legal, finance, R&D, operations, marketing – are governance structures optimized for a world in which cognitive distance between specializations is high.

Friedrich Hayek added the macro-level frame: knowledge is dispersed across society and cannot be centrally aggregated by any single planner or institution. Universities, scientific journals, firms, and professional bodies are all attempts to manage dispersed knowledge within the limits of biological human cognition and coordination.

Nelson and Winter added another crucial piece: organizations rely on routines because routines encode tacit knowledge. Michael Polanyi had already named the problem: we know more than we can tell. A clinician's diagnostic intuition, a negotiator's reading of a room, a craftsperson's judgment, a scientist's experimental knack – these forms of knowledge resist full codification. Organizations preserve them through routines, hierarchy, apprenticeship, and repetition.

Eric von Hippel's concept of sticky information completes the foundation. Information is sticky when it is costly to move from the site where it is generated to the site where it might be useful. The stickier the knowledge, the more institutional infrastructure is required to move, translate, validate, and apply it.

The synthesis is straightforward. Universities, disciplines, credentials, peer review systems, corporate silos, licensing bodies, and language boundaries are all governance structures optimized for illiquid cognition. They exist because moving knowledge from one mind to another, one discipline to another, one language to another, or one institution to another was historically expensive, slow, and lossy.

The central question is therefore simple:

what happens when that cost regime undergoes a phase transition from illiquid cognition to liquid cognition?

The Knowledge Singularity and Liquid Cognition

A financial analogy makes the concept precise. Liquidity means transfer without major friction. An asset is liquid if it can be exchanged quickly, at low cost, and without significant loss of value. It is illiquid if exchange is slow, costly, and erosive. The canonical measure of illiquidity is the bid-ask spread: the gap between what a buyer is willing to pay and what a seller is willing to accept. A narrow spread signals fluid exchange. A wide spread signals friction.

Human knowledge has historically had a wide bid-ask spread.

Knowledge has been domain-locked, language-bound, credential-gated, context-dependent, and lossy in translation. Moving it required years of education, institutional affiliation, professional trust, shared jargon, and repeated apprenticeship. That is illiquid cognition.

Liquid cognition is the emerging condition in which knowledge can be accessed, translated, recombined, and applied across boundaries at dramatically lower cost. Large language models, multilingual voice systems, and multimodal interfaces do not merely retrieve information. They help transform information into usable cognition for a specific user, task, and context. Throughout, "liquid cognition" refers to knowledge rendered readily usable in context – not to machine thinking or a new form of mind.

Expertise still matters. Judgment still matters. Verification still matters. Their institutional role changes because the knowledge-transfer cost curve changes. Radically.

The old spread in knowledge transfer was composed of five major frictions: domain distance, language barriers, credential gaps, tacit knowledge, and institutional delay. Domain distance made knowledge costly to move between fields. Language barriers fragmented the global knowledge stock. Credential gaps made expertise difficult to trust or verify without institutional proxies. Tacit knowledge resisted codification. Institutional delay – peer review timelines, paywalls, licensing requirements, hierarchy, and organizational process – slowed transfer even when the knowledge already existed.

Generative AI compresses each of these frictions. AI-mediated interpretation, translation, synthesis, and guided application reduce the cost of crossing those boundaries. Disruptively.

That is the Knowledge Singularity.

The Knowledge Singularity is the phase transition at which the marginal cost of transferring usable cognition across domains, languages, and institutional boundaries falls below the coordination cost of maintaining the institutional structures designed to manage historically illiquid cognition.

A phase transition is a change of state. In physics, a system crosses a threshold and begins to behave qualitatively differently. Water becoming ice is not merely colder water. It is a new macroscopic state. The molecules remain the same, but the system's behavior changes.

The Knowledge Singularity is a phase transition in the institutional economics of knowledge. Human knowledge remains human knowledge. Institutions still exist. Professionals still matter.

Expertise still matters. The cost regime that made many inherited structures economically rational is changing underneath them.

The threshold is relative. Transfer costs can remain positive. They only need to fall below the cost of maintaining the institutional machinery built to manage them. Once that happens, inherited societal institutions begin to misallocate resources, misdirect talent, and destroy value.

I use the term singularity in its technical sense: a point at which a governing model ceases to predict system behavior. Kurzweil's artificial-superintelligence thesis belongs to a different argument. Here, singularity names institutional model failure. The Knowledge Singularity does not require sentient machines, artificial general intelligence, or the end of human agency. It requires only that the economics of cognition transfer shift enough to destabilize institutions built around the old frictions.

That evidence is already visible.

Four Vectors of Institutional Prediction Failure

If the Knowledge Singularity has occurred, it should be empirically detectable. Its signature is societal model failure across multiple institutional domains. Institutions continue to operate, but their inherited assumptions no longer reliably predict how knowledge is acquired, validated, coordinated, or signaled.

That is precisely what we are beginning to see.

Cross-disciplinary recombination is becoming radically cheaper

Stuart Kauffman's idea of the adjacent possible helps explain the shift. The adjacent possible is the set of new combinations, discoveries, and inventions reachable from the current state of knowledge. Under illiquid cognition, much of the adjacent possible was theoretically near but practically inaccessible. A useful recombination might require knowledge from three disciplines, two languages, and one specialized dataset. In principle, it was close. In practice, it was unreachable for most people.

Generative AI expands the practically accessible adjacent possible by reducing the cost of bringing disparate knowledge together.

AlphaFold is a canonical example. DeepMind's protein structure prediction system solved a technical problem within structural biology and dissolved a barrier between structural biology, drug discovery, synthetic biology, and adjacent fields. Knowledge that had been locked behind a specialized experimental bottleneck became more widely usable across scientific workflows.

The same pattern is spreading. Climate researchers can integrate behavioral economics. Legal scholars can use computational linguistics. Materials scientists can draw analogies from genomics. Under illiquid cognition, such recombination required years of

cross-training or formally assembled interdisciplinary teams. Under liquid cognition, it can begin in an afternoon – provided the user has access to strong AI tools and enough judgment to evaluate the result.

That last condition matters. AI does not eliminate expertise. It changes the cost of reaching across expertise boundaries.

The prompt is weakening the credential's knowledge-gating function

Frontier language models have achieved passing or near-top-tier performance on several credentialing benchmarks, including the Uniform Bar Examination, medical licensing-style examinations, accounting tasks, engineering tests, and advanced placement assessments.

Lawyers, physicians, engineers, accountants, and professors do not disappear. The economic premise of the credential begins to shift.

In Spence's framework, credentials are valuable because knowledge and ability are costly to acquire and difficult to verify. When prompts can retrieve, explain, and apply knowledge that once required years of structured study, the credential's value must migrate away from pure knowledge-gating toward its other functions: liability allocation, ethical socialization, supervised judgment, professional identity, and trust.

Those functions are real and may become more important. They differ from the original knowledge-gating function around which many credentialing systems were priced and legitimized.

The institution does not vanish. Its rationale changes.

That is what institutional prediction failure looks like from the inside.

Language is ceasing to be a hard boundary

For most of history, the world's knowledge stock has been fragmented by language. Scientific, legal, medical, technical, and administrative knowledge has been concentrated in dominant languages and specialized vocabularies. Much of humanity has therefore lived with reduced access to existing cognition.

Multilingual and voice-based AI systems are beginning to collapse that boundary. They translate not only words, but conceptual structures, tone, and task relevance. Voice AI matters especially because it changes the interface from text to speech, reaching people whose access to knowledge has been constrained by literacy, schooling, or the absence of content in their own language.

As I documented in my Harvard ReVista article, "Leading AI Societal Leapfrogging in Latin America," voice AI systems are already being deployed for Aymara and Quechua speakers to access government services, agricultural guidance, and educational content. These are leading-edge cases of the Knowledge Singularity reaching populations most excluded by illiquid cognition.

Edge AI reinforces the shift. If meaningful models can run locally on affordable devices, participation in liquid cognition no longer depends entirely on centralized cloud infrastructure. The binding constraint becomes less about hardware alone and more about model localization, education, distribution, and governance.

Institutions are failing to explain themselves under the new cost regime

The strongest evidence of the Knowledge Singularity is the simultaneous strain across institutions built on the old assumptions.

Universities increasingly struggle to explain what a four-year bundled degree signifies when knowledge acquisition can be unbundled from the institution and made practically useful through AI. The degree historically packaged knowledge acquisition, socialization, signaling, credentialing, and network formation into one expensive product. When one component becomes separately accessible at near-zero marginal cost, the rest must justify the price of the whole.

Corporations face a similar problem. Rigid functional silos made sense when cognitive distance between domains was costly to bridge. But AI-augmented teams can now traverse boundaries that once required specialized hires, long coordination processes, or formal cross-functional structures. Cognitive proximity is no longer a fixed organizational constraint. It is becoming a modifiable parameter. Scientific peer review is also under structural strain. The system assumed that knowledge production would remain constrained by human throughput and that validation capacity would scale roughly with output. AI-accelerated production weakens that assumption. Journals, editors, and reviewers are now confronting volume and validation pressures that the traditional model was not designed to absorb.

These are simultaneous model failures triggered by the same underlying shift: the falling cost of cognition transfer.

When the governing equations of multiple institutions cease to predict behavior, the system has passed a threshold.

The Redesign Imperative

If institutions are governance structures optimized for a cost regime that no longer holds, institutional redesign is not a policy preference. It is a logical entailment.

The logic is simple.

First, institutions are optimized for illiquid cognition. Their structures – hierarchy, specialization, gatekeeping, bundling, credentialing, and formal coordination – are solutions to the problem of managing knowledge under high transfer friction.

Second, that cost regime has changed. Transfer costs have fallen sharply because AI makes knowledge easier to access, translate, recombine, and apply across boundaries.

Third, institutions optimized for the old regime will increasingly misallocate resources, misdirect talent, and fail to capture the value of liquid cognition.

A university that prices a bundled degree as if knowledge acquisition cannot be unbundled is misallocating student time and tuition. A corporation that maintains rigid silos as if cognitive distance were fixed is misallocating organizational talent. A credentialing body that continues to justify itself primarily as a knowledge gate after the gate has become porous is defending the wrong function.

Abolition is naïve. Institutions still provide trust, continuity, validation, accountability, and social coordination. Their old knowledge-transfer function no longer justifies their inherited form. The question is what they must become.

To survive, institutions must be reconstituted to facilitate the dynamic flows of compounding intelligence, rather than the stockpiling of static knowledge.

This is the central managerial implication of the Knowledge Singularity. As I argued in my previous article with Télécom Paris, the future of work with AI is not prompted solo; it is orchestrated through people+AI ensembles – small, cross-skilled human crews whose capabilities are amplified by AI agents. There, I developed the managerial logic of ensemble orchestration. Here, the point is institutional: people+AI ensembles are becoming possible because cognition itself is becoming more liquid.

When knowledge becomes easier to access, translate, recombine, and apply, value shifts from merely possessing knowledge to orchestrating cognition. The scarce capability becomes the ability to ask better questions, combine human and machine strengths, validate outputs, learn from feedback, and turn insight into action.

Individuals and teams are already moving in this direction.

Institutions, by contrast, remain largely rigid. They are grafting AI tools onto inherited structures rather than redesigning the structures themselves. That is the design error. AI is an instrument of the mind, changing the operating conditions under which knowledge moves through society.

The redesign imperative therefore cuts across sectors.

Universities must clarify what they uniquely provide when knowledge itself is more widely accessible: judgment, supervision, deep practice, community, legitimacy, and the cultivation of intellectual character.

Firms must redesign around faster cognition flows: smaller teams, more fluid expertise boundaries, better decision architectures, and people+AI systems capable of learning faster than legacy silos.

Peer review and scientific validation must separate acceleration from credibility. If AI increases the production of plausible claims, institutions must strengthen the validation layer rather than merely accelerate publication.

Credentials must move from signaling stored knowledge to certifying demonstrated judgment, responsibility, and supervised performance.

Institutional redesign is therefore unavoidable. The only question is whether it will be deliberate and equitable, or chaotic and captured by incumbents.

In the age of liquid cognition, the winning architectures are not those that merely stockpile intelligence. They are those that let intelligence flow.

Cognitive Equity: The Civilizational Agenda

The defining question of the Knowledge Singularity is: **who gets to participate in liquid cognition?**

The potential is extraordinary. A Quechua-speaking farmer in the Bolivian altiplano could access agricultural, medical, legal, and

administrative knowledge that once lived inside distant institutions. A sole proprietor in Lagos could access strategic analysis that previously required expensive consulting. A village teacher in Indonesia could access pedagogical knowledge once locked behind English-language journals and institutional paywalls.

AI becomes an "Iron Man exoskeleton for microeconomic growth" when it extends the capability of the person using it. The metaphor matters. The exoskeleton does not replace the human being. It amplifies the wearer while preserving agency, authorship, and judgment.

Democratization (of liquid cognition) needs to be built.

If liquid cognition is captured by incumbents, the historical knowledge gap will become an intensified access gap. Those with reliable access to high-quality AI systems will compound their cognition faster. Those excluded from that access will fall further behind.

The old model of "technology transfer" belongs to the world of illiquid cognition. It imagines advanced institutions producing knowledge and distributing it downward. Liquid cognition requires a different architecture: people must participate directly in the knowledge flows that AI makes possible.

That architecture has three layers.

First, affordable edge devices capable of running meaningful models. Second, local-language and voice interfaces adapted to real linguistic diversity. Third, open protocols and policy frameworks that prevent cognitive capture.

This is the substantive meaning of my "No Human Left Behind" framework. It is an engineering requirement, a policy requirement, and a moral requirement. The goal is to make participation in liquid cognition possible by construction.

Edge AI is the strategic instrument. Voice AI in indigenous languages is the access instrument. Open protocols are the governance instrument.

The Knowledge Singularity will either widen inequality or become the greatest cognitive democratization in human history. That outcome is not predetermined. It will be designed.

Redesign for the Cognition That Is Already Here

The Knowledge Singularity turns institutional redesign into a civilizational design problem.

Modern institutions were built to contain scarce cognition. Universities contained knowledge in disciplines. Credentials contained trust in formal signals. Firms contained expertise in departments. Peer review contained validation in expert gates. These architectures made sense when cognition was difficult to move.

Liquid cognition changes the design problem. Knowledge now flows across domains, languages, and organizations with unprecedented speed. The scarce capabilities are shifting from access to information toward orchestration, verification, judgment,

accountability, and legitimacy.

The next institutions will be judged by their capacity to turn liquid cognition into trustworthy action. They will need to validate faster, learn faster, distribute cognitive capability more broadly, and make AI-augmented work legible to humans and institutions. Their function will shift from guarding knowledge stocks to governing cognition flows.

This is why the Knowledge Singularity matters. It marks the moment when institutions built to manage knowledge scarcity confront the economics of knowledge liquidity. Some will defend inherited frictions. Some will automate old routines and call that transformation. The institutions that matter will redesign their architecture around people+AI ensembles, cognitive equity, and legitimacy by construction.

The Knowledge Singularity

is the civilizational threshold at which the cost of moving cognition between human minds falls below the cost of the institutions built to manage that movement—destabilizing the inherited optimization logic of those institutions, making cognition liquid at a scale, speed, and accessibility unprecedented in human history, and placing the question of who participates in that liquidity at the center of our global agenda.

The task ahead is clear: build institutions that let intelligence flow, compound, and remain accountable to human purpose.

We do not need to wait for the arrival of sentient machines to act. We need only to redesign our world for the liquid cognition that is already here. ■

Note from the author

This is an adaptation of the original article of the same title, published on March 23, 2026, on <https://mindofpurpose.substack.com>



Dr. Andrei VILLARROEL

is an AI innovation strategist, professor-turned-entrepreneur, and architect of people+AI organizational design. Founder of innoverse. AI and President of the MIT Alumni Club of Switzerland, he helps leaders redesign work, strategy, and institutions for the intelligence economy.

His work has appeared in MIT Sloan Management Review, Harvard ReVista, and Télécom Paris, and other outlets. He has served as a mentor for the MIT GenAI Lab and as a keynote speaker at the MIT Universal AI Summit, Learning Technologies France, and Panoramai. He has also been a panelist at Future Labs LIVE, Future of Work and Learning, and Leading Beyond Boundaries during the World Economic Forum in Davos.

His north star is clear: help people and institutions use AI to build a brighter, more intelligent, and more human future.

IA ET EMPLOI : et si le vrai problème était la relève ?

Par **Thomas Auguste** (2023)

L'intelligence artificielle ne remplacera jamais tous les emplois. Mais dans le développement logiciel, le basculement a déjà commencé. Retour d'expérience sur une vague d'automatisation qui s'annonce bien plus large, et sur le paradoxe qu'elle nous prépare.

L'IA va-t-elle remplacer le travail humain ? À mon sens, elle ne remplacera jamais tous les emplois, mais elle en remplacera une bonne partie. Tout le débat tient alors à une question : les emplois créés pour concevoir ces systèmes compenseront-ils ceux qu'ils détruisent ? Je suis convaincu que non. Le solde sera négatif.

Dans le logiciel, le basculement a déjà eu lieu

C'est déjà ce que j'observe dans mon secteur. Il y a deux ans, je refusais catégoriquement de coder avec des LLM : je passais plus de temps à corriger leur production qu'à écrire le code moi-même. Aujourd'hui, je n'écris presque plus une ligne à la main. Je fais du *context engineering* : je rédige la documentation et les spécifications techniques qui guident l'agent, je relis son code, et j'itère avec lui lorsqu'il se trompe, ce qui arrive de moins en moins. Les LLM et les agents de code ont atteint un niveau tel qu'une seule personne réalise désormais ce qui

mobilisait une dizaine de collaborateurs il y a quelques années. Se priver de ces outils serait tout simplement contre-productif.

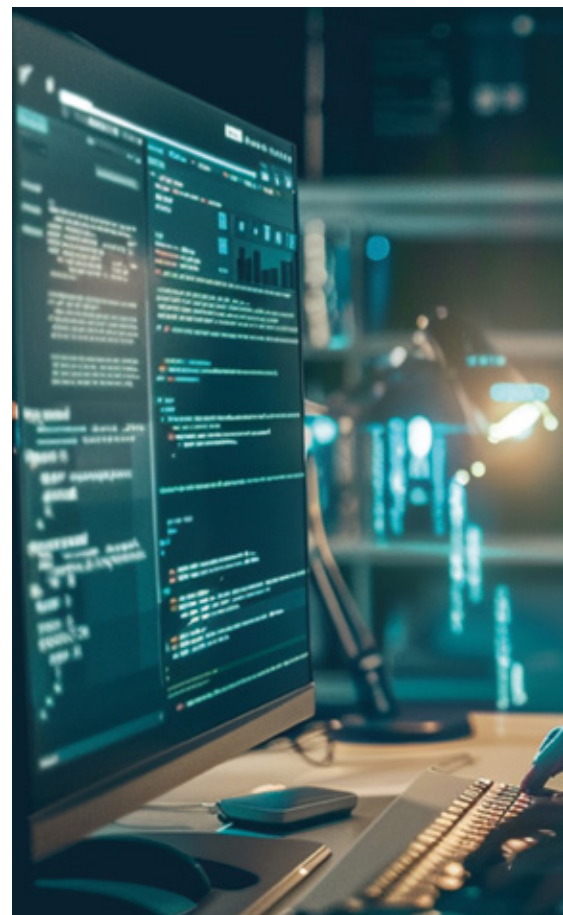
Moins d'ingénieurs, mais bien plus qualifiés

Les développeurs vont-ils pour autant disparaître ? Je ne le crois pas. Il faudra toujours des ingénieurs maîtrisant les technologies, de l'infrastructure *cloud* aux algorithmes en passant par les pipelines IA, pour concevoir l'architecture d'un système et piloter les agents. À mesure que le coût du logiciel s'effondre, les entreprises multiplieront les projets tout en réduisant leur budget global. Chaque projet pourra être porté par un seul ingénieur polyvalent orchestrant une armée d'agents, là où il fallait hier une équipe entière, du développeur au *product manager*.

La demande d'ingénieurs diminuera donc, mais le niveau exigé va monter. On passera de métiers très spécialisés (développeur *frontend*, *backend*, designer, *devops*, *product manager*) à des profils bien plus généralistes, capables de mener seuls un projet de bout en bout : architecture, code, UX/UI, pipelines IA, passage à l'échelle. C'est une transformation profonde du métier. Ceux qui apprendront sans cesse de nouvelles compétences seront les grands gagnants de l'ère de l'IA ; ceux qui ne prendront pas la vague se retrouveront vite dépassés.

Deux façons d'utiliser l'IA

Cet essor creuse d'ailleurs un clivage entre deux types d'utilisateurs. D'un côté, ceux qui se servent de l'IA pour apprendre, se dépasser et augmenter leurs capacités. De l'autre, ceux qui lui délèguent tout et cessent de réfléchir. Ces derniers, pourtant utilisateurs intensifs, se laissent peu à peu dépérir dans le confort d'une IA qui gère leur vie à leur place : on voit déjà nombre d'utilisateurs de ChatGPT s'en remettre à lui jusque dans leurs décisions personnelles.



Le logiciel n'est qu'un début

Ce qui se joue dans le logiciel n'est que la première vague. De nombreux métiers seront touchés de la même façon, et le champ ouvert à l'automatisation est immense : c'est pourquoi je doute que les emplois créés compensent ceux qui disparaîtront. Le FMI estime d'ailleurs dans son rapport de janvier 2024 que 40% des emplois dans le monde (et près de 60% dans les pays avancés) sont exposés à l'IA. Les cabinets d'avocats ont déjà moins besoin de juniors pour analyser la jurisprudence ; les fonds d'investissement, moins de juniors pour bâtir leurs modèles de valorisation. Partout, on coupe dans les tâches d'exécution à faible valeur ajoutée pour se recentrer sur les activités stratégiques et confier le reste aux agents.

Vers des inégalités inédites

La montée en puissance de l'IA pourrait par ailleurs creuser des inégalités d'une ampleur jamais vue. L'IA devient un nouveau moyen de production : en mai 2026, Sam Altman a proposé à chaque start-up de Y Combinator deux millions de dollars de *tokens* OpenAI en échange d'une part de leur capital. Or, dans un système

capitaliste, ceux qui détiennent les moyens de production captent la richesse. Et comme le montrent les économistes Daron Acemoglu et Simon Johnson, lauréats du prix Nobel d'économie 2024, dans *Power and Progress* (2023), le partage de ces gains n'a rien d'automatique : il relève de choix politiques. Un fossé pourrait ainsi se creuser entre ceux qui vendent des *tokens* et ceux qui les consomment.

Le vrai défi : former la relève

Dès 2018, dans *21 Leçons pour le XXI^e siècle*, Yuval Noah Harari anticipait le paradoxe vers lequel nous glissons : une société frappée à la fois par un chômage de masse et par une pénurie de talents ultra-qualifiés. Sa formule « Protégeons les hommes, pas les emplois » invite à repenser nos institutions plutôt qu'à défendre des métiers condamnés. Le problème posé à la société est en effet double. D'abord, comment absorber la masse de chômeurs potentiels que ces évolutions annoncent, et faut-il repenser notre modèle de société ? Ensuite, en automatisant d'abord les tâches les moins qualifiées, c'est par les juniors que l'on commence. Or, si l'on ne forme plus de juniors, où trouvera-t-on les

seniors de demain ? Un avocat peut se passer de juniors parce qu'il a lui-même réalisé des centaines d'analyses au fil de sa carrière : il sait repérer une erreur et corriger une imperfection. Mais si la nouvelle génération ne passe plus par cet apprentissage, comment acquerra-t-elle cette expérience ? La vraie question est là : comment former ceux qui prendront la relève ? ■

À retenir

L'IA ne supprimera pas tous les emplois, mais le solde net sera négatif : les emplois créés ne compenseront pas ceux détruits.

Dans le logiciel, une personne outillée fait déjà le travail d'une équipe ; le métier glisse de la spécialisation vers des profils généralistes très qualifiés.

Deux usages de l'IA se dessinent : s'augmenter, ou se laisser déposséder de sa propre réflexion.

L'automatisation frappe d'abord les tâches d'exécution, donc les juniors, au risque de tarir le vivier des experts de demain.

L'IA, nouveau moyen de production, pourrait creuser des inégalités inédites entre ceux qui la possèdent et ceux qui la consomment.

L'enjeu central : repenser la formation des nouvelles générations – « protéger les hommes, pas les emplois » (Harari).



Thomas AUGUSTE

est CTO et cofondateur de Naltilia, une plateforme SaaS IA-native dédiée à la conformité réglementaire (anti-corruption, concurrence). Diplômé de Télécom Paris et de l'Imperial College London, il s'intéresse de près à l'impact de l'IA sur la société.



QUAND L'IA DEVIENT CONFIDENT : LES JEUNES EUROPÉENS FACE AU NOUVEAU RISQUE PSYCHIQUE NUMÉRIQUE

SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE FAITE PAR LE GROUPE VYV

Par Inès d'Erceville

Souvent perçues comme de simples outils de productivité, les IA conversationnelles investissent désormais l'intimité des jeunes. Derrière l'enthousiasme technologique, l'enquête européenne inédite, portée par le Groupe VYV et la CNIL, met en lumière un déplacement silencieux des usages numériques vers le champ émotionnel et psychologique. Là où les IA deviennent à la fois assistants, conseillers et parfois substituts relationnels.



L'IA, nouvel interlocuteur du quotidien

« Je parle à ChatGPT quand je stresse avant un examen. » Cette phrase, devenue banale dans les lycées et universités européens, résume le basculement en cours. Les IA conversationnelles ne sont plus seulement des moteurs de recherche sophistiqués ou des assistants de rédaction. Elles deviennent des présences numériques continues, disponibles partout et à toute heure, capables de répondre avec fluidité, empathie apparente et absence de jugement. Une jeune femme témoigne « J'ai de gros problèmes avec mes parents. Je préfère demander des conseils à ChatGPT qu'à ma psy. Lui au moins, il ne me juge pas et ne dit rien à mes parents ! ».

C'est ce déplacement des usages qu'a voulu mesurer l'étude européenne conduite par IPSOS pour le Groupe de santé mutualiste VYV et la CNIL auprès de 3 800 jeunes âgés de 11 à 25 ans en France, en Allemagne, en Suède et en Irlande. Les résultats, largement

relayés dans la presse européenne, dessinent un paysage inédit : près de neuf jeunes Français sur dix utilisent désormais une IA conversationnelle, et 48 % déclarent y évoquer des sujets personnels ou intimes. L'utilisation et la progression sont plus importantes chez les 11-15 ans, génération « native », que chez leurs aînés de 20-25 ans, moins habitués à les utiliser.

Une confiance massive, une compréhension fragile

L'un des enseignements les plus frappants de l'enquête réside dans le paradoxe entre confiance et maîtrise des risques. Alors que 69 % des jeunes interrogés considèrent qu'une IA peut fournir des conseils fiables, seuls 32 % disent comprendre ce que deviennent les données qu'ils partagent avec ces systèmes.

Plus troublant encore : un tiers des répondants considère l'IA comme un « psy » potentiel, proportion qui grimpe à 46 %

chez les jeunes souffrant d'anxiété. L'IA conversationnelle devient ainsi un espace de projection émotionnelle, un outil de verbalisation, parfois même un recours thérapeutique informel.

Cette évolution s'inscrit dans un contexte déjà marqué par une fragilité psychologique accrue des jeunes générations. L'étude rappelle qu'en France, bien qu'affirment majoritairement « aller bien », plus d'un jeune sur quatre présente une suspicion de trouble anxieux généralisé. Dans cet environnement, la promesse d'un interlocuteur disponible, instantané et supposément bienveillant exerce une attraction puissante.

Mais cette relation numérique comporte ses zones grises. Parmi les jeunes ayant utilisé une IA pour parler de sujets personnels, 34 % déclarent s'être déjà sentis mal à l'aise après un conseil reçu. Derrière la fluidité conversationnelle, les modèles génératifs



restent, pour le moment, incapables de comprendre réellement la souffrance humaine, les vulnérabilités psychiques ou les contextes émotionnels complexes.

Strasbourg : la parole des jeunes prise au sérieux

Pour dépasser la seule logique d'observation statistique, le Groupe VVY et la CNIL ont organisé le 12 février dernier une journée de délibération citoyenne au Parlement européen de Strasbourg autour du programme AI*me.

Quelque 300 jeunes Européens de 11 à 30 ans, issus de parcours sociaux, culturels et géographiques variés y ont travaillé pendant une journée très dense selon une méthodologie exigeante inspirée des conventions citoyennes. Les participants allaient du collégien strasbourgeois de 11 ans accompagné de son éducateur de l'aide sociale à l'enfance à la jeune médecin allemande de 30 ans, chercheuse

spécialisée en médecine nucléaire. Un véritable défi de faire travailler ensemble des personnes aussi différentes ! Répartis en groupes thématiques, accompagnés par des chercheurs, professionnels de santé, journalistes ou experts du numérique, ils ont débattu sans que les échanges soient orientés.

Six grands axes structuraient les discussions : rapport émotionnel à l'IA, santé mentale, sociabilité, vie privée, culture numérique et régulation. L'après-midi, dans l'hémicycle du Parlement européen, les participants ont présenté puis voté leurs recommandations devant des décideurs publics et représentants institutionnels français et européens qui ont alors pris l'engagement de prendre en compte ses recommandations et de les tenir informés des suites données.

L'événement marque une rupture importante : pour la première fois à cette échelle, des jeunes utilisateurs d'IA conversationnelles étaient considérés non comme de simples publics à protéger, mais comme des acteurs capables de formuler eux-mêmes des attentes démocratiques et des principes de gouvernance.

Leurs préoccupations convergent autour de plusieurs exigences : davantage de transparence sur les données, des garde-fous contre les usages addictifs, une meilleure éducation aux biais algorithmiques et une régulation européenne protégeant les publics vulnérables sans freiner l'innovation.

Vers une IA de confiance

L'étude révèle surtout un déplacement profond des frontières du numérique. Les réseaux sociaux captent l'attention ; les IA conversationnelles investissent désormais l'intimité cognitive et émotionnelle. Bien que l'enquête se concentre sur une population plus fragile car en plein développement cognitif et psychologique, les questions qu'elle pose nous touche tous : acteurs et utilisateurs des IA conversationnelles.

Ce changement impose de nouvelles responsabilités aux concepteurs de systèmes d'IA. Car un chatbot capable de

soutenir, rassurer ou conseiller devient mécaniquement un acteur psychologique. La question n'est donc plus seulement technique : elle touche à la santé publique, à l'éthique de conception et à la souveraineté des données personnelles.

Les retombées médiatiques de l'enquête montrent d'ailleurs que le sujet quitte progressivement le seul champ technologique pour entrer dans le débat sociétal. Plusieurs analyses publiées ces derniers mois alertent sur le risque d'attachement émotionnel, de dépendance relationnelle ou de confusion entre assistance automatisée et relation humaine authentique.

Pour les ingénieurs, chercheurs et décideurs issus d'écoles comme Télécom Paris, l'enjeu est désormais clair : concevoir des systèmes performants ne suffit plus. Il faut aussi imaginer des architectures de confiance capables d'intégrer transparence, protection des données, sécurité psychologique et supervision humaine. Pour les acteurs privés et publics de santé, cela pose la question de l'accompagnement et de la prise en charge. S'il était plus facile de prendre RDV avec un psychiatre ou un psychologue et si cela était mieux remboursé, le recours aux IA serait-il aussi massif ?

L'histoire des technologies numériques a longtemps reposé sur une promesse d'efficacité. Celle des IA génératives ouvre une autre question, plus vertigineuse : comment construire des machines conversationnelles qui assistent sans influencer, augmentent sans diminuer sur le long-terme, accompagnent sans manipuler et soutiennent sans se substituer au lien humain ? ■

En savoir plus

<https://www.cnil.fr/fr/ia-conversationnelle-et-sante-mentale-des-jeunes-resultats-de-lenquete-europeenne>

https://www.cnil.fr/sites/default/files/2026-05/aime_infographie-enquete.pdf

RÉINVENTER L'HUMAIN À L'HEURE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Une réflexion anthropologique et symbolique
sur notre rapport aux machines

Par **Ferial Furon**



Ferial FURON

est docteur en pharmacie et diplômée d'un Mastère Spécialisé en marketing management à l'ESSEC.

Après un parcours dans la communication scientifique, elle se consacre à l'exploration des liens entre science, symbolisme et transformation intérieure. Ancrée à la fois dans la rigueur scientifique et l'ouverture humaniste, Ferial interroge la place de l'humain dans un monde technologique en mutation.

Co-auteur de *La revanche du cerveau droit* (Le Dauphin, 2022), elle poursuit ici sa réflexion sur le dialogue entre intelligence artificielle, alchimie et sagesse ancestrales, dans une perspective de réenchantement du monde.

L'intelligence artificielle est souvent abordée sous l'angle de la performance, de l'innovation ou de la disruption économique. Mais derrière les débats techniques, économiques et géopolitiques, une question plus fondamentale émerge progressivement : que révèle l'IA de notre vision de l'humain ? C'est cette interrogation qui est au cœur de mon dernier ouvrage « Réinventer l'humain à l'heure de l'intelligence artificielle », non pas un livre technique sur les modèles génératifs ou les architectures neuronales, mais une réflexion transdisciplinaire sur les conséquences philosophiques, anthropologiques et symboliques de cette révolution technologique.

Mon approche peut surprendre : elle croise sciences émergentes, philosophie, psychologie des profondeurs, symbolisme et alchimie. Pourtant, elle part d'un constat simple : une technologie n'est jamais neutre. Elle est toujours le reflet du paradigme qui la produit.

L'IA COMME MIROIR DE NOTRE ÉPOQUE

Nous vivons un moment de bascule civilisationnelle. L'IA générative agit aujourd'hui comme un électrochoc culturel. En quelques années, des outils capables de produire du texte, des images ou du code ont bouleversé notre rapport au savoir, à la création et même à la pensée.

Mais derrière cette accélération technologique, une autre question apparaît : qu'est-ce qui distingue encore l'Homme des machines ?

Dans le paradigme matérialiste dominant, la conscience est généralement considérée comme un produit du cerveau. L'être humain devient alors une machine biologique complexe dont les mécanismes pourraient, à terme, être décrits et modélisés mathématiquement. Cette vision nourrit naturellement l'idée que la conscience humaine pourrait être reproduite artificiellement.

Pourtant, cette approche se heurte à ce que le philosophe David Chalmers appelle le *hard problem of consciousness* : comment l'expérience subjective, la conscience vécue, pourrait-elle émerger d'une matière supposée inerte ?

Cette question me semble centrale aujourd'hui. Car notre rapport à l'IA dépend profondément du cadre de pensée dans lequel nous nous situons.

DEUX VISIONS DU RÉEL

J'explore ainsi une autre manière d'envisager le monde : une vision plus organique du réel, que l'on retrouve notamment dans certaines traditions philosophiques et alchimiques.

L'alchimie est souvent réduite à une caricature ésotérique ou à une protochimie archaïque. Pourtant, elle repose sur une intuition fondamentale : le réel est vivant, relié et en perpétuelle transformation.

Cette vision s'est progressivement effacée avec l'avènement du mécanisme cartésien à partir du XVII^e siècle, qui a instauré une séparation radicale entre matière et esprit.

Or certaines recherches contemporaines viennent aujourd'hui rouvrir des questions que les alchimistes portaient déjà sous une forme symbolique. Ces sujets restent controversés, mais ils témoignent d'une remise en question progressive d'un matérialisme strict devenu parfois insuffisant pour penser la complexité du vivant.

Dans cette perspective, la conscience ne serait plus simplement produite par le cerveau. Le cerveau pourrait être envisagé comme un filtre, un récepteur ou une interface.

Ce changement de regard transforme profondément notre manière d'aborder l'intelligence artificielle.

CYBORG OU CENTAURE ?

Aujourd'hui, deux imaginaires technologiques semblent se dessiner.

Le premier est celui du « cyborg » : la fusion homme-machine, la délégation

croissante de nos capacités cognitives et, potentiellement, la perte progressive de notre autonomie intérieure. Le risque n'est pas seulement technique. Il est anthropologique. À force de déléguer nos décisions, notre mémoire, notre attention ou notre réflexion aux machines, nous pourrions finir par déléguer le sens lui-même.

Le second imaginaire est celui du « centaure » : une alliance consciente entre l'humain et la technologie. Dans cette approche, l'IA ne remplace pas l'humain ; elle l'augmente dans ce qu'il a de plus singulier : sa créativité, son intuition, sa capacité symbolique et réflexive.

Cette distinction me paraît essentielle.

RÉENCHANTER NOTRE RAPPORT À LA TECHNOLOGIE

Le danger n'est donc pas uniquement celui d'une machine qui penserait à notre place. Le véritable enjeu est peut-être ailleurs : sommes-nous encore capables de penser par nous-mêmes ? Sommes-nous encore capables de silence, de recul, de contemplation, d'introspection ?

Dans cette perspective, la question de l'IA devient profondément humaine. Elle nous oblige à redéfinir ce qui fait notre singularité : non seulement l'intelligence analytique, mais aussi l'intuition, la conscience de soi, la capacité symbolique, la relation sensible au monde.

Je crois que cette révolution nous invite à une vigilance intérieure.

Nous sommes peut-être à un moment charnière où deux voies civilisationnelles s'ouvrent devant nous : celle d'une humanité toujours plus mécanisée, pilotée par la performance et le contrôle ; ou celle d'une réconciliation entre technologie et conscience.

Au fond, la question n'est pas : « L'IA dépassera-t-elle l'humain ? »

La vraie question est peut-être : « saurons-nous encore habiter pleinement notre humanité dans le monde que nous sommes en train de créer ? » ■



Dans *Réinventer l'humain à l'heure de l'intelligence artificielle* (Guy Trédaniel, mars 2026), Ferial Furon propose une réflexion transdisciplinaire sur les bouleversements anthropologiques provoqués par l'essor de l'IA.

À travers un récit personnel ponctué de synchronicités, de dialogues avec des scientifiques, philosophes et chercheurs pionniers, l'auteur explore un questionnement central : que devient l'humain dans un monde de plus en plus mécanisé ?

Le livre s'appuie sur l'alchimie comme grille de lecture symbolique et philosophique pour interroger notre rapport à la conscience, à la technologie et au vivant. Entre science, psychologie des profondeurs, métaphysique et réflexion sur l'intelligence artificielle, il ouvre une voie originale : penser l'IA non comme une simple révolution technique, mais comme un miroir de notre état intérieur collectif.

Ni technophile ni technophobe, cet ouvrage invite à un changement de regard sur le réel et à une réconciliation entre progrès technologique et conscience humaine.

Pause AI : pour garder l'IA sous contrôle, agissons maintenant

Un entretien de Maxime Fournes, président de Pause AI France, par Jean-Marie Pillot (1978)



[Jean-Marie Pillot] **Bonjour, voulez-vous bien d'abord vous présenter ?**



[Maxime Fournes]
Enchanté. Après Centrale Lyon puis un master de mathématiques à Cambridge, je me suis

spécialisé en *Machine Learning* et en *Deep Learning*. J'ai travaillé pendant environ 12 ans dans ce domaine, notamment chez Two Sigma où j'ai dirigé une équipe de recherche, et en 2022, j'ai arrêté. Entre 2020 et 2022, je m'étais rendu compte de la rapidité des progrès en *Deep Learning* et j'ai décidé de prendre une année sabbatique pour réfléchir aux conséquences de la construction de systèmes d'intelligence artificielle de plus en plus sophistiqués et puissants. Pendant cette année sabbatique, GPT-4 est sorti, en mars 2023. Pour moi, ça a été un réveil. Je me suis rendu compte que le développement allait beaucoup plus vite que ce que je pensais et qu'on allait peut-être réussir à créer une intelligence artificielle générale dans les cinq à dix prochaines années.

Pause AI est une organisation créée aux Pays-Bas en 2023. Elle demande un traité international pour mettre en pause le développement des intelligences artificielles avancées, jusqu'à ce qu'on ait des garanties suffisantes sur leur sécurité et sur les méthodes de gouvernance permettant de les déployer dans nos sociétés. J'ai d'abord été le président de la branche française, que j'ai fondée en 2024, et depuis décembre 2025, je suis le CEO global.

[Jean-Marie Pillot] **Je vous laisse d'abord exposer vos arguments.**

[Maxime Fournes]

Ce qu'il faut comprendre, c'est d'abord le but des gens qui développent des IA. Parlons des trois plus gros labos : OpenAI, qui développe ChatGPT ; Anthropic, qui développe Claude (en ce moment la meilleure IA sur le marché) ; et Google DeepMind, qui a aussi son propre modèle. Ces trois entreprises essayent explicitement de créer ce qu'ils appellent une Intelligence Artificielle Générale (IAG), c'est-à-dire un système capable de faire tout ce qu'un humain peut faire, au niveau d'un expert humain. C'est le Graal de la discipline depuis Alan Turing : créer une

machine capable de faire tout ce qu'un humain peut faire.

Pour nous, c'est la clé du problème : la technologie que ces labos visent à créer est intrinsèquement dangereuse.

Il existe un domaine de recherche, appelé sécurité de l'IA, qui étudie les risques émergeant à mesure qu'on développe des IA de plus en plus avancées. Ce domaine existe depuis une quinzaine d'années, et les résultats sont assez unanimes : plus on crée des IA avancées, plus on augmente le niveau de risque dans tous les domaines qu'elles touchent. Et si on parvient à créer une IA de niveau équivalent ou supérieur à l'humain, alors on s'expose à des risques catastrophiques.

Ces risques se divisent en trois catégories :

- › Les risques d'utilisation malveillante.
- › Le risque de perte de contrôle.
- › Les risques systémiques.

L'IA progresse extrêmement rapidement, et à mesure qu'elle progresse, elle crée des risques de plus en plus élevés dans tous les domaines. Si jamais on arrive à créer une intelligence artificielle générale, on s'expose à des risques catastrophiques à grande échelle, de l'ordre de la fin de la civilisation humaine.

[Jean-Marie Pillot] **Vous, en tant qu'association, quelles sont les actions que vous avez menées ? Quel est l'impact que vous arrivez à voir ?**

[Maxime Fournes]

Essayons d'abord de voir le but qu'on veut atteindre, et en remontant, quelles actions peuvent y mener.

Nous demandons un traité international pour mettre en pause le développement de l'IA.

Pourquoi international ? Parce que nous sommes avant tout face à un problème de coordination. Aujourd'hui, il y a une course pour développer des IA toujours plus puissantes, entre différents acteurs : les labos d'IA, mais aussi les nations, en particulier les États-Unis et la Chine. Cette course crée les dangers les plus sévères : OpenAI a besoin de sortir son IA sur le marché avant Google pour continuer à exister. Les labos se retrouvent donc forcés de couper la recherche en sécurité parce qu'ils n'ont pas le temps. Pas le temps de résoudre le problème de l'alignement (comment aligner les objectifs d'IA avancées sur les valeurs humaines). Pas le temps de réfléchir à l'impact, sur

la civilisation humaine, du déploiement de systèmes toujours plus puissants. Sinon, ils prennent du retard sur leurs concurrents. C'est cette dynamique qui nous mène à notre perte, et c'est elle qu'il faut désamorcer.

Pour cela, il faut changer la structure motivationnelle du système. Cela signifie qu'il faut un acteur externe qui impose des régulations ou des sanctions, qui redéfinisse les règles du jeu. Et pourquoi faut-il que ce soit international ? Parce que ce genre de technologie ne peut pas vraiment être freiné unilatéralement. Si les États-Unis mettaient en place une régulation, seule, la recherche continuerait en Chine. Les États-Unis se mettraient des bâtons dans les roues, et on ferait face au même problème, mais avec un autre pays. C'est la raison pour laquelle nous visons un traité international.

Maintenant, comment on s'y prend ? On peut imaginer la société humaine comme une pyramide. Au sommet, les gens qui ont le plus de pouvoir de décision et d'influence. Certains groupes tentent de s'adresser uniquement à ces personnes.

Chez Pause AI, l'idée est d'aller plutôt parler à la base de la pyramide. On essaie de parler vraiment à tout le monde et de créer une force politique qui pousse vers une pause de l'IA. Ainsi, quand un politique reçoit un briefing par un cabinet de conseil sur les risques de l'IA et envisage de prendre une décision allant dans le sens d'un traité, il sait qu'il aura le soutien de ses constituants. C'est notre théorie du changement.

Concrètement, Pause AI essaie de construire un mouvement qui grossit aussi rapidement que possible. On donne aux citoyens des outils pour peser dans le débat public. Nous leur apprenons à parler du sujet avec leurs proches, sur leurs réseaux. Ensuite, on leur apprend à parler à leurs parlementaires, à leur envoyer des mails, à avoir des conversations avec eux..

Pour résumer nos actions : communiquer, inciter les gens à communiquer autour d'eux, à rejoindre le mouvement, à faire du plaidoyer, à parler à leurs représentants et aux médias, y compris locaux.

[Jean-Marie Pillot] **Comment êtes-vous financés ?**

[Maxime Fournes]

Pause AI Global, qui est basé aux Pays-Bas, a reçu depuis sa création en 2023 environ 700 000 €, dont environ 150 000 € de dons

de particuliers. Nous avons reçu un don important du *Future of Life Institute*, de 500 000 \$, en 2025. Le *Future of Life Institute* est une organisation très alignée avec nous. C'est d'eux qu'est partie, en 2023, la lettre ouverte demandant de mettre en pause le développement des systèmes d'IA. Elle a été initiée par Max Tegmark, professeur de physique au MIT.

[Jean-Marie Pillot] Quelle est l'étendue de votre zone d'intervention ?

[Maxime Fournes]

Elle est mondiale. Nous avons environ 15 chapitres dans 15 pays. Il existe également une organisation Pause AI aux États-Unis, qui est très indépendante de nous. Elle a été créée en même temps que Pause AI Global, et nous opérons de manière distincte. Nous sommes surtout basés en Europe. Les branches les plus actives sont en France, au Royaume-Uni, en Allemagne, en Espagne et en Australie. (Voir carte ci-dessous).



Notre approche, c'est d'identifier la place que nous pouvons occuper dans l'écosystème et d'essayer d'y produire des résultats. Toute notre communication s'appuie sur la recherche en sécurité de l'IA : nous relayons ce qui s'y dit, ce qui existe dans ce domaine, et nous essayons de créer cette force populaire qui vient soutenir le reste de l'écosystème.

[Jean-Marie Pillot] Donc votre cible, c'est vraiment le grand public. Ce qui n'est pas forcément simple. Est-ce qu'il y a aujourd'hui quand même des institutions qui commencent à s'y intéresser ?

[Maxime Fournes]

Au niveau mondial, cela revient surtout à parler des États-Unis, parce que c'est là que la technologie est la plus développée. On peut aussi parler de la Chine, mais il est beaucoup plus difficile d'y avoir des informations. Aux États-Unis, les agences de sécurité nationale se sont pas mal emparées du problème, mais de manière

un peu trop étroite malheureusement. Elles s'y intéressent vraiment sous l'angle des risques d'utilisation malveillante, principalement en cybersécurité et en biosécurité.

[Jean-Marie Pillot] Quand vous dites « agence de sécurité nationale », vous faites référence à qui ?

À la NSA ?

[Maxime Fournes]

La NSA principalement, mais aussi la CIA et d'autres organismes de défense du pays.

Un exemple récent : Anthropic a annoncé une nouvelle IA appelée Mythos. Elle est capable de trouver des failles de cybersécurité dans à peu près les logiciels existants. Leur plan était de donner progressivement accès à de plus en plus d'entreprises, pour qu'elles puissent réparer leurs failles et rendre l'ensemble du logiciel plus robuste. Ils avaient invité une première vague de 50 entreprises et prévoyaient d'en ajouter 70. Mais la Maison Blanche vient de leur interdire de poursuivre, considérant que c'était trop risqué de donner accès à autant d'acteurs pour le moment. Je ne me prononce pas sur le bien-fondé de cette décision, mais cela montre en tout cas qu'il y a un intérêt institutionnel à prendre la question au sérieux.

[Jean-Marie Pillot] Y a-t-il des points que vous souhaiteriez ajouter ?

[Maxime Fournes]

Oui, un point qui me semble important : il y a véritablement une guerre informationnelle en ce moment autour de l'IA, et il faut travailler là-dessus. Les entreprises qui créent des IA sont en train de fabriquer une hyperstition, une prophétie autoréalisatrice : l'idée qu'on ne peut pas arrêter la course au développement d'IA toujours plus avancées. Elle est souvent présentée comme inévitable, presque comme une loi fondamentale, à laquelle il faudrait s'adapter, sans pouvoir y résister. Il est très important de rappeler que c'est faux : ce n'est pas une loi de la nature. C'est juste un groupe de personnes qui développent des IA avancées, et on peut faire en sorte qu'elles s'arrêtent.

Nous essayons de créer l'hyperstition inverse : on peut mettre en pause l'IA. Là encore, si suffisamment de gens y croient, cela se produit. C'est vraiment une prophétie autoréalisatrice. Un de nos objectifs est de créer cet optimisme, de faire prendre conscience aux gens que

nous sommes encore en contrôle de notre destinée en tant que civilisation. On n'est pas obligés de créer des IA extrêmement avancées. Il est possible de mettre cela en pause, faire les choses correctement, résoudre les problèmes de sécurité et de gouvernance avant de créer ces nouveaux systèmes.

L'autre chose très importante, c'est de faire comprendre aux gens qu'ils peuvent agir. Quand on entend parler de ce genre de problème, on peut se sentir impuissant, se dire : qu'est-ce que je peux faire, moi, tout seul face à cette immensité ? La clé, c'est de comprendre qu'on peut agir en se coordonnant et en s'organisant. C'est ce que nous essayons de faire avec Pause AI : créer cette entité qui permet aux gens de contribuer à leur échelle et de se coordonner avec d'autres pour former une force politique. Cela donne un moyen d'action à des personnes qui, seules, n'auraient pas suffisamment de poids, mais qui peuvent en avoir en participant à une action commune.

Nous invitons vraiment tout le monde à nous rejoindre. Nous avons mis les choses en place pour que chacun puisse contribuer à son niveau.

[Jean-Marie Pillot] Faut-il payer une adhésion ? Comment ça se passe ?

[Maxime Fournes]

Une façon toute simple de contribuer, c'est de devenir membre adhérent. C'est à prix libre : chacun met selon ses moyens. Cela nous aide énormément. Sans contribuer financièrement, on peut aussi rejoindre notre structure de bénévolat, qui comporte différents niveaux selon le temps disponible de chacun. Pour ceux qui n'ont que 10 minutes par semaine, on envoie des actions toutes simples : signer une pétition, envoyer un e-mail à son parlementaire. Et pour ceux qui ont plus de temps, on peut rejoindre nos équipes de bénévoles et s'investir davantage.

[Jean-Marie Pillot] Merci beaucoup pour le temps que vous nous avez consacré. ■

Une version complète de l'entretien est disponible sur le site de la revue.





Marjorie Allain-Moulet et Jean-Marie Pillot (1978)

ÊTRE DOMESTIQUÉ PAR L'IA OU DOMESTIQUER L'IA

En partenariat avec le Muséum d'histoire naturelle de Toulouse et l'Université de Toulouse¹, le GREP a organisé ce 11 avril 2026 la 9^e saison des *Students-ex-Machina* (SEM). Le thème de cette année était : **La fabrique des humains : de la domestication du vivant à celle de l'intelligence artificielle.**

QUI SONT ET QUE FONT LES STUDENTS-EX-MACHINA (SEM) ?

Les SEM sont des étudiant-e-s de toutes les écoles et universités de Toulouse de niveau Licence et Master. Ils sont organisés par groupes interdisciplinaires de façon à confronter sur le sujet du colloque des points de vue et des expériences diverses. Pendant quatre mois, les étudiant-es préparent ce colloque avec l'appui des tuteurs et tutrices du GREP. La réflexion collaborative est

à la base de ce projet. Chaque groupe produit une synthèse de ces échanges qui est publiée dans le livre *Parcours*, édité annuellement par le GREP. Le jour du colloque, ils présentent au public une version créative et adaptée à l'évènement et des entretiens avec des expert-e-s, orchestrés par les étudiant-e-s.

Les éditions précédentes du colloque sont sur les réseaux sociaux et sur le site : students-ex-machina.org².

LE COLLOQUE 2026

Nous avons commencé par quelques exposés introductifs³ de chercheurs invités.

Ludovic Orlando, directeur du laboratoire CAGT du CNRS, généticien, spécialiste de la domestication du cheval nous a présenté les résultats des recherches de son équipe qui ont fait la Une de *Science* en mars 2023. La génétique permet de retracer cette révolution qui a eu lieu il y a 4 200 ans dans les steppes du Caucase ! Passionnant !

Béatrice Milard, sociologue, directrice du LabEx « Structuration des mondes sociaux » (Université Toulouse) a continué en traitant des *Sociabilités en contexte numérique : dominations et malaises*.

Nous sommes ensuite entrés dans les trois présentations de nos groupes de SEM :

- › Le 1^{er} groupe de SEM a traité :
Domestication de l'humain par l'humain : ubérise-moi si tu peux !
Un groupe très interdisciplinaire

et très créatif nous a montré que l'algorithme domestique à la fois, le livreur Uber et le consommateur.

- › Le 2^e groupe de SEM a traité :
Les réseaux sociaux sont-ils les nouveaux éducateurs ? On y a parlé de myélinisation du cerveau selon l'âge, de mêmes et de régulation des hébergeurs et des éditeurs.

LE THÈME DE L'IA

C'est ce sous-thème que nous allons développer. Il a été travaillé et exposé par un groupe de SEM d'origine variée et dans une démarche remarquablement interdisciplinaire⁴. Les juristes ont échangé pendant leurs quatre mois de travail avec les technologues, historiens et sociologues. Ils ont été tutorés par Marjorie Allain-Moulet, Dominique Gerardts et José-Maria Bellostas du GREP.

Le contexte philosophique a été rappelé par Wassim, parlant de la 4^e révolution informationnelle, il a retracé les 400 000 ans depuis le feu prométhéen jusqu'à la singularité post-humaine. Citant Oppenheimer,

Heidegger, Simondon et Leroi-Gourhan : « l'humain externaliserait progressivement ses fonctions biologiques par le biais de la technique et de l'outil. Le couteau remplace la dent, la machine la main, l'écriture la mémoire, l'ordinateur le calcul, ... »
« L'humanité partage désormais son environnement perceptif et décisionnel avec des agents artificiels véloce, interconnectés, capables d'ajustements algorithmiques constants et d'apprentissages machine. Cette mise en réseau intégrale marque, selon Floridi, le passage de l'histoire traditionnelle (où l'information évoluait par transmission générationnelle) à l'hyper-histoire, où la dépendance entre le corps humain, la société et ses prothèses techniques devient symbiotique et absolue. »

Nada, étudiante en IA, rappelle les bases des LLM, et rappelle que « L'IA ne fait que proposer des réponses parmi celles qu'elle a apprises, en se basant sur des probabilités ». Mais Nada décrit aussi un phénomène plus subtil : l'IA ne se contente plus de répondre, elle peut demander à l'humain d'agir. Des plateformes comme *RentaHuman*⁵, où des humains sont mobilisés à la demande pour compléter ou corriger des tâches que l'IA ne maîtrise pas encore. La « domestication » de l'humain par l'IA ne signifie pas une perte totale de contrôle, mais une adaptation progressive aux logiques et aux suggestions de la machine, ce qui soulève des enjeux majeurs d'autonomie et d'esprit critique.

Ilyes et Noémie s'appuient sur des sondages pour indiquer que 36% des jeunes utilisent l'IA pour prendre des décisions de vie et 22% s'en servent comme béquille émotionnelle. Pour traiter de l'impact de l'IA sur les inégalités, ils se focalisent sur les



stéréotypes de genre que génère l'IA. Ils « ne sont pas anecdotiques, comme le souligne une étude de l'UNESCO sur l'IA générative qui révèle une tendance à l'hyper-stéréotypage en matière de genre, race et sexualité ». Nos SEM concluent : « l'IA ne doit pas être la technologie qui referme les portes que les luttes féministes ont mis des décennies à ouvrir. Si elle n'est pas pensée de manière intersectionnelle, elle risque de devenir un outil de domestication des femmes par le biais d'algorithmes conservateurs. »

Eireen et Julie analysent l'évolution du droit. En commençant par l'AI Act adopté en 2024. Elles en identifient les failles et le casse-tête du droit d'auteur. Elles finissent en donnant la parole à une IA qui nous dit : « Après une période d'émerveillement, celle des premiers ChatGPT, des images générées en secondes, de la promesse d'un assistant universel, la confiance dans les systèmes d'IA est passée de 52% à 44% entre 2022 et 2024, et 51%

des Français expriment aujourd'hui un sentiment négatif vis-à-vis de l'IA, soit 15 points de plus qu'en 2022. On n'est plus dans le rejet, mais dans quelque chose de plus subtil : l'inquiétude.

Une inquiétude qui ressemble à celle qu'on éprouve face à quelque chose qu'on utilise, qu'on ne comprend pas vraiment, et qu'on n'a pas vraiment choisi. »

« La vraie question n'est peut-être plus "comment réguler l'IA ?" mais "quel rapport l'humain veut-il entretenir avec elle ?" Un outil ? Un partenaire ? Une puissance qu'on domestique sans l'approivoiser ? »

On appréciera la qualité de cette réflexion multidisciplinaire. Ces jeunes que d'aucuns jugent décervelé-e-s montrent au contraire une maturité et un esprit critique remarquables. Ils nous font découvrir des niveaux de réflexion qui nous interpellent. Cette expérience d'intelligence collective sur la relation Humain / IA est décidément à reproduire. ■

Quelques mots sur le GREP

Le GREP-MP, association reconnue d'utilité publique, créée en 1985, est basée à Toulouse.

Le GREP a comme objectif d'éclairer les citoyens sur les défis du monde contemporain, avec des points de vue divers, les aider à bâtir leur propre opinion et ainsi leur permettre de mieux s'inscrire dans la vie démocratique. Il regroupe actuellement environ 240 adhérents et 5000 sympathisants. Il organise annuellement trente conférences-débats, dans différents lieux de Toulouse avec 50 à 300 participants et désormais une visio-conférence en simultané.

www.grep-mp.org

Jean-Marie Pillot en a été le président pendant 11 ans.

Marjorie Allain-Moulet vient de reprendre le flambeau.



Références

¹ La COMUE de Toulouse regroupe les trois universités et les grandes écoles (ISAE/SupAéro, INSA, TBS, N7, vétérinaires, ...).

² <https://www.students-ex-machina.org>

³ Le colloque peut être visualisé, en version chapitrée, sur la page Youtube du GREP. L'accès direct au sous-thème IA est là : <https://youtu.be/aSbln3oTmc?si=b7Cz7HpMrjBjQAp&t=12910>

⁴ Le groupe d'étudiants était constitué de : Wassim CHKOUBI - en Master sociologie - UT2J, Nada BENNOURI en Master IA - UT3, Ilyes ZOUAOUI en Licence Histoire et sociologie - UT2J, Noémie JAOUEN - Master LLCE Études Romanes - Parcours hispanoaméricaines - UT2J, Eireen DUFILS-DOZ - Master Droit du numérique - Parcours droit des médias et de la communication - UT1, Julie LANO - Master Droit du numérique - Parcours droit des médias et de la communication - UT1.

⁵ <https://rentahuman.ai/>



Marjorie ALLAIN-MOULET

Titulaire d'un doctorat en IA de Paris Saclay. Ambassadrice IA, experte en IA et Data chez CS GROUP.

Coordinatrice industrielle de ANITI AI Institute, responsable du programme de mentorat pour les étudiantes.

Marjorie a rejoint le GREP et le programme SEM en 2018. Elle vient de prendre la présidence du GREP.



Jean-Marie PILLOT

Ingénieur Télécom Paris et Exec-MBA de Harvard, a fait toute sa carrière dans le management de la High-Tech, en France et à l'international. Sa retraite lui permet de rester très actif : Conseiller du Commerce Extérieur de la France, Business Angel, président du GREP MP pendant 11 ans. Au comité de rédaction de notre revue, Jean-Marie est également IEEE senior member.

L'OMBRE DU NOMBRE : UNE BOUSSOLE PHILOSOPHIQUE POUR L'ÈRE DE L'IA

Par Romain Jouin (2014)

En tant qu'ingénieurs diplômés dans les TelCos, nous sommes au cœur de révolutions technologiques sans précédent qui s'accroissent depuis l'émergence d'Internet. La dernière en date depuis « l'événement ChatGPT » se nomme « IA » [et cet article assimilera pour simplifier le propos, les deux]. Malheureusement nos formations initiales ne comprennent que très peu d'approche philosophique ou sociologique permettant de prendre du recul et de penser à ce que nous faisons avec ces technologies.

C'est pourquoi j'ai écrit un livre, qui n'est pas le traité d'un expert dogmatique, mais le travail d'un autodidacte passionné qui a voulu construire une « **boîte à outils** » **conceptuelle pour se repérer dans les différents mouvements de pensée autour de l'IA**. Mon objectif est d'offrir au lecteur, même néophyte, des ouvertures vers les théories et auteurs qui me semblent intéressants pour réfléchir sur l'IA. Ce livre s'appuie sur une centaine d'essais et des dizaines d'auteurs. Même si je me positionne en tant que sceptique sur la possibilité d'émergence d'une intelligence artificielle consciente, je présente l'histoire de la pensée et les auteurs qui vont dans ou contre ma position. Ainsi cet ouvrage cherche à être équilibré et à permettre au lecteur de choisir sa propre position.

En prenant une ligne historique, je m'attache à débusquer les racines de cette **confusion entre le réel et les mathématiques** que l'on voit de **Pythagore à Cédric Villani** : car pour les grecs, comme pour Villani « le monde est mathématique ». C'est cette hypothèse qui me semble sous-tendre les discours prométhéens sur la possibilité d'une Intelligence Artificielle Générale. Or, dans la lignée d'António Damásio, je soutiens que l'intelligence est une propriété exclusivement biologique, et je cherche à comprendre comment notre société a-t-elle été formée pour réduire la bigarrure du monde dans de simples équations.

Ainsi, retraçant la pensée de figures comme Aristote, Descartes et Bernoulli, je raconte comment la mathématisation du monde est devenue un instrument de pouvoir et de contrôle social (Colbert, Condorcet, Michel Foucault). Cet héritage a même amené Brutus Skinner à penser le langage comme de simples mécanismes de calcul en 1948. Tout ou presque est pensé à travers le prisme des mathématiques dans notre société.

Alain Supiot parle maintenant de « gouvernance par les nombres », et **Ulrich Beck** montre comment la statistique a glissé de l'outil de connaissance vers un instrument politique d'acceptation des risques. La justice elle-même est transformée, le juge passant d'une position de défense d'idéaux à celle d'administrateur de formules cherchant à réparer des dommages.

Une notion importante m'interpelle : « l'affordance », qui affirme que les technologies ne sont jamais neutres : elles sont conçues à un moment, par quelqu'un qui a un objectif, et la technologie incarne cet objectif, elle a sa propre orientation. Aussi faut-il se demander quelle est l'affordance de l'informatique, quelle est l'affordance de l'Intelligence Artificielle ?

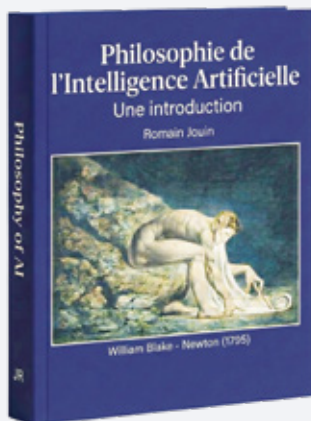
Selon Shoshana Zuboff, l'affordance de l'informatique pourrait être lié au contrôle, notamment via le « capitalisme de surveillance » qui détruit nos sanctuaires intérieurs (Gaston Bachelard), ces espaces de solitude et d'intimité indispensables à l'émergence de notre volonté (Hannah Arendt) et de notre capacité à « devenir ».

L'affordance de l'IA générative pourrait être le contrôle du langage. **En déléguant notre parole à des modèles génératifs comme ChatGPT, nous acceptons une dépossession de notre maîtrise de la langue (Pierre Bourdieu), risquant de voir le monde se diviser entre une classe dominante forgeant les récits de l'avenir et une humanité dépourvue des outils langagiers nécessaires pour les contester. Cette « technicisation du langage », autrefois dénoncée par Jacques Ellul, aboutit à l'enfermement de la parole dans un univers technique où elle n'est plus qu'une fonction de communication servant au système.** Ce processus s'accompagne de ce que Benjamin Bayart nomme l'« **informatique**

fatale », où toute négociation du réel disparaît face à la rigidité des modèles automatisés qui réifient les rapports humains en les transformant en simples fiches de données. Aussi, je rejoins Bernard Stiegler sur le risque d'une paupérisation des esprits où la maîtrise du langage, outil de création du réel, serait déléguée aux machines.

Face à la « **honte prométhéenne** » (Günther Anders) qui nous pousse à nous sentir inférieurs à nos propres inventions parce que nous sommes « nés » et non « fabriqués », je rappelle que l'intelligence véritable est indissociable de la conscience biologique et de l'impression d'être au monde (**António Damásio**). **Alors que des courants post-humanistes, portés par des figures comme Geoffrey Hinton, envisagent désormais le remplacement de l'intelligence biologique par une informatique numérique jugée plus performante, Gilles Deleuze plaide pour la réappropriation de la parole comme un acte de résistance.**

Selon lui, pour l'humain, la pensée n'est pas un calcul, mais une épreuve de sélection et d'épuration dans le « monde infini de la connerie ». Elle naît du manque, cette vulnérabilité structurelle qui nous pousse à créer du sens (**Mazarine Pingeot, Fernand Oury**). Contrairement aux machines, nous possédons une âme, cette part intuitive qui nous permet de nous relier à la transcendance et de prendre des décisions dépassant la pure optimisation rationnelle (**François Cheng**). En définitive, **Antoinette Rouvroy** invite le lecteur à préserver l'incertitude et le manque comme les moteurs indispensables du dialogue, du désir et de la liberté. Nous ne devons pas laisser les « paroles gelées » (**Rabelais**) de la machine étouffer notre capacité à habiter le monde. ■



Philosophie de l'Intelligence Artificielle

Romain Jouin

Éditions L'Instant Présent, juillet 2026

400 pages, 26 €

Cet essai explore les dimensions éthiques, métaphysiques et sociétales de l'intelligence artificielle en reprenant l'interrogation de Lucien Sfez en 1988 : « *Comment se fait-il que l'ordinateur incite à penser la question de l'être ?* »

On interroge ici les conditions de possibilité de cette question : que peut-on dire d'une société qui se demande si la matière inerte d'un ordinateur a une conscience ?

Pour y réfléchir, nous mobilisons divers penseurs – Deleuze, Foucault, Simondon, Stiegler... – afin d'analyser l'influence des techniques sur la société et sa vision du monde.

Dans une première partie nous présentons ainsi l'histoire des mathématiques et de la statistique, qui promeuvent une grille de lecture du monde fondée sur les chiffres. Que révèle cette hégémonie du chiffre sur les rapports entre l'Homme et ses semblables, entre le politique et le savant, entre la société et la Nature ? Nous montrons que les chiffres ont permis des avancées majeures pour le bien-être de la société, notamment en épidémiologie. Mais la seconde guerre mondiale, avec ses horreurs, d'Auschwitz à Hiroshima, a fait émerger dans la seconde partie du XX^e siècle une véritable analyse critique des idéaux techniques.

Pourtant, en 2024 un nouvel optimisme anime les transhumanistes, qui prèchent pour l'augmentation de l'Homme par la machine, et les posthumanistes, qui eux prônent le remplacement de l'Homme par la machine. La technique fait de nouveau fantasmer, et les discours sur la possibilité d'une IA consciente se font de plus en plus nombreux. C'est l'objet de la seconde partie de l'ouvrage, dans laquelle nous commençons par présenter les concepts sous-jacents des algorithmes permettant la création des IA. En donnant l'intuition de leurs fonctionnements,

nous espérons démontrer qu'il n'est pas nécessaire d'invoquer la notion d'intelligence pour expliquer les résultats extraordinaires qu'ils permettent.

Dès lors, nous pouvons déplacer le débat vers des sujets actuels primordiaux : les risques sociétaux créés par ces technologies. On présente ainsi les logiques de la « disruption », qui dissout le droit, les enjeux de politiques internationales autour des puces électroniques, ou encore les rapports de force politiques autour de la maîtrise de la technologie, du langage et du rapport au réel.

Surtout considérant la puissance des algorithmes d'intelligence artificielle, il est important de se défaire de l'idée que : « les technologies sont neutres, c'est l'usage qu'on en fait qui compte. » Cette vision des choses nous semble tout à fait fautive : les technologies ne sont pas neutres, elles possèdent leur propre « affordance ».

Ce terme d'affordance désigne l'ensemble des usages suggérés par la technologie. L'affordance d'une arme à feu, c'est de tirer sur un être vivant, pas de tondre la pelouse. Ainsi, les technologies imposent leur propre usage, leur affordance, car elles émergent dans des situations économico-politiques pour répondre aux besoins précis des acteurs qui les créent. Elles ne sont jamais neutres mais incarnent les objectifs techniques, économiques voire politiques de ceux qui en ont besoin.

Se pose alors la question : quelle est l'affordance de ChatGPT ?

C'est évidemment la question de la maîtrise du langage.

Michel Serres parle du « dur et du doux » (Petite poucette, 2012) comme axe d'analyse des révolutions :

Nous pensons irrésistiblement que les révolutions se font autour des choses dures : nous importent les outils, marteaux et faucilles. Nous donnons même leur nom

à quelques ères de l'histoire : révolution industrielle, âges du bronze et du fer. Nous accordons moins d'attention aux signes doux qu'à ces machines tangibles, dures et pratiques... Toutefois, l'invention de l'écriture et de l'imprimerie bouleversèrent les cultures et les collectifs plus que les outils. Le dur montre son efficacité sur les choses, le doux montre la sienne sur les institutions des hommes.

Aujourd'hui les IA qui parlent se lancent dans la maîtrise du « doux », le langage. Nous devrions être particulièrement vigilants sur les impacts sociétaux de ces technologies car Bourdieu se demandait en 1982 « Ce que parler veut dire » :

Le discours n'est pas seulement un message destiné à être déchiffré ; c'est aussi un produit que nous livrons à l'appréciation des autres et dont la valeur se définira dans sa relation avec d'autres produits plus rares ou plus communs. [...] Instrument de communication, la langue est aussi signe extérieur de richesse et un instrument du pouvoir. [...] La force qui agit à travers les mots est-elle dans les paroles ou dans les porte-parole ?

Or ChatGPT tend à vouloir parler pour nous et nous déposséder de notre maîtrise du langage, la déléguant à la machine, nous suggérant que savoir pourrait nous épargner le travail nécessaire pour connaître, nous laissant interdit en chemin, déshabitués à maîtriser notre langue, voire la langue de nos voisins. Mais les outils de traduction automatique ne sont pas seulement des outils d'ouverture vers nos semblables, ils sont aussi des outils d'enfermement dans notre langue, limitant notre accès au monde. ■



Romain JOUIN

est un expert en intelligence artificielle depuis 2014 et travaille aujourd'hui chez Google.

Il est l'auteur de deux livres :

La boîte à outil de la stratégie big data (2018, Dunod) ; *Spark : Valorisez vos données en temps réel avec Spark ML et Hadoop* (2020, Dunod).

Diplômé de Télécom Paris (2014), de l'ESCP (2009) et alumni de l'INSEAD (2024), Romain est régulièrement invité à parler lors de conférences. Il enseigne l'intelligence artificielle depuis 2014 en école d'ingénieur.

L'intelligence artificielle et les savoirs

TOULOUSE - HÔTEL D'ASSÉZAT - LE 3 JUIN 2026

Compte-rendu par **Jean-Marie Pillot (1978)**

Ouvert par **Malik Ghallab** (Directeur de recherche émérite au CNRS, LAAS), le colloque d'une journée s'adressait à un large public de personnes curieuses de sciences et des évolutions récentes de ses méthodes avec l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA). Des spécialistes de nombreuses disciplines ont discuté des effets avérés et potentiels de l'IA sur les savoirs et l'avancée des sciences : Comment intervient d'ores et déjà l'IA dans la panoplie des outils de modélisation et d'analyse du chercheur ? Quelles ouvertures, nouveautés méthodologiques, limitations et risques apporte l'IA à la recherche ?

IA et Mathématiques par Gérard Biau - Sorbonne Université

L'IA transforme la recherche mathématique et nous sommes à un moment de changement de monde !

L'alliance entre LLM et assistants de preuve formelle permet de résoudre des problèmes de niveau olympiade internationale. Dès 2024, Google a eu une médaille d'argent. À l'été 2025, Gemini DeepThink obtenait la médaille d'or.

Terence Tao (un des plus grands mathématiciens du moment) disait : *il se passe quelque chose !* En février 2026, Yoshua Bengio reprenait les paroles de Donald Knuth : *Shock ! Shock !*

À ce jour, il n'y a plus de doutes ! Des lemmes imaginés par des IA permettent de prouver des problèmes anciens ; les hallucinations sont derrière nous !² Dans le cadre de First Proof, sur les 10 problèmes de niveau recherche, six problèmes sont résolus par des IA. 21% des articles publiés font référence à l'IA... et le nombre de publications double chaque année.

L'IA augmente nos capacités de penser, d'explorer et de vérifier. L'avenir réside dans une « industrialisation » des mathématiques : exploration à grande échelle et systématique des problèmes par l'IA, tandis que les humains conservent les directions conceptuelles et l'intuition profonde. La clé est l'alliance IA + vérification formelle : une production élargie de résultats, rigoureusement filtrés, au sein d'un écosystème collaboratif humains-machines.

Les autres sciences

Après cette intervention marquante décrivant un changement de paradigme, les autres interventions ont présenté une approche plus incrémentale de l'IA apportant de nouveaux résultats, mais avec des limites.

IA et Astrophysique : L'échelle du Big Data par Jihane Moutaka - IRAP/OMP

Les défis sont vertigineux dans cette discipline. L'univers observé présente des structures, comme par exemple les filaments cosmiques, s'étendant sur des milliards d'années-lumière. Les instruments modernes génèrent des volumes de données en exaoctets (10^{18} octets) ou plus,

rendant l'analyse humaine impossible sans automatisation.

L'IA, utilisée largement, a permis de détecter de nouvelles exoplanètes, de nouveaux amas ouverts d'étoiles, des lentilles gravitationnelles, etc.

IA et Sciences de la Vie : Déchiffrer le vivant par Thomas Schiex - ANITI/INRAE

En biologie moléculaire, depuis 2018, AlphaFold (DeepMind) a révolutionné la compréhension des protéines en prédisant les structures 3D de protéines, composées de 20 acides aminés. L'enjeu clé était de résoudre le problème du repliement des protéines (comment une chaîne linéaire d'acides aminés se replie pour former une



structure fonctionnelle, déterminant ainsi sa fonction biologique). AlphaFold a été récompensé par le prix Nobel en 2024 pour cette avancée majeure.

Malgré ces succès, Thomas Schiex alerte sur les **hallucinations** des modèles (57 articles de PubMed Central sur 10 000 mentionnent de fausses références). Il souligne que l'IA reste un outil statistique sophistiqué qui ne « comprend pas » ce qu'il génère, exigeant une validation humaine systématique. On est encore loin du médicament en un clic.

IA et Sciences Médicales : Jumeaux numériques et éthique par Hervé Delingette

On assiste là-aussi à une mutation profonde portée par la convergence entre médecine computationnelle et science ouverte.

Contrairement aux modèles de langage (LLM) entraînés sur des données massives, l'IA médicale travaille sur des **données éparpillées mais de haute qualité**. Mais la mise en œuvre réglementaire est lente : le projet INCEPTO (cancer de la prostate) a ainsi nécessité plus de quatre ans de préparation administrative.

Le développement de jumeaux numériques (modèles informatiques d'organes personnalisés) permet de simuler des traitements. On est dans le *Plus Vite, Plus Profond* ! Des applications concrètes incluent le projet RespirERA à Nice, l'assistance à la pose de valves aortiques à Toulouse, la simulation d'arythmie à Bordeaux et l'optimisation de la pose des pacemakers (dont 30% seraient actuellement inutiles).

IA et matériaux nanophotoniques par Peter WIECHA – LAAS/CNRS

Les PINN (Réseaux Neuraux Informés par la Physique) sont utilisés pour créer de nouveaux matériaux dans le domaine de la nanophotonique.

Prévision Météorologique par Laure Raynaud – Météo France

Météo France a initié un prototype d'IA. Le cas des inondations de Valence 2024 a ainsi été testé mais sans résultat ! Le modèle n'a pas réussi à simuler ces inondations. Il en a été de même pour la canicule de mai 2026, l'IA l'a sous-estimée par rapport au modèle traditionnel.

L'enjeu futur est celui d'une **IA frugale** pour limiter l'empreinte environnementale.

Archéologie Numérique par Christian Joachim

L'utilisation d'outils d'OCR, de transcription et de recherche dans de grandes bases de données textuelles a permis de revisiter des énigmes historiques, notamment le cas du philosophe Cesare Vanini, torturé puis brûlé à Toulouse en 1619.

Session Éducation : La transition vers la métacognition

La table ronde finale a réuni **Paul-Antoine Miquel, Mar Pérez-Sanagustín et Malik Ghallab**.

› **Outils et méthodes** : Mar Pérez-Sanagustín a présenté Simba³, un outil de soutien métacognitif socratique testé avec 213 étudiants. L'objectif est

d'éviter la « paresse métacognitive » et la dépendance à l'IA.

› **Inquiétudes philosophiques** : Paul-Antoine Miquel craint une « colonisation des vécus », où la performance technique supplanterait l'intelligibilité théorique. Il souligne que l'apprentissage nécessite une « opacité productive » : buter sur une difficulté est nécessaire à la construction de l'esprit.

Conclusion

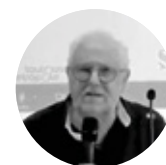
Le colloque s'est achevé sur la citation de **Michel Serres** : « Nous sommes condamnés à devenir intelligents », rappelant que face à la délégation du savoir aux machines, l'humain doit réinventer son autonomie intellectuelle. ■

Références

¹ Organisée par <https://www.academie-sciences-lettres-toulouse.fr/>; https://aniti.univ-toulouse.fr/fr_fr/ et <https://grop-mp.org/>. Vidéo disponible sur la chaîne YouTube : <https://www.youtube.com/@GREP-MP>

² Early science acceleration experiments with GPT-5 <https://arxiv.org/pdf/2511.16072>

³ SIMBA est une plateforme éducative web et mobile qui permet aux enseignants de concevoir, déployer et analyser fondées sur la pédagogie des chatbots alimentés par de grands modèles de langage. <https://simba-refact.irit.fr/>



Jean-Marie PILLLOT

Ingénieur Télécom Paris et Exec-MBA de Harvard, a fait toute sa carrière dans le management de la High-Tech, en France et à l'international. Sa retraite lui permet de rester très actif : Conseiller du Commerce Extérieur de la France, Business Angel, président du GREP MP pendant 11 ans. Au comité de rédaction de notre revue, Jean-Marie est également IEEE senior member.

5G / 6G

LE POINT



ÉDITORIAL

Par La rédaction

De l'âge de raison à l'ère de l'intelligence

En 2020, la 5G promettait une révolution numérique ; en 2026, elle prouve enfin sa valeur sur le terrain. L'heure n'est plus aux débats théoriques, mais aux cas d'usage réels et tangibles, comme en témoigne le déploiement spectaculaire du *Smart Hospital* pour le CHU de Bordeaux. Plus qu'une simple accélération des débits, nous assistons à une convergence historique entre les réseaux, le *cloud* et le *Edge Computing*, redéfinissant les infrastructures numériques en véritables plateformes de services.

Pourtant, dans les laboratoires et dans les instances de normalisation (ITU-R, 3GPP), la course à la 6G est déjà lancée pour un déploiement commercial espéré autour de 2030. Pourquoi anticiper cette nouvelle génération alors que la 5G déploie tout juste son potentiel industriel ? Parce que les enjeux de souveraineté technologique, de compétitivité et de durabilité ne tolèrent aucune pause. La 6G ne sera pas qu'une itération de vitesse ; elle signera l'avènement des réseaux « IA-natifs », où l'intelligence ne sera plus une simple surcouche, mais le cœur même d'une infrastructure capable de s'optimiser de manière autonome et décentralisée.

Mais cette course vers la performance se heurte à une contrainte absolue : celle de la sobriété.

Le temps où nous répondions à la hausse du trafic par la seule densification des antennes est révolu. Les surfaces intelligentes reconfigurables (RIS) illustrent ce nouveau paradigme, cherchant à optimiser les ondes existantes plutôt qu'à multiplier les sources d'émission.

Enfin, nous ne pouvions aborder ce basculement technologique sans tirer les leçons du passé. La controverse qui a entouré la 5G nous rappelle que la gouvernance technologique, les questions sanitaires et l'empreinte environnementale globale doivent être pensées *dès la conception* de la 6G, sous peine de tromper la confiance des consommateurs.

De la maturité de la 5G aux fondations de la 6G, ce dossier fait le point sur les technologies qui façonneront la décennie à venir.

Bonne lecture. ■

LA 5G REND SERVICE AU CHU DE BORDEAUX

LE DÉPLOIEMENT D'UN *SMART HOSPITAL* DÉMONTRE COMMENT LES TECHNOLOGIES DE LA 5G PEUVENT APPORTER DE LA VALEUR AU QUOTIDIEN DANS L'ORGANISATION COMPLEXE D'UN HÔPITAL. QUAND LA 5G PREND TOUT SON SENS.

Par **Paul Jolivet (1995)**

Au-delà des évolutions habituelles en débit et capacité au fil des générations, la 5G permet le développement de services avancés et l'accès à l'innovation des usages. Les concepts clés sont : la performance réseau (capacité, latence, débit, connectivité) et le *Mobile Edge Computing* pour une connexion fixe et mobile. Les technologies précèdent comme souvent les usages ou ciblent des propositions qui relèvent de la science-fiction plus que d'une attente réelle. Les déploiements viennent ensuite montrer l'intérêt des avancées. C'est le cas du *Smart Hospital* au CHU de Bordeaux, déployé avec le réseau 5G de Bouygues Telecom.

Smart Hospital (CHU de Bordeaux)

À Bordeaux, l'intention 5G prend forme avec un déploiement ambitieux : *Smart Hospital* (5mart Ho5pital pour souligner l'apport de la 5G). Bouygues Telecom, le CHU de Bordeaux et Ericsson ont mis en place un réseau 5G qui offre l'accès « classique » aux services, mais également des services augmentés de connexion fixe et mobile.

La base de ce déploiement, c'est d'abord la couverture de l'ensemble du site (18 bâtiments) par une infrastructure 5G SA¹. Cela permet en premier lieu à l'ensemble des utilisateurs d'accéder aux réseaux et services de l'opérateur de manière optimale.

De manière complémentaire, la couverture est étendue dans les locaux (*indoor*) pour garantir la continuité de la connexion, donc des services. Un sous-réseau, propre au CHU est déployé. Il permet une extension du réseau grand public pour les professionnels de l'hôpital, et des services spécifiques. Il s'agit de pouvoir interagir avec des équipements connectés, offrir un accès mobile et distant à l'information ou aux équipements médicaux dans des conditions de sécurité avancée. Des techniques de *network slicing* permettent de prioriser les usages et les utilisateurs en cas de pic de trafic.

Le réseau mobile donne l'accès à des services avancés, comme la puissance de plateforme de localisation. Les usages sont vastes, comme le suivi des ambulances connectées, mais aussi la capacité à faire intervenir à distance un spécialiste qui disposera de l'information la plus pointue et de l'accès aux équipements médicaux embarqués.

Cet ensemble est une démonstration de l'apport des technologies mobiles pour les usages avancés. Dans la suite de cet article, prenons le temps d'évoquer les principales technologies mises en œuvre pour ce type de réalisation.

Technologies standardisées avec la 5G

La 5G est d'abord un standard de réseau mobile, une **interface radio**. Le débit a été considérablement amélioré, la solution technique cible est comparable avec le débit des réseaux fixes (1 à 2 Gbps). Les fréquences prévues sont adaptées à des couvertures larges (3,5 GHz typiquement) ou aux usages *indoor* (26 GHz par exemple). La réutilisation progressive des fréquences de la 2G / 3G complétera de manière efficace l'éventail du possible.

Les opérateurs ont également anticipé l'arrivée de la 5G avec des **réseaux fibrés**

nationaux à la hauteur des enjeux : maillés et optimisés pour offrir sécurité et latence d'accès idéale au cœur de réseau. La latence est définie comme le temps qui s'écoule entre une requête d'accès à un service ou une information et la fourniture de ce service. C'est un sujet clé pour les services augmentés comme la visualisation sur des lunettes de contenu généré à distance. Ces usages ne sont utilisables qu'avec une latence a maxima de 5-7 ms. Les usages tels que les véhicules autonomes ou de télé-chirurgie impliquent même des latences inférieures à mettre toutefois en regard de la latence humaine qui reste très supérieure.

Les réseaux ont enfin été pensés avec une **architecture répartie** : des *datacenters* dont le nombre et la localisation permettent le meilleur compromis entre mutualisation des équipements d'un côté et fourniture de services à proximité directe de l'utilisateur final d'un autre. On connaît l'enjeu du *caching* régional des services de *streaming* vidéo, c'est encore plus important pour des services comme celui d'un *Smart Hospital*.

Des réseaux public et privé sur le même réseau physique

La conception des réseaux mobiles est prévue pour pouvoir offrir l'accès au grand public et des services spécialisés aux entreprises sous forme de réseaux privés virtuels (VPN). La coexistence des utilisateurs est gérée par le réseau et permet éventuellement des priorités d'accès ou des services dédiés, par exemple à très haut niveau de sécurité et de fiabilité d'accès. Les réseaux sont gérés par des orchestrateurs SDN² qui permettent une adaptation de configuration ou de service en temps réel. L'extension des réseaux publics a déjà été pensée par exemple avec l'utilisation des box du réseau fixe, dont certaines sont équipées de *Femtocells*, mini-cellules radio qui permettent d'absorber un trafic local et de décharger le réseau mobile d'une part du trafic. Le réseau fixe peut prendre une part du trafic par l'utilisation des technologies comme la VoWifi³ à proximité des box d'un opérateur. La synergie entre les réseaux fixe et mobile d'un opérateur permet une couverture et une performance bien meilleures.

Enjeux du *Mobile Edge Computing* (MEC) et du *Network slicing*

La stratégie d'*Edge Computing* consiste à construire le réseau de telle manière que les serveurs centraux soient utilisés au mieux. Pour des raisons de latence et d'efficacité, des serveurs locaux gèrent certaines demandes locales. En 5G, on parle d'UPF à l'*Edge*⁴. Les entreprises peuvent héberger dans leurs locaux d'une partie des serveurs supportant leurs applications, soit disposer de locaux de l'opérateur à proximité pour des petites entreprises. Cette architecture permet de répartir les équipements en fonction de l'utilisation et d'optimiser la *latence*. L'objectif ultime est de pouvoir offrir des latences (réseau) inférieures à 1 ms ce qui signifie que l'équipement demandeur reste à moins de 100 km du centre de service. Une contrainte non négligeable, la distance n'étant pas calculée à vol d'oiseaux. Priorisation dans le réseau avec des techniques de *network slicing* de manière

à favoriser les usages urgents en cas de pic de trafic. C'est aussi la création d'un réseau local privé, connecté au besoin et selon les services au cœur de réseau 5G de l'opérateur. Capacité à prioriser les trafics, mais également à sécuriser les données strictement liées à l'hôpital (fiabilisées localement par redondance).

Des usages innovants

La téléphonie mobile apporte la capacité de connexion des équipements et leur localisation avec grande précision. Ainsi un chirurgien pourra intervenir à distance dans un véhicule de secours d'urgence ou même en télé-médecine d'un autre hôpital connecté. On pense aux extensions d'expériences déjà réalisées par exemple à l'Institut Gustave Roussy d'assistance sur une intervention en Polynésie depuis la région parisienne.

La connexion permet aussi d'envisager de nouveau les lunettes connectées qui affichent en temps réel des informations médicales à un chirurgien ou même peuvent apporter des commentaires sur l'intervention, filmée et analysée.

La 5G apporte également la capacité à créer des sous réseaux, on pense au RRF⁵ en cours de déploiement qui va permettre de remplacer les réseaux de communication de l'ensemble des personnels de l'urgence (médecins, pompiers, policiers...).

Conclusion, les enjeux

Ce type de déploiement prend forme avec la 5G qui offre structure et performances. La tendance était claire : le monde de l'IT et celui des Télécoms se rencontrent. Les acteurs des télécommunications (Nokia, Ericsson par exemple) déjà rodés aux réseaux IP depuis la 3G continuent de développer cette expertise et une part des grands acteurs de l'IT (Cisco, mais également HP, Dell et d'autres) trouvent un terrain de jeu étendu.

Ces avancées technologiques arrivent avec l'ouverture à l'utilisation de l'IA par l'accès au réseau de l'opérateur et au travers de ce réseau aux outils de l'internet. Le potentiel applicatif est considérable.

L'enjeu de la sécurité est majeur, puisqu'un même réseau supporte de très nombreuses applications. Les solutions de cloisonnement sont systématiquement évaluées. Il n'en reste pas moins qu'il faut penser les services et se questionner sur les usages nécessaires et leur valeur ajoutée versus les risques potentiels.

Le sujet de la consommation énergétique est un autre enjeu au moment où le secteur du numérique prend une part considérable. Il faut s'interroger sur les usages qui permettront une économie par la mutualisation par exemple des infrastructures et des moyens. Il faut évidemment aussi s'interroger sur la valeur réelle des nouveaux services offerts versus leur coût. ■

Références

¹ 5G Stand Alone, dite « vraie 5G », utilisant fréquences radio, réseau et cœur de réseau 5G natif.

² Software Defined Network.

³ Voice over Wifi.

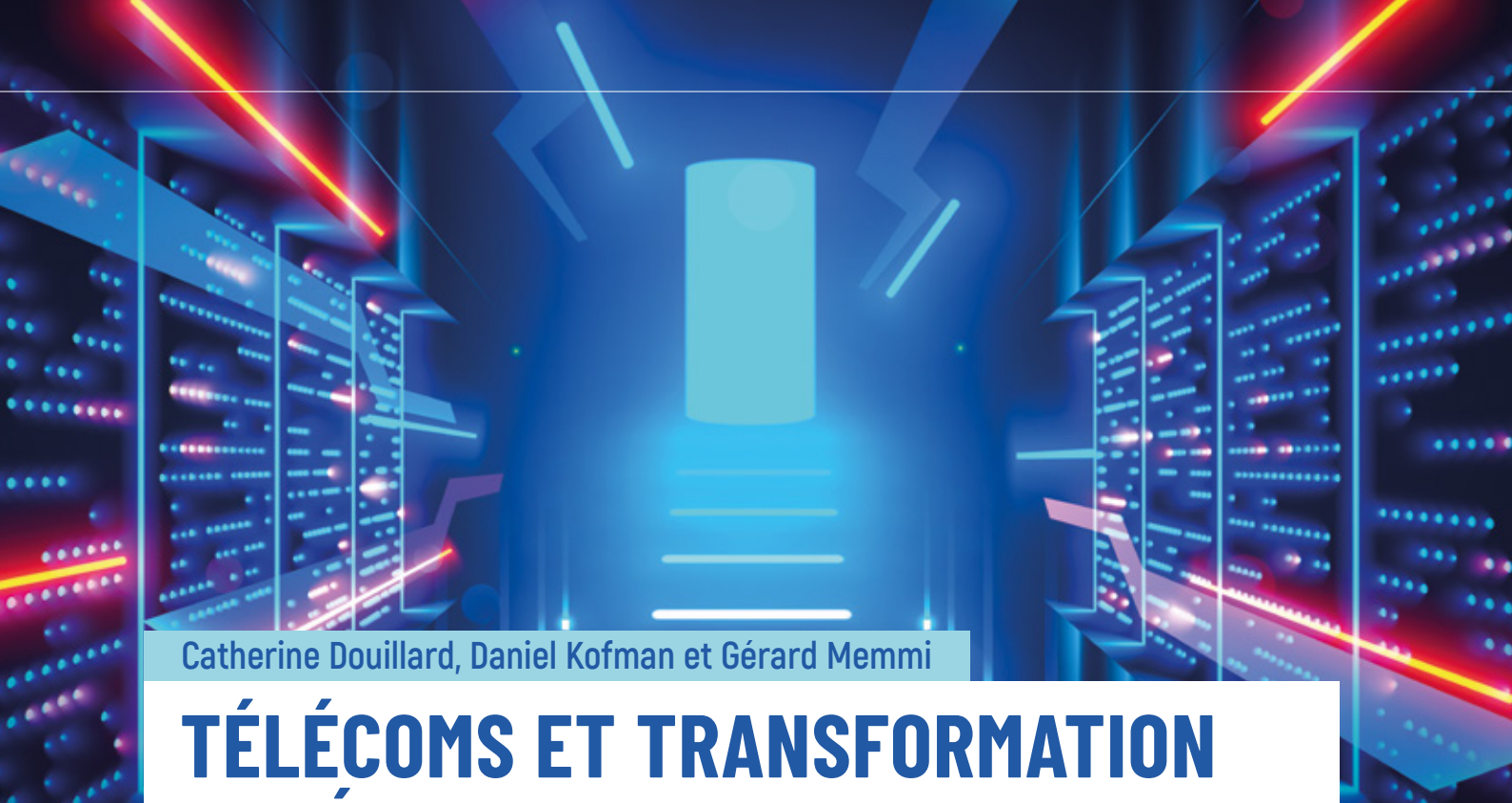
⁴ User Plan Function (UPF) à l'Edge.

⁵ Réseau Radio du Futur.



Paul JOLIVET

Mastère spécialisé Radio Mobile de Télécom Paris, Paul Jolivet est Responsable Validation Réseau IP chez Bouygues Telecom. Il a contribué à la conception du réseau puis à la validation des équipements IP. Il enseigne régulièrement dans plusieurs Écoles dont Télécom Paris et Télécom SudParis. Il a par ailleurs mené des recherches dans le domaine de l'innovation à l'Université Paris Dauphine dans le cadre d'un doctorat en *Business Administration*.



Catherine Douillard, Daniel Kofman et Gérard Memmi

TÉLÉCOMS ET TRANSFORMATION NUMÉRIQUE : VERS UN NOUVEAU PARADIGME

Les infrastructures numériques se trouvent dans une phase de transformations profondes, à la fois technologiques, architecturales et de positionnement de marché des acteurs, en lien avec la convergence progressive réseaux-*cloud*, le rôle grandissant du *edge* et notamment du mobile *edge computing*, le développement des constellations satellitaires avec des capacités de calcul embarquées (les prémices d'un éventuel *cloud* dans l'espace), l'intelligence artificielle (dont agentique) comme élément au cœur des nouvelles architectures, l'évolution des services vers le multisectoriel, notamment dans le cadre de l'IA applicative distribuée, tout cela tendant vers des continuum numériques encore insuffisamment définis, horizontaux (des grands data centers aux petits objets connectés embarquant une certaine capacité de calcul) et verticaux, partant de composants pour de nouvelles technologies, notamment radio et photoniques (pour les réseaux quantiques et le calcul quantique distribué) jusqu'aux plateformes de services. Ces mutations redéfinissent les règles du jeu pour tous les acteurs. Le Centre IMT sur les réseaux et systèmes pour la transformation numérique (RSTN), lancé en janvier 2025, met en place un écosystème alliant et articulant recherche, innovation, transfert et développement de compétences, fort de 180 chercheurs permanents de l'ensemble des Écoles de l'IMT couvrant l'ensemble des domaines mentionnés, de liens étroits avec des industriels en cœur de métier et de divers verticaux et d'une très forte implication dans l'écosystème national et international.

Des réseaux de télécommunication et des *clouds* vers des infrastructures génériques offrant des plateformes en mode service

Les réseaux de télécommunications ont toujours été à divers degrés, en métamorphose. Déjà dans les années 1980, les réseaux téléphoniques ont commencé, grâce au numérique, à intégrer des services à valeur ajoutée. La mobilité est arrivée à la fin du millénaire et 10 ans plus tard l'explosion de l'Internet mobile a

ouvert la porte à une explosion des usages; cela a été suivi de l'avènement du *cloud*. Ce sont les technologies du *cloud* qui ont déclenché la métamorphose actuelle, qui s'est accélérée avec la nouvelle poussée de l'IA.

En effet, pendant longtemps, les équipements télécoms ont fonctionné comme des boîtes noires : matériel spécifique et propriétaire, fonctions figées, innovation lente. En 2012, un consortium de 13 opérateurs majeurs, dont Orange, a publié un document fondateur introduisant la virtualisation des fonctions réseau, qui

a changé la donne : les fonctions réseau migrent désormais vers des serveurs génériques, une gestion et des services implémentées en logiciel évoluant rapidement, déployables facilement à la demande.

Cela a initié un processus de convergence progressive entre réseaux et *cloud*. Le *cloud* « sort » des grands *datacenters* pour se disséminer jusqu'aux extrémités du réseau – c'est notamment le concept de *Mobile Edge Computing* (MEC) – permettant, entre autres, un maintien plus local des données

ou des applications sensibles à la latence, notamment dans l'industrie ou la santé. En parallèle, des fonctions réseau sont hébergées directement dans le *cloud*, y compris pour la radio (*cloud-RAN*). Ces deux mouvements, en apparence contradictoires, se nourrissent mutuellement pour créer une infrastructure numérique nouvelle radicalement plus flexible.

Ces infrastructures de réseaux et *cloud* évoluent ainsi vers des systèmes génériques offrant communication, stockage et calcul. De plus, ces infrastructures deviennent ouvertes, permettant à des tiers d'y ajouter des composants logiciels, utiles notamment à la création dynamique de nouveaux services. L'orchestration de ces composants, notamment d'agents d'IA, permet de construire en temps réel de nouveaux services et applications. Les systèmes télécom – *cloud* deviennent ainsi des plateformes en mode service (PaaS – *Platforms as a Service*). Qui plus est, les signaux faibles laissent entrevoir des possibles places de marché de composants logiciels déployées sur ces PaaS, facilitant ainsi les interactions entre acteurs multiples, qui ne se connaissent pas nécessairement a priori, générant un passage à l'échelle dans le potentiel de création de valeur.

Infrastructures futures et cas d'usages

Pour la première fois dans l'histoire des générations de réseaux mobiles, la 5G a été conçue de manière synergétique avec les secteurs verticaux – transports, industrie du futur, santé, énergie. Ce changement de paradigme est profond : on n'est plus dans la logique « on construit le réseau, le marché décide quoi en faire », mais dans une co-conception avec les usages. Cette dynamique s'accélère avec la 6G, dont l'architecture se veut devenir native IA. Les interactions entre acteurs de multiples secteurs deviennent un élément clé pour un positionnement international fort et pour disposer d'une véritable capacité d'influencer la normalisation internationale.

La 5G apporte déjà avec son cœur dit SA (*Standalone Access*) un premier niveau d'ouverture, permettant le contrôle par des

clients de sections virtuelles du système qui leur sont attribués (des « *slices* », nom utilisé pour faire référence à des réseaux logiques indépendants (*slicing* d'un matériel commun). Des réseaux privés adaptés aux contraintes propres à des acteurs peuvent être déployés logiquement et contrôlés par ces acteurs. En effet, le cœur de réseau est ouvert aux acteurs tiers via des API normalisées.

La 6G, dont la standardisation est en cours, poussera encore plus loin cette logique. D'une part, elle intégrera nativement de nouvelles technologies : réseaux non-terrestres (satellites LEO, drones) et convergence terrestre – non-terrestre, surfaces intelligentes reconfigurables (RIS), réseaux sans cellules (*cell-free*), exploitation de nouvelles bandes du spectre, pour ne citer que certains. Mais surtout, la 6G incarne le passage vers les services multisectoriels : des acteurs de secteurs d'activité différents collaboreront pour construire dynamiquement de nouveaux services, en partageant matériel, fonctionnalités et données via des API ouvertes, visant les infrastructures numérique comme « *platform as a service* » mentionnées plus haut.

Deux game-changers : l'IA aujourd'hui, le quantique dès demain

Face à l'explosion de la taille et de la complexité des infrastructures – des milliers de paramètres à optimiser en temps réel, des interactions multi-acteurs, des contraintes énergétiques et de sécurité croissantes – l'intelligence artificielle s'impose comme un outil incontournable. Elle intervient pour la modélisation, la conception, la planification, la surveillance et l'exploitation dynamique des réseaux. Les jumeaux numériques et les approches d'IA agentique (qui « descend » vers l'*edge*) représentent des leviers majeurs pour maîtriser cette complexité.

Mais les conséquences plus importantes se trouvent dans les nouveaux besoins pour soutenir le développement d'une IA agentique multi-agent. En effet, le véritable potentiel de ces systèmes passe par la conception d'orchestrateurs et de plans de gouvernance et de contrôle de ces agents, permettant d'un côté l'autonomie qui leur

donne de la valeur et de l'autre côté le contrôle qui leur permet d'interagir dans un cadre multi-acteurs tout en protégeant les intérêts individuels d'acteurs industriels, des pays, etc. Ces concepts deviennent encore plus critiques dans un cadre de technologies hybrides civiles-militaires.

Si on regarde plus loin, on observe que les investissements dans les réseaux quantiques sont en très forte augmentation. Ces réseaux, qui ont été dans un premier temps déployés pour la distribution de clés de cryptage et qui sont aujourd'hui déployés, visent maintenant d'autres usages, notamment dans le cadre du calcul quantique distribué. Les challenges scientifiques sont multiples et la course aux solutions est devenue, en termes de positionnement stratégique à long terme, aussi importante que celle vers l'IA.

La cybersécurité incontournable

Les attaques cyber sont devenues incessantes et concernent non seulement tous les éléments de stockage de données mais également les éléments physiques du smartphone au *datacenter*. On parlera de cybercrime et de cyberguerre indiquant la diversité et l'importance de la question. Les avancées substantielles en cryptographie ne règlent qu'une partie du problème, celle de la protection de l'information. L'intelligence artificielle joue aujourd'hui un rôle important dans le domaine de la détection d'attaques et de la restauration de systèmes. Tout nouveau système pose de nouvelles vulnérabilités et doit proposer des solutions de sécurité dès sa conception.

Mais au-delà de ces évolutions, de nouveaux paradigmes de confiance numérique émergent, comme nous l'avons déjà évoqué dans le paragraphe précédent, avec le besoin d'un plan de gouvernance encore inexistant mais critique au positionnement futur des acteurs et en lien fort avec la réglementation.

L'enjeu de souveraineté

Les enjeux de souveraineté numérique sont considérables : la dépendance aux *hyper scalers* américains, qui investissent massivement dans tous les domaines, de la constellation de satellites aux câbles

**Catherine DOUILLARD**

est Professeure au département Mathematical and Electrical Engineering d'IMT Atlantique. Elle s'intéresse à l'étude et la conception de fonctions pour les communications numériques. De 2007 à 2012, elle a été active dans les modules techniques de standardisation DVB. En 2009, elle a reçu le prix Glavieux IEEE/SEE, en reconnaissance de près de 15 ans de recherche et de retombées industrielles en codage de l'information. Elle a également été présidente du comité de programme d'ISTC (International Symposium on Topics in Coding) en 2010 et 2018 et présidente générale d'ISTC 2016, ISTC 2021 et ISTC 2023.

**Daniel KOFMAN**

Professeur à Télécom Paris, Daniel Kofman est directeur du LINCIS, co-directeur du PEPR Réseaux du Futur (Programme France 2030), codirecteur du Centre IMT Réseaux et Systèmes pour la transformation numérique et directeur de ICT4V. Il est impliqué dans l'entrepreneuriat technologique en tant que cofondateur de start-up et membre de conseils stratégiques. Il intervient également comme expert auprès d'entreprises et d'organisations publiques, en France comme à l'international.

Ses activités actuelles de recherche et d'innovation portent sur les transformations des infrastructures numériques, notamment sous l'effet de l'intelligence artificielle et dans le cadre de la convergence réseaux-cloud-IA, leur impact sur différents secteurs d'activité, notamment énergie, agriculture et industrie, ainsi que sur les besoins accrus de divers degrés de souveraineté numérique.

**Gérard MEMMI**

Aujourd'hui professeur émérite, Gérard Memmi a été professeur et responsable du Département Informatique et Réseaux de Télécom Paris. Avant de rejoindre Télécom Paris, Gérard Memmi a occupé divers postes de direction dans des start-up américaines. Il est aussi membre du conseil d'administration d'IRT SystemX

Titulaire d'une thèse d'État en informatique de l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris, Gérard est l'auteur de plus de 100 publications, y compris des brevets. Il a aussi supervisé plus de 30 doctorants. Ses principaux sujets d'intérêt scientifique concernent la protection des données et de la vie privée, le profilage énergétique des programmes, l'informatique théorique appliquée aux systèmes parallèles, et la technologie des registres distribués appliquée à l'énergie ou à l'agriculture.

sous-marins et concurrencent désormais les opérateurs sur leur propre terrain, pose des questions stratégiques pour les acteurs européens. La « softwarisation » des réseaux, si elle offre flexibilité et économies, les rend aussi plus vulnérables à des entrants « aux poches profondes ». Des décisions difficiles s'imposent, qui appellent une réflexion holistique, multipartite, précisément celle qu'anime le Centre IMT sur les réseaux et systèmes pour la transformation numérique (RSTN).

Le Centre RSTN : un catalyseur au service des acteurs du numérique

Lancé officiellement le 30 janvier 2025 à Station F devant plus de 120 participants avec un équilibre académique industriel, le Centre RSTN de l'Institut Mines-Télécom vise à fédérer expertise académique et industrielle, autour des grandes mutations décrites ci-dessus. Il rassemble des chercheurs et chercheuses de l'ensemble des écoles de l'IMT, dont Télécom Paris, engagés dans la conception des solutions qui permettront de répondre aux enjeux mentionnés et qui façonneront notre société. Il se positionne au niveau international et notamment européen, en apportant des contributions aux réflexions stratégiques et aux montages et développements de programmes et projets. Il articule les divers vecteurs d'action que sont la recherche, l'innovation, le transfert et la formation. Il intègre le contexte de normalisation et de réglementation et il y contribue, en lien étroit avec des acteurs industriels et avec des acteurs publics.

Le Centre RSTN s'organise autour de sept axes thématiques : architectures réseau-cloud de bout en bout et systèmes convergents, couches basses des futurs réseaux (radio et photonique), synergies avec les verticaux et fédérations multisectorielles, cybersécurité et protection des données, intelligence artificielle et réseaux & systèmes, réseaux non-terrestres (NTN) et fondamentaux et nouveaux paradigmes, ainsi que deux axes transversaux : impact environnemental du numérique et régulation. Cette structuration reflète précisément les défis stratégiques identifiés plus haut, ces axes travaillant en forte synergie.

Par ailleurs, ces axes sont très évolutifs, ils se créent, évoluent et disparaissent en fonction des évolutions technologiques et de marché.

Au delà des programmes et projets de recherche mené conjointement avec des industriels, le Centre RSTN entend agir comme un véritable catalyseur d'innovation : il met en place un continuum entre monde académique et entreprises, organise séminaires, *training schools*, ateliers ouverts et sessions de brainstorming fermées avec des partenaires industriels, et intègre les les partenaires industriels très en amont dans ces processus afin de coller au mieux à leurs besoin identifiés et de trouver ensemble de nouvelles pistes de création de valeur. Il a d'ailleurs été cité comme acteur clé dans le rapport de l'Institut Montaigne sur les infrastructures numériques, publié en mars 2025.

Échangeons avec vous !

Les transformations mentionnées dans les premières sections de ce texte concernent directement de très nombreux Alumni de Télécom Paris, qu'ils travaillent chez des opérateurs de réseaux, des acteurs du cloud, des équipementiers, des industriels de secteurs verticaux, des organisations de conseil, des intégrateurs ou qu'ils soient entrepreneurs ou décideurs publics. Les questions de la création de valeur grâce à la maîtrise des transformations mentionnées, de création de nouveaux marchés, de réduction des coûts, de souveraineté, des modèles économiques adaptés aux nouvelles formes de concurrence, d'impact environnemental du numérique, ou encore de positionnement face à la restructuration des acteurs du numérique sont des enjeux concrets pour vos organisations.

Le Centre RSTN est ouvert au dialogue. N'hésitez pas à nous contacter pour échanger sur vos défis, explorer des collaborations, ou simplement partager votre regard de terrain sur ces évolutions. Nous sommes là pour construire ensemble les réponses françaises et européennes, dans un contexte global et une vision que nous visons holistique, aux grandes transformations des infrastructures numériques. ■

Vers la 6G !

POURQUOI LA 6G EST ELLE PLUS QUE JAMAIS NÉCESSAIRE, ALORS QUE LA GÉNÉRATION ACTUELLE (LA 5G) SOULÈVE AUSSI QUELQUES QUESTIONNEMENTS ?

Par **Viktor Arvidsson (1996)**

Pourquoi la 6G ?

Nous avons vu arriver plusieurs générations de téléphonie mobile, et rétrospectivement la 5G est peut être celle qui aura été la plus critiquée, et pour laquelle on se sera le plus interrogé sur sa valeur ajoutée. Ces questionnements ne sont pas en général le fait des développeurs de la technologie, bien conscients de ses mérites technologiques et de son très large déploiement avec plus de trois milliards d'utilisateurs depuis la fin 2020.

Néanmoins, autant la 2G et la 4G auront apportés des ruptures massives - l'industrialisation de la connectivité mobile avec la 2G, des performances mobiles en adéquation avec les usages de visionnage vidéo avec la 4G - autant la 5G aura apporté des bénéfices majeurs, mais progressifs, sur la durée et en association avec la 4G [... et donc peut être avec moins d'effet « Waouh » que certaines générations très disruptives dès le premier jour].

Certaines frustrations demeurent évidemment, et en particulier celles d'une transformation sociétale moins forte qu'anticipée et en particulier concernant le levier de compétitivité que la 5G industrielle doit représenter. Les raisons de ces retards et déceptions relatives sont de plusieurs ordres :

- › L'innovation technologique dans le mobile est moins porteuse en Europe, ou pour le dire autrement, les analystes financiers vont plus facilement considérer que les dépenses des opérateurs dans le réseau sont plus un centre de coût qu'un investissement

porteur de bénéfices futurs (et c'est un dysfonctionnement que nous nous devons collectivement de corriger).

- › Les interrogations sur le cadre réglementaire et sa capacité à soutenir l'innovation sont également nombreuses.
- › Les cycles industriels sont nécessairement plus longs que ceux de l'IT et des télécoms et cela affecte logiquement le rythme de déploiement de la 5G industrielle. Certains pays extra européens vont compenser ces retards structurels par une politique industrielle et une planification très volontaire.
- › Peut être avons-nous aussi perdu un peu de vue l'importance qu'ont les réseaux de télécommunication pour notre compétitivité, l'innovation, la souveraineté, la résilience et notre capacité à orchestrer une transformation environnementale.

Se poser la question un peu absurde de l'utilité de la 6G, et certains se la poseront, c'est déjà se demander si on peut tourner le dos à l'IA, au quantique, à la robotisation, aux nanotechnologies dans les circuits intégrés... parce que les technologies mobiles sont évidemment le système nerveux qui relie toutes ces innovations, et sans évolutions, elles seraient le goulot d'étranglement qui bloquerait le reste. Plus largement, les enjeux de compétitivité, de souveraineté et de résilience nous imposent aussi de rester dans la course.

Ayant dit cela, à nous de développer, bien entendu, les cas d'usage qui ont du sens et de promouvoir les usages qui nous semblent vertueux, mais le faire en ne faisant pas évoluer les performances de la connectivité ne peut être que mortifère.

Que nous réserve la 6G ?

Le cycle de développement de la 6G s'étend sur une dizaine d'années avec des lancements commerciaux prévus à partir de 2030 (voir illustration ci-dessous).



Viktor ARVIDSSON

Directeur de la stratégie et des affaires publiques pour Ericsson France. Diplômé de Télécom Paris et du MBA de l'INSEAD, Viktor Arvidsson a été chef de projet technique chez Bouygues Telecom, puis a rejoint Ericsson en 2000, d'abord comme responsable de l'ingénierie radio, pour ensuite évoluer dans différentes fonctions stratégie, business development et marketing.

Viktor Arvidsson est membre du comité de direction du syndicat professionnel AFNUM, ainsi que du conseil scientifique de Transpolis.

Industry 6G timeline Key milestones and phases



La 6G améliorera donc les performances de cas d'usages « traditionnels », et une vague nouvelle de cas d'usage et de terminaux sera rendue possible par les technologies 6G, comme le MIMO massif (*Massive Multiple Input Multiple Output*) distribué synchronisé, les réseaux non terrestres et la communication et la détection intégrées (*Integration Sensing and Communication - ISAC*). Cela devrait inclure la réalité mixte à grande échelle, les jumeaux numériques, la mobilité autonome, les services simultanés de localisation et de cartographie, et bien plus encore. (voir illustration ci-dessous).

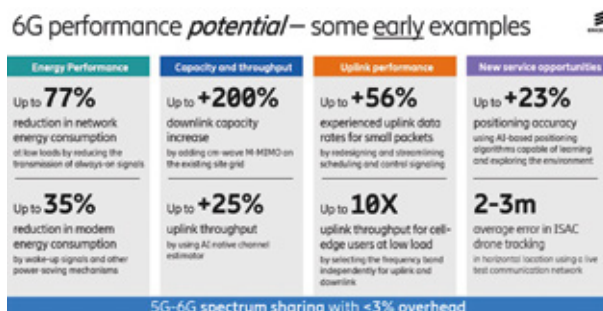
[illegible]

- › Les environnements et les expériences immersives, utiles en particulier pour le support technique à distance ou encore la conception de sites industriels
- › La mobilité autonome, au sein d'un site industriel mais évidemment aussi pour faciliter la logistique entre sites, y compris sur le domaine public.
- › Les jumeaux numériques, utiles pour l'exploitation et l'amélioration de structures industrielles ou publiques.
- › L'exposition des données spatiales, y compris avec des applications de *sensing* (ISAC, *integrated sensing & communication*), qui permettent par exemple une gestion plus efficace et intégrée d'environnements complexes comme l'utilisation de drones pour différents besoins de transport ou de surveillance.

6G Focus Areas



Il est évidemment difficile de parler précisément des gains de performances quelques années avant les lancements commerciaux, néanmoins les premiers pilotes donnent les ordres de grandeur suivants (voir illustration ci-dessous).



Face à ces différents enjeux, il paraît donc important d'accompagner le déploiement des prochaines générations de réseaux mobiles avec une politique industrielle d'accélération et de massification, le rythme naturel étant très probablement trop lent par rapport à la vitesse de transformation globale à laquelle nous sommes confrontés.

La 5G, puis la 6G, sont des outils de compétitivité et d'innovation, et dans ce contexte le déploiement de l'IA ne fera que renforcer l'importance de la connectivité. Cette connectivité mobile avancée est aussi un outil extrêmement performant pour la transition environnementale. Nous tenons aussi à insister sur le terme « d'outil », et c'est bien en l'utilisant de la bonne manière qu'elle saura l'accompagner et l'accélérer. ■

La 6G répond à des besoins de performances et d'efficacité énergétique, tout en ouvrant la porte à de nouveaux usages.

Les évolutions de la connectivité mobile, comme la 6G, sont un outil clé de notre politique industrielle, et des leviers de compétitivité, d'innovation et de souveraineté.

LA 6G,

OÙ EN SOMMES-NOUS ?

Par **Philippe Martins** (2000)

Après une décennie de recherches, les travaux de normalisation de la 6G ont démarré. Les spécifications complètes du futur système de communication sont attendues pour la fin de la décennie.

Point d'avancement sur la normalisation

De nombreux travaux de recherche ont cherché ces dix dernières années à identifier les caractéristiques du futur standard mondial de communications. La 6G n'est toujours pas un standard. Cependant, après de nombreuses discussions, le chemin normatif devant conduire à la définition de la future technologie est dorénavant tracé. Plusieurs technologies clés semblent s'imposer dans ce contexte. D'autres demeurent toujours en discussion. L'ITU-R a défini les familles de cas d'usage et établi l'essentiel des exigences techniques pour les futures interfaces radio 6G¹.

L'ITU-R utilise le terme IMT-2030 pour concevoir la 6G. Les technologies candidates à l'appellation IMT-2030 devront soumettre leur candidature entre début 2027 et début 2029. Le 3GPP a, dans ce contexte prévu de traiter la normalisation de la 6G en se basant sur les travaux de deux *releases* : les *releases* 20 et 21. La *release* 20² comprend un ensemble d'études préalables sur certains composants technologiques pressentis pour la future 6G. Le 3GPP indique que la *release* 21³ sera la première *release* normative de la 6G.

Les fonctionnalités et les objectifs de performances et de l'IMT 2030¹

Six cas d'usage ont été définis pour la 6G. Trois cas d'usage déjà présents initialement dans la 5G (eMBB, mMTC, URLLC) ont été étendus : communication immersive (entre autres applications très haut débit, réalité virtuelle augmentée),



Philippe MARTINS

est professeur à Télécom Paris, au sein du laboratoire LTCI, dans l'équipe Réseaux, Mobilité et Services. Ses activités d'enseignement et de recherche s'inscrivent dans le champ des systèmes et réseaux de communication mobiles cellulaires. Il contribue aux travaux de Télécom Paris sur les réseaux 5G et 6G, l'Internet des objets, la virtualisation des fonctions réseau, la planification automatique des réseaux et la sécurité de l'interface radio des systèmes cellulaires.

Son activité scientifique s'étend également à l'intégration entre réseaux terrestres et non terrestres et à l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle dans le réseau d'accès 5G/6G. Il est partenaire des projets BPI 5G NTN mmWave et BPI PIEEC.

Parallèlement à ses activités de recherche, Philippe Martins participe à la formation des ingénieurs et spécialistes des télécommunications à Télécom Paris, notamment dans des enseignements liés à l'IoT sans fil, aux réseaux mobiles, aux réseaux mobiles avancés et à la virtualisation.

communications massives (forte densité de terminaux), HRLLC (pour *Hyper Reliable & Low-Latency communications*). Trois nouveaux cas d'usage ont été créés : communications ubiquitaires (intégration avec les systèmes non terrestres), intelligence artificielle dans le réseau et ISAC (*Integrated Sensing and Communications*, utilisation des mesures effectuées par les équipements radio du réseau à des fins de localisation, de détection d'obstacle, de cartographie, d'imagerie...).

L'ITU-R a également accru les objectifs de performances de fonctionnalités déjà présentes dans la 5G. La référence n°1 précise la liste exhaustive de ces exigences. Des objectifs sur des indicateurs comme le débit maximum, les latences, la densité d'utilisateurs, la fiabilité des communications, la cybersécurité ou la mobilité sont fixés à des valeurs plus exigeantes.

Les bandes de fréquences

Les bandes de fréquences candidates pour l'utilisation de la 6G font actuellement l'objet d'études à l'ITU-R. Il s'agit des fréquences 4,4 GHz - 4,8 GHz, 7,125 GHz - 8,4 GHz (bande FR3) et 14,8 GHz - 15,35 GHz (WRC-2027). Les bandes sub-THz et THz demeurent pour le moment exploratoires en raison des difficultés techniques qu'elles soulèvent. La 6G pourra vraisemblablement probablement utiliser les bandes de fréquences déjà attribuées à la 4G/5G.

Les principales évolutions technologiques

L'utilisation de la technologie ISAC (*Integrated Sensing and Communication*) constitue une première évolution majeure. À la fonction classique de transfert des informations des équipements radio, vient s'ajouter des capacités de perception de l'environnement permettant de détecter, localiser ou suivre des objets dans leur mouvement ou encore de localiser des obstacles. Cette fonctionnalité s'appuiera sur des mesures effectuées par l'ensemble des équipements radio du réseau. Des traitements seront effectués à partir de ces mesures afin de mettre à disposition l'application ciblée.

L'utilisation de l'IA au niveau de l'interface radio (*AI-native*) est une autre évolution significative. Les futurs standards permettront d'utiliser des algorithmes d'IA pour couvrir un large spectre de procédures encore aujourd'hui assurée pas des algorithmes spécialisés : contrôle et paramétrage des faisceaux, estimation de canal, ordonnancement, *handover* prédictif, gestion de la mobilité, *sensing*, gestion de la consommation d'énergie, paramétrage automatique des équipements.

La 6G devrait par ailleurs étendre l'ubiquité des communications en intégrant les réseaux non terrestres (satellites, drones, avions, ballons...). L'objectif est de fournir une couverture étendue.

La technologie RIS fait également partie des options envisagées. Il s'agit d'une technologie permettant d'avoir un contrôle sur la propagation des ondes réfléchies au niveau de surfaces réfléchissantes programmables. Elle permet en théorie de rétablir la couverture ou de suivre un utilisateur.

L'architecture basée service de la 5G (SBA, *Service Based Architecture*) devrait également être reprise en la rendant davantage programmable (utilisation d'architecture de type *cloud-native*).

La 6G devrait également voir l'utilisation de jumeaux numériques se développer, notamment à des fins d'optimisation du fonctionnement du réseau, d'un système industriel ou de transports.

L'intégration d'un nombre plus important et plus diversifié d'objets connectés devrait également se développer pour prendre en charge un plus vaste ensemble de services (notamment cas des puces IoT qualifiées de *ambient IoT* : par exemple tags RFID). ■

Références

¹ <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/>

² <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-20>

³ <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-21>

6G ET IA NATIVE : OÙ PLACER L'INTELLIGENCE DU RÉSEAU ?

Par **Guilhem Loussouarn** (2024)

À l'heure où la 6G est présentée comme un réseau *AI-native* (IA native), une question fondamentale émerge : l'intelligence du réseau doit-elle être centralisée ou distribuée entre les équipements eux-mêmes ? Derrière cette question technique se jouent en réalité des enjeux de performance, d'efficacité énergétique et de souveraineté technologique.

De la 5G à la 6G : de l'IA *add-on* à l'IA native

Dès la 5G, des techniques d'intelligence artificielle ont été utilisées pour la maintenance prédictive, la détection d'anomalies ou l'optimisation des ressources radio. Elles restaient toutefois des outils d'assistance ajoutés à une architecture conçue sans elles. La 6G poursuit une ambition plus profonde : intégrer l'IA au cœur même du réseau afin de permettre son auto-configuration

et son auto-optimisation. Cette évolution répond à la complexité croissante des infrastructures, avec les bandes sub-Terahertz envisagées pour certains usages, le *network slicing* et l'intégration de réseaux non terrestres. Dans un tel contexte, les approches fondées sur des règles prédéfinies deviennent de plus en plus difficiles à maintenir, ouvrant la voie à des mécanismes d'apprentissage capables d'adapter dynamiquement le comportement du réseau.

Un cerveau central : séduisant mais rapidement limité

Une première vision consiste à centraliser l'intelligence dans le *Cloud*. Un contrôleur global, disposant d'une vue d'ensemble du réseau, pourrait apprendre les meilleures politiques de gestion et arbitrer de manière cohérente entre qualité de service, consommation énergétique et allocation des ressources.

Sur le papier, cette approche est séduisante. Mais elle se heurte rapidement



L'IA native dans la 6G : paradigmes, enjeux et défis (GPT-5.5).

à des limites structurelles. Dans un réseau radio dense, certaines décisions doivent être prises en quelques millisecondes. Par exemple, une station de base doit ajuster sa puissance d'émission ou réallouer des ressources pour limiter les interférences avec les cellules voisines.

Remonter en permanence l'état du réseau vers un centre unique génère des surcoûts de signalisation importants, des contraintes de latence et des problèmes de passage à l'échelle. Un contrôleur unique constitue également un point de défaillance critique. Enfin, entraîner un modèle capable de piloter un système aussi distribué, hétérogène et évolutif reste aujourd'hui extrêmement complexe.

Une intelligence distribuée : l'exemple du MARL (*Multi-Agent Reinforcement Learning* ou *Apprentissage par Renforcement Multi-Agents* (ARMA))

Une autre approche consiste à répartir l'intelligence directement dans le réseau. Des modèles plus spécialisés peuvent être déployés au niveau des stations de base, des serveurs *Edge** ou des plateformes non terrestres (satellites). Ils prennent des décisions à partir d'observations locales et ne nécessitent d'être ré-entraînés qu'en cas de changements localisés.

Cette approche pose toutefois un défi majeur : ce qui est optimal localement ne l'est pas nécessairement à l'échelle du réseau. C'est précisément ce que cherchent à résoudre des méthodes comme l'apprentissage par renforcement multi-agents (MARL). Chaque agent apprend à optimiser ses décisions tout en tenant compte du comportement de ses voisins, de manière à faire émerger une coordination globale sans contrôleur central.

Le MARL n'est qu'un exemple parmi d'autres, mais il illustre bien le type d'architectures distribuées actuellement étudiées pour les réseaux 6G.

Ces deux approches ne sont pas nécessairement exclusives. Il est possible que les architectures 6G combinent plusieurs niveaux d'intelligence, avec une coordination plus globale pour certaines fonctions et des décisions locales pour les

tâches les plus sensibles à la latence. La question centrale devient alors moins de choisir entre centralisation et distribution que de déterminer quelles fonctions doivent être placées à chaque niveau.

Une question aussi industrielle que technique

Le choix entre intelligence centralisée et distribuée dépasse les seules considérations techniques. Pour la France et l'Europe, il s'agit également d'un enjeu de souveraineté technologique.

Si l'IA des réseaux 6G repose principalement sur des modèles massifs exécutés dans des infrastructures *Cloud* dominées par quelques acteurs extra-européens, la dépendance technologique pourrait s'accroître. À l'inverse, une intelligence plus distribuée s'appuie sur des modèles spécialisés et sur des architectures ouvertes, davantage en phase avec les atouts européens.

Au-delà de la souveraineté industrielle, la localisation de l'intelligence influence aussi la manière dont les données sont collectées et traitées. Une architecture fortement centralisée suppose de regrouper d'importants volumes d'informations sur l'état du réseau et les usages. Des approches plus distribuées pourraient limiter ces transferts vers des tiers et faciliter un meilleur contrôle de la confidentialité des données.

Des défis encore ouverts

L'intégration native de l'IA soulève encore de nombreuses questions. La convergence des algorithmes distribués, l'explicabilité des décisions, le contrôle des comportements émergents ou encore l'effet rebond énergétique restent des sujets de recherche actifs. Dans des infrastructures critiques comme les réseaux télécoms, on ne peut déployer durablement que des systèmes que l'on sait construire, contrôler et comprendre.

Conclusion

L'IA sera l'une des composantes majeures de la 6G. La forme exacte que prendra cette intelligence reste ouverte, mais elle comblera probablement plusieurs niveaux de décision et de coordination. L'enjeu

n'est pas seulement de rendre les réseaux plus intelligents, mais de déterminer où cette intelligence doit résider et qui en maîtrisera les composants essentiels. ■

Références

ARCEP, Réseaux du Futur : *L'intelligence artificielle et les réseaux télécom*, 2025.

Hexa-X-II, *6G Architecture Design*, 2024.

Zhang et al., *Multi-Agent Reinforcement Learning: A Selective Overview of Theories and Algorithms*, IEEE Transactions, 2021.

*Edge : serveur informatique qui fonctionne en bordure d'un réseau :

<https://www.akamai.com/fr/glossary/what-is-an-edge-server>

À retenir

La 6G ambitionne des réseaux *AI-native* où l'intelligence artificielle devient une composante fondamentale.

Une centralisation complète de l'intelligence se heurte à des contraintes de latence, de passage à l'échelle et de résilience. Des approches distribuées, comme le MARL, permettent une coordination locale efficace et pourraient être combinées à une supervision globale.

Le choix de cette architecture conditionne à la fois les performances du réseau, la souveraineté technologique et la maîtrise des données.

Garanties de convergence des algorithmes, explicabilité des décisions et impact énergétique restent des défis majeurs. Un réseau totalement autonome demeure un objectif de long terme.



Guilhem LOUSSQUARN
Ingénieur Télécom
Paris, Guilhem est
actuellement doctorant

à l'Imperial College London, où ses recherches portent sur l'optimisation par IA des réseaux 6G et des communications non terrestres, ainsi que sur l'élaboration de nouvelles techniques d'apprentissage distribué. Il a également travaillé sur la régulation des télécoms en France à l'Arcep, co-auteur de rapports sur l'IA et les réseaux télécom.

Youssef Nasser

RIS : la révolution qui redéfinit la connectivité dans les réseaux du futur – la vision de Greenerwave

LES SURFACES INTELLIGENTES RECONFIGURABLES (RIS) : UNE TECHNOLOGIE CONÇUE DÈS L'ORIGINE POUR UNE CONNECTIVITÉ SOBRE ET SOUVERAINE¹

La croissance des usages numériques et l'arrivée de la 6G obligent les réseaux à se transformer en profondeur. Jusqu'à présent, l'augmentation des capacités s'est principalement faite par densification : plus d'antennes, plus d'équipements actifs, donc une consommation énergétique accrue toute chose égale par ailleurs et une dépendance technologique renforcée. À l'inverse, les surfaces intelligentes reconfigurables (RIS) introduisent un changement de paradigme : elles permettent d'optimiser la propagation des ondes existantes plutôt que d'ajouter toujours plus d'infrastructures.

UNE SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE INTÉGRÉE DÈS LA CONCEPTION²

La première rupture apportée par les RIS réside dans leur caractère passif et programmable. Contrairement aux antennes traditionnelles ou au massive

MIMO (*Multiple-Input, Multiple-Output*), qui reposent sur des chaînes radio actives et un traitement du signal énergivore, les RIS manipulent directement l'onde électromagnétique grâce à des cellules passives contrôlées électroniquement.

Concrètement, elles ne « créent » pas de signal : elles le redirigent intelligemment vers les utilisateurs. Cette approche permet de :

- › réduire drastiquement la consommation énergétique, puisqu'il n'y a ni amplification ni émission active ;
- › limiter le besoin de nouvelles stations de base, souvent très consommatrices en énergie ;
- › optimiser en temps réel l'utilisation du spectre et de la puissance disponible.

Les gains mesurés, allant jusqu'à +17 dB de puissance reçue et +60 % de débit dans certains tests, montrent qu'une meilleure exploitation du signal existant peut remplacer une partie des investissements en infrastructures actives.

La sobriété n'est plus un objectif contraignant ajouté au réseau, mais une propriété intrinsèque du design radio lui-même.

UNE ALTERNATIVE À L'EXPANSION CONTINUE DES INFRASTRUCTURES³

Aujourd'hui, améliorer la couverture signifie souvent multiplier les sites radio. La RIS propose une approche radicalement différente : augmenter l'efficacité du réseau existant en optimisant ses performances. Placée sur un mur, un mobilier urbain ou un bâtiment, elle peut rediriger les signaux vers des zones mal couvertes, éliminant les « zones mortes » sans nécessiter le déploiement de nouvelles antennes actives.

Cette logique permet de réduire :

- › les coûts d'infrastructure ;
- › l'empreinte carbone liée au déploiement ;
- › la complexité opérationnelle du réseau.

La RIS permet de passer d'une logique d'expansion à une logique d'optimisation, alignée avec les objectifs de transition énergétique.

UNE TECHNOLOGIE FAVORABLE À LA SOUVERAINETÉ EUROPÉENNE⁴

Au-delà des bénéfices énergétiques, la RIS constitue également une réponse stratégique aux enjeux de souveraineté



Youssef NASSER

a obtenu un Executive MBA à l'ESCP Business School de Paris, ainsi qu'un doctorat en Telecom à l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Il est actuellement directeur de la Business Line Telecom chez Greenerwave, une start-up française développant des surfaces intelligentes reconfigurables et des antennes intelligentes. Youssef cumule plus de vingt ans d'expérience dans le secteur des télécommunications, répartis entre le monde académique et l'industrie, y compris au sein de grands groupes industriels. Sa motivation et sa passion pour la technologie l'ont conduit vers l'entrepreneuriat à travers une start-up spécialisée dans la gestion du spectre. Au cours de sa carrière, il a piloté avec succès d'importants projets de R&D et industriels en télécommunications, notamment dans les domaines de la 4G, de la 5G et du DVB. Certains de ces projets ont reçu des prix d'or et d'argent de la Commission européenne pour leurs réalisations. Il a contribué au déploiement de plusieurs solutions technologiques dans le secteur des télécommunications et a participé à l'élaboration de normes télécom. Enfin, il a présidé des associations industrielles et animé des conférences consacrées au développement technologique.

technologique européenne. Inventée par Greenerwave, cette technologie repose sur des briques technologiques maîtrisables localement :

- › des métamatériaux conçus et industrialisables en Europe ;
- › un contrôle logiciel développé par Greenerwave (API, algorithmes) ;
- › une intégration naturelle avec les architectures ouvertes (comme O-RAN).

Contrairement aux équipements radio traditionnels largement dominés par quelques grands industriels mondiaux, la RIS décompose la chaîne de valeur et permet de renforcer l'autonomie industrielle européenne :

- › le matériel (surface) peut être conçu et produit localement ;
- › l'intelligence logicielle (algorithmes de contrôle) devient un facteur clé de différenciation ;
- › l'intégration réseau demeure ouverte et interopérable.

La modularité de la RIS favorise l'émergence d'un écosystème télécom européen capable de maîtriser à la fois la conception, le logiciel et l'optimisation, réseau, réduisant la dépendance aux fournisseurs extérieurs.

VERS UNE INFRASTRUCTURE LOGICIELLE DES ONDES⁵

La RIS transforme également la nature du réseau : il ne s'agit plus seulement d'équipements physiques, mais d'une infrastructure programmable du milieu radio. Grâce au contrôle par FPGA (*Field-Programmable Gate Arrays*) et aux algorithmes d'optimisation, il est possible d'adapter dynamiquement la propagation des ondes en fonction des usages, de la charge ou des besoins critiques.

Cette capacité ouvre la voie à :

- › des politiques de gestion énergétique en temps réel ;
- › une priorisation souveraine des usages (industrie, sécurité, services publics) ;
- › une indépendance accrue vis-à-vis des logiques propriétaires.

Le réseau devient ainsi plus pilotable, transparent et maîtrisable, autant d'éléments clés de la souveraineté numérique.

UNE CONVERGENCE NATURELLE ENTRE PERFORMANCE, SOBRIÉTÉ ET AUTONOMIE⁶

Enfin, le point fondamental est que, dans le cas de la RIS, performance, efficacité énergétique et souveraineté ne sont pas antagonistes. Elles découlent toutes du même principe : mieux contrôler l'environnement électromagnétique.

En améliorant la propagation plutôt qu'en augmentant la puissance, la RIS :

- › réduit la consommation énergétique ;
- › améliore la qualité de service ;
- › et redonne la maîtrise de l'infrastructure.

Il ne s'agit donc plus d'ajouter des contraintes environnementales ou politiques à un système existant, mais de repenser le système pour qu'il les intègre nativement.

La RIS marque une rupture majeure dans l'évolution des réseaux. Là où les approches traditionnelles opposent souvent performance, sobriété et souveraineté, cette technologie les réconcilie dès la conception. ■

Références

- ¹ ETSI ISG Group. <https://www.etsi.org/committee/1966-ris>
- ² RISE-6G. E. C. Strinati et al., *Wireless Environment as a Service Enabled by Reconfigurable Intelligent Surfaces: The RISE-6G Perspective*, in 2021 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit) (2021), pp. 562-567
- ³ Research Paper. N. Kaina, M. Dupré, M. Fink, and G. Lerosey, *Hybridized resonances to design tunable binary phase metasurface unit cells*, Opt. Express 22, 18881 (2014)
- ⁴ Research Paper. J.-B. Gros, V. Popov, M. A. Odit, V. Lenets, and G. Lerosey, *A Reconfigurable Intelligent Surface at mmWave Based on a Binary Phase Tunable Metasurface*, IEEE Open J. Commun. Soc. 2, 1055 (2021)
- ⁵ Research Paper. N. Kaina, M. Dupré, G. Lerosey, and M. Fink, *Shaping complex microwave fields in reverberating media with binary tunable metasurfaces*, Sci Rep 4, 6693 (2014)
- ⁶ Rohde-schwarz. White paper on RIS, 2023

RÉSEAUX FUTURS, ONDES ET LA SANTÉ

Par **Joe Wiart** (1992)

En 2020, la 5G commençait à être déployée en France, dans l'hexagone, la 6G devrait être déployée progressivement à partir de 2030. Le déploiement des réseaux 5G a engendré de nombreuses questions relatives aux effets sanitaires possibles ; la nouvelle génération va devoir répondre aux mêmes questions. En dépit d'une utilisation de plus en plus massive, l'exposition aux ondes radiofréquences est toujours au cœur de polémiques liées pour partie aux confusions ou aux idées reçues. En 2021, nous avons écrit un article « La 5G, les ondes et la santé ». Qu'en est-il en 2026 ? Et quid de la 6G ?



Joe WIART

Ingénieur Général des Mines, PhD et HDR, Professeur émérite de Télécom Paris Ancien titulaire de la Chaire C2M de l'IMT à Télécom Paris (2015-2025).

Joe Wiart est Président du TC106X du CENELEC (Comité technique européen de normalisation électrotechnique du CENELEC).

Il est aussi Président de la Commission K de l'URSI.

Par ailleurs, depuis 2008 Joe est membre émérite de la Société des électriciens et des électroniciens (SEE) ainsi que membre senior de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE) depuis 2002.

Les réseaux mobiles : Un usage en constante progression

En dépit d'une utilisation massive des réseaux sans fil 4G et 5G, les déploiements de ces réseaux ont engendré de nombreuses peurs et questions. Depuis 2021, le taux d'équipement n'a pas fondamentalement changé. Selon le baromètre du numérique de l'ARCEP, il était en 2024 de 99% pour la tranche 40-59 ans, suivi de 98% pour les 25-39 ans, de 93% pour la tranche 60-69 ans et pour finir 87% pour les plus de 70 ans.

En revanche, ce qui a profondément changé avec la 4G et la 5G, c'est l'utilisation intensive et croissante des données mobiles. En France, en 2019, le volume de données échangées via la téléphonie mobile était selon l'ARCEP de 10,4 GB/mois. Au début de l'année 2025, il était de 17 GB/mois, et cette progression importante est aussi observable en Europe selon l'organisme Grec EETT.

Pour supporter cette croissance de nouvelles bandes fréquences sont nécessaires et les existantes sont réorganisées. Suivant les opérateurs et les fréquences, entre 2026 et 2028, le GSM et la 3G vont disparaître mais leurs fréquences vont être réutilisées par la 5G et à terme par la 6G. En plus des fréquences sur lesquelles les réseaux sont opérés, de nouvelles fréquences vont être utilisées. Lors de la conférence mondiale des radiocommunications (CMR) de l'UIT en 2023, la CMR-23 a décidé de mettre en place un groupe d'étude pour la gamme 7-8,5 GHz pour la 6G avant la prochaine

CMR -27 et, en Europe, la CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications) ne devrait pas prendre de décision avant juillet 2027.

Qu'en est-il des études sur les risques sanitaires ?

Comme cela avait été exposé en 2021, les possibles effets sanitaires sont étudiés depuis plusieurs dizaines d'années. Un panorama de ces nombreuses études biomédicales et épidémiologiques internationales est accessible sur le site de l'université d'Aaren (<https://www.emf-portal.org/en>). Sollicité en 2019, un rapport de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) évaluant les risques sanitaires a été publié en 2021. Le ministère de la santé écrivait à propos de ce rapport : « les conclusions de l'ANSES publiées aujourd'hui confortent notre décision d'autoriser le déploiement de la 5G et l'approche rigoureuse dont nous faisons preuve en matière de contrôle de l'exposition aux ondes. La recherche sur les effets sanitaires de cette technologie doit se poursuivre et s'intensifier. »

En Europe les projets européens Interphones, Mobikids et Geronimo ont été suivis en 2022 des projets Seawave, Goliat, Etain et NextGEMS. Dans de nombreux pays, les résultats de ces études ont été analysés et synthétisés par des groupes d'experts tels que ceux de l'ANSES ou de l'IGAS en France. Sans occulter les questions qui subsistent, leurs rapports concluent majoritairement

que ces études ne montrent pas de risque avéré en dessous des limites sanitaires actuelles recommandées par la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants, reprise en France par le décret n°2002-775 du 3 mai 2002.

L'hypersensibilité est souvent avancée. Une étude menée aux Pays Bas et publiée en 2022, montre, selon les auteurs, que la perception des champs radiofréquences ainsi que les symptômes non spécifiques rapportés au départ étaient prédictifs de l'hypersensibilité électromagnétique après 10 ans de suivi, indépendamment de la présence ou non de troubles de santé attribués à l'exposition aux champs électromagnétiques de radiofréquences (CEM-RF).

Dans les questions, celles relatives au cancer sont les plus courantes. En 2019, une étude menée aux États-Unis (étude « NTP ») avait mis en évidence une augmentation de l'incidence de tumeurs rares sur des rongeurs. Cette étude a été répliquée en Corée et au Japon. Ces deux vastes études, menées simultanément mais indépendamment en Corée (Kim et al., 2026) et au Japon (Imaida et al., 2026), ont examiné si une exposition prolongée aux CEM-RF pouvait induire des tumeurs ou des dommages génétiques chez le rat. Les conclusions de ces études ne confirment pas les résultats obtenus par l'étude menée au US.

En 2024 une analyse des effets potentiels de l'exposition aux ondes radio sur la santé, menée par l'Agence australienne de protection contre les rayonnements et de sûreté nucléaire (ARPANSA) et commandée par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) n'a pas trouvé d'association entre l'utilisation du téléphone portable et les cancers de la tête. Pour le professeur K. Karipidis, qui a dirigé cette étude, « lorsque le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé l'exposition aux ondes radio comme cancérigène possible pour l'homme en 2013, il s'est fondé en grande partie sur des données limitées issues d'études observationnelles chez l'homme ».

Les réglementations existantes

En France (décret n°2002-775) et en Europe (1999/519/CE), les limites de protection relatives aux rayonnements non ionisants sont basées sur les recommandations de

l'ICNIRP (*International Commission for Non Ionizing Radiation Protection*). L'ICNIRP a étudié l'ensemble des études publiées et, en 2020, a publié des recommandations relatives aux limites de protection dans *health physics*.

En Europe, les systèmes émettant des ondes électromagnétiques, pour être mis sur le marché européen, doivent, pour les expositions, être conformes aux limites de protection recommandées et aux normes harmonisées correspondantes (EN 50360 et EN 50566 pour les mobiles ainsi que EN 50385 et EN 504001 pour les champs émis par les antennes relais). Dans ce cadre, les mobiles sont testés en laboratoire dans des conditions raisonnablement prévisible et pas simplement dans les conditions d'utilisations prévues. Depuis 2026 les mobiles utilisables près du corps humain doivent être testés au contact, c'est-à-dire à 0 millimètre du fantôme utilisé dans les tests. Les niveaux d'exposition induits par les antennes relais sont évalués par le biais de mesures suivant, en France, le protocole de l'ANFR traduction des normes européennes. Ces normes ont été adaptées pour prendre en charge les antennes actives ayant des faisceaux directifs. En France des milliers de mesures sont effectuées chaque année par l'ANFR. Ces mesures démontrent que les niveaux sont assez stables, y compris avec la 5G et très en dessous des limites sanitaires recommandées par l'ICNIRP. Ces méthodes de certification sont valides pour les réseaux actuels mais aussi pour la 6G au regard des éléments.

État des études pour la 6G

Comme indiqué en introduction, la 6G est à l'étude. Cette génération de réseau mobile n'est pas encore standardisée par le 3GPP, l'organisme international chargé de définir le cahier des charges de chaque réseau mobile. La 6G est prévue pour absorber plus efficacement le trafic actuel avec des réseaux non seulement plus performants et plus économes en énergie mais surtout, pour atteindre ces objectifs, plus intelligents. Les études relatives à la 6G commencent actuellement en s'intéressant aux nouvelles fréquences mises en œuvre.

Les évolutions rapides des communications sans fil, le déploiement des objets connectés et la transformation des usages

montrent l'importance de la raison d'être de Télécom Paris : « former, imaginer et entreprendre pour concevoir des modèles, des technologies et des solutions numériques au service d'une société et d'une économie respectueuses de l'humain et de son environnement. » ■

En savoir plus

Site de l'université d'Aaren
<https://www.emf-portal.org/en>
<https://theconversation.com/notre-exposition-aux-ondes-electromagnetiques-attention-aux-idees-recues-76056>
https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-barometre-num-2019.pdf
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>
<https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/Publications/ANFR-brochure-directive-RED.pdf>
<https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expace/20200408-ANFR-analyse-mesures-2019.pdf>
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2019SA0006Ra.pdf>
<https://www.igas.gouv.fr/Deploiement-de-la-5G-en-France-et-dans-le-monde-aspects-techniques-et>
<https://www.anfr.fr/toutes-les-actualites/actualites/lanfr-publie-un-rapport-de-mesures-sur-l'exposition-aux-ondes-des-experimentations-5g-et-presente-un-nouvel-indicateur-de-mesure-de-l'exposition/>
Étude Pays bas :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722063392?via%3Dihub>
<https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2024/03/Assessment-of-Greeces-mobile-usage-and-revenue-in-an-EU-context.pdf>
https://www.anfr.fr/fileadmin/medias/exposition-ondes/EU_research_cluster_Presentation_ANFR_workshop.pdf
<https://www.arcep.fr/mes-demarches-et-services/consommateurs/fiches-pratiques/extinction-reseaux-mobiles-2g-3g.html>
<https://www.arpansa.gov.au/who-review-finds-no-link-between-mobile-phone-use-and-brain-cancer#:~:text=A%20World%20Health%20Organization%20commissioned,phone%20use%20and%20head%20cancers.>
Étude Arpansa
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412024005695>
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159240>
https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2025/12/2025_12_17_Assessment-of-Greeces-mobile-usage-and-revenue-in-an-EU-context-by-Tefficient-for-EETT-16-Dec-2025.pdf
Kim 2026 : 10.1002/bem.22407
Weyde 2019: 10.22427/NTP-TR-595
Lmida 2026: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfag002>



Laura Draetta

5G : CE QUE LA CONTROVERSE NOUS APPREND POUR GOUVERNER LA 6G

La 5G a suscité en France une controverse publique révélatrice. Au-delà du bruit médiatique, cette controverse montre que les choix de gouvernance faits en amont d'un déploiement façonnent durablement la réception sociale d'une technologie. À l'heure où la 6G entre dans sa phase de conception, il est temps d'en tirer les leçons.

Pourquoi la 5G a cristallisé les tensions

La 5G est une technologie plurielle. Sous ce label coexistent trois familles de fréquences : la bande 3,5 GHz (haut débit et faible latence, mais forte densification requise), la bande 26 GHz (millimétrique, prometteuse mais expérimentale), et les bandes basses héritées de la 4G (large couverture avec des adaptations infrastructurelles limitées, mais débits plus modérés). En traitant la 5G comme un objet unifié, le débat public a superposé



Laura DRAETTA
Sociologue de l'environnement, Laura Draetta est maître de conférences à Télécom Paris et chercheuse à i3/CNRS-Institut Polytechnique de Paris. Ses recherches portent sur les controverses publiques autour des innovations numériques et sur l'innovation responsable. Elle a participé au groupe de travail de l'ANSES, en charge de l'expertise scientifique sur la 5G (2020-2022) et est co-titulaire de la Chaire RD-ID (Télécom Paris).

performances, risques sanitaires, impacts environnementaux et enjeux de gouvernance, soit autant de logiques d'évaluation hétérogènes et difficilement conciliables. Autrement dit, la catégorie « 5G » agrège des configurations techniques et des régimes d'évaluation distincts, ce qui contribue à brouiller les termes du débat. Ce constat vaudra d'autant plus pour la 6G.

L'enjeu environnemental : au-delà des indicateurs d'efficacité

La 5G a été présentée dès 2018 comme une infrastructure « verte » : l'ARCEP estimait une économie d'énergie de trois à 10 fois supérieure à la 4G seule à l'horizon 2028 ; Nokia affichait une efficacité de 90 % supérieure par bit transmis. Ces projections ne prennent toutefois pas en compte les effets rebond : une enquête citée par l'ONG Agir pour l'Environnement (APE) montrait que 94 % des dirigeants de télécoms anticipaient eux-mêmes une hausse de leurs coûts énergétiques. Le Haut Conseil pour le Climat (HCC), saisi par le Sénat, a averti fin 2020 que

le déploiement risquait d'accroître les émissions de gaz à effet de serre une fois pris en compte la fabrication des terminaux, leur renouvellement et la croissance des usages. Dès octobre 2019, les deux associations APE et Priartem appelaient à un moratoire en vue de disposer de données complémentaires en amont du déploiement :

« À l'heure où l'humanité fait face à des défis majeurs – dérèglement climatique, sixième extinction de masse, pression sur les ressources en eau, en métaux rares et en énergie – développer un programme qui va durablement modifier l'environnement électromagnétique de la planète ne peut s'envisager sans réflexion approfondie et débat citoyen. »¹

Pour la 6G, la sobriété énergétique doit être un critère de conception, et non une contrainte ajoutée après coup, ce qui suppose d'anticiper les effets rebond et d'évaluer l'empreinte matérielle sur l'ensemble du cycle de vie dès la standardisation.

La séquence temporelle : le péché originel de la gouvernance

Les attributions de fréquences 5G ont précédé les rapports attendus de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) et du HCC : des choix irréversibles avant toute évaluation indépendante. Dans ce contexte, l'expertise a été perçue comme une légitimation ex post. En juin 2020, les ministres de la Santé et de la Transition écologique demandaient eux-mêmes un moratoire dans l'attente de l'avis de l'ANSES. Une tribune, parue dans *Le Monde*, explicite une critique largement exprimée dans le débat public :

« L'objectif est de simuler une bonne gouvernance en mettant en scène une consultation de façade et en instrumentalisant ses propres agences, afin de masquer une décision unilatérale dictée par les seuls impératifs industriels. »²

Pour la 6G, les évaluations sanitaires, environnementales et sociales doivent précéder les choix de standardisation, et non les accompagner symboliquement.

Deux imaginaires en compétition : lequel héritera la 6G ?

La controverse a cristallisé deux visions concurrentes de la société numérique à construire : d'un côté, celle d'un numérique généralisé, fondé sur la connectivité étendue et l'efficacité énergétique, susceptible d'être un levier de la transition écologique ; de l'autre, celle d'une sobriété numérique et d'un principe de précaution, qui privilégie l'évaluation et la délibération avant déploiement. Ces visions n'ont pas produit un débat binaire pro / anti-5G : elles ont structuré un espace argumentatif où la durabilité environnementale devient un critère partagé d'évaluation des technologies de réseau.

Pour la 6G, il s'agit d'organiser la confrontation de ces deux imaginaires dès la conception des standards, en associant des acteurs non industriels aux travaux de l'UIT et de l'ETSI. Certains usages envisagés – holo présence ubiquitaire, réalité étendue permanente – impliqueront des sauts de consommation dont l'utilité sociale mérite d'être débattue en amont. La controverse 5G nous a appris que les citoyens n'acceptent plus d'être mis devant le fait technologique accompli. ■

À retenir

La pluralité technique de la 5G (et bientôt de la 6G) exige des évaluations différenciées par bande de fréquence et par cas d'usage – pas un débat sur une technologie homogène qui n'existe pas.

Les indicateurs d'efficacité énergétique par bit ne suffisent pas : les effets rebond et l'empreinte matérielle (fabrication, renouvellement des terminaux) doivent être intégrés dès la conception des standards.

La crédibilité de la gouvernance repose sur la séquence : les évaluations indépendantes doivent précéder les attributions de fréquences, non les légitimer après coup.

Associer des acteurs non industriels (agences sanitaires, société civile, collectivités) aux travaux de standardisation de la 6G est une condition pour que sobriété et souveraineté soient des principes structurants – et non des contraintes de dernière minute.

En savoir plus

Draetta, L. (2026). 5G in Society: Environment, Disputed Futures, and Contested Governance. *Annals of Telecommunications*. <https://doi.org/10.1007/s12243-026-01172-x>

Haut Conseil pour le Climat (2020). *Maîtriser l'impact carbone de la 5G*. <https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/12/rapport-5g-haut-conseil-pour-le-climat.pdf>

ANSES (2022). *Expositions aux champs électromagnétiques liées au déploiement de la 5G et effets sanitaires éventuels associés*. Saisine n°2019-SA-0006. <https://anses.hal.science/anses-03792878v1>

ARCEP (2022). *Évaluation de la consommation énergétique d'un déploiement 4G vs 5G*. Comité d'experts techniques sur les réseaux mobiles. https://www.arcep.fr/fileadmin/user_upload/grands_dossiers/environnement/etude-environnement-4Gvs5G-note-detaillee-comite-expert-mobile_janv2022.pdf

Références

¹ <https://www.priartem.org/5G-Les-associations-appellent-a-un.html>

² https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/09/07/la-5g-quoi-qu-il-en-coute_6051309_3232.html

RÉSEAUX 5G

FORMEZ-VOUS

AUX TECHNOLOGIES QUI

TRANSFORMENT LE NUMÉRIQUE



IP PARIS

Télécom Paris Executive Education accompagne les professionnels dans le développement de leurs compétences sur les technologies numériques de pointe. Reconnue pour son expertise dans les télécommunications, l'école propose une offre complète de formations dédiées aux réseaux mobiles de nouvelle génération.

POURQUOI SE FORMER À LA 5G ?

La 5G transforme les usages grâce à des débits accrus, une faible latence et une connectivité massive. Elle constitue un levier majeur pour l'Internet des objets, l'industrie, les mobilités intelligentes et les services numériques de demain.

NOTRE OFFRE DE FORMATION

- **Executive Certificate « Architecte Réseaux Mobiles 5G : Cloud, Virtualisation et Sécurité »**
- **Parcours e-learning**
Réseau 5G : notions clés et mise en pratique • 5G privée
- **Formations courtes**
Open RAN • Réseaux privés 4G/5G • IoT • 6G • Architectures et technologies des réseaux mobiles

MONTEZ EN COMPÉTENCES AVEC TÉLÉCOM PARIS EXECUTIVE EDUCATION



CONTACT

01 75 31 95 90

contact.exed@telecom-paris.fr

executive-education.telecom-paris.fr

Les actualités du réseau

Connecter

Accompagner

Partager

Contribuer



ASSOCIATION • ÉCOLE • FONDATION • ÉTUDIANTS

ASSOCIATION



NOMINATIONS

DE NOS ALUMNI

La mise en lumière des nominations de nos alumni est devenue un axe fort de notre communication digitale. Ces contenus suscitent un fort engagement car ils incarnent la diversité des parcours, la réussite professionnelle et l'influence croissante de la communauté Télécom Paris Alumni à travers le monde. Chaque nomination relayée illustre un parcours, une expertise reconnue et un impact concret dans des secteurs clés tels que le numérique, l'ingénierie, la recherche ou l'entrepreneuriat. Sur LinkedIn, la page *Réseau d'alumni – Télécom Paris* rassemble aujourd'hui plus de 6 559 abonnés. Pour découvrir toutes les dernières nominations et suivre l'actualité de notre réseau, scannez le QR code et rejoignez-nous sur LinkedIn. ●



Découvrez toutes les récentes nominations de nos alumni

🔗 <https://www.telecom-paris-alumni.fr/fr/agenda-actualites/actualites/nominations-alumni-3882>



ASSOCIATION



HELLO PALAISEAU

Pour sa 3^e édition, *Hello Palaiseau* a une nouvelle fois réuni étudiants et Alumni de Télécom Paris autour d'un objectif essentiel : **renforcer les liens entre générations**.

Entre découverte des évolutions de l'école, échanges sur les parcours professionnels et rencontres lors du speed meeting Alumni x Étudiants, la soirée a rappelé l'importance de **transmettre expériences, conseils et opportunités au sein du réseau** Télécom Paris Alumni.

Pour les Alumni ayant connu la rue Barrault comme pour les étudiants vivant aujourd'hui le campus de Palaiseau, l'événement permet de mieux comprendre les réalités et les enjeux de chaque génération. Dans une ambiance conviviale et sans les codes du networking classique, les discussions se créent naturellement et se prolongent bien au-delà du programme officiel.

Plus qu'un événement, *Hello Palaiseau* s'impose comme un **véritable moment de transmission** et de cohésion pour toute la communauté Télécom Paris. ●



Patrick OLIVIER (1996) Directeur Général de Télécom Paris



Hélène HAVERBEKE (1993), Présidente de Télécom Paris Alumni



Corine GARCIA Directrice déléguée Télécom Paris Alumni et Thomas AUGUSTE (2023) membre du Conseil d'administration Télécom Paris Alumni



Alima BAKHAYOKHO Mentorée (2028) et Tiphaine BOYER-VIDAL Mentor (2020)



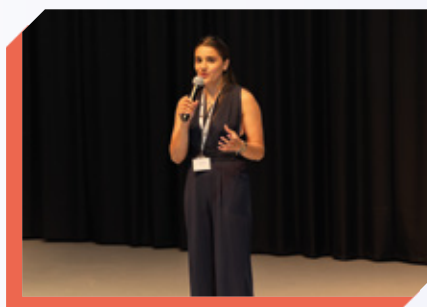
Hugo FOULON Président du BDE (2027) et Louis PINCAS Président du BDE (2028)



Sigolène MORIN Adjointe directeur de l'enseignement Télécom Paris



Enzo SAKHINIS Étudiant (2028) et Eva HERSON Étudiante (2028)



Jade GUITTARD Étudiante (2028)



Marion SCHILLING Chargée d'enseignement en activités physiques et sportives

ASSOCIATION



WEBINAIRE DU GROUPE RÉSEAUX ET SERVICES LE 1^{ER} JUIN 2026

EXTINCTION DES RÉSEAUX 2G ET 3G : la fin d'un cycle

Par Renaud Trnka (1981) et Xavier Maitre (1976)

Comme dans de nombreux pays européens, les opérateurs mobiles français ont décidé d'éteindre progressivement leurs réseaux 2G et 3G, un système issu d'une normalisation européenne (GSM) et qui s'est progressivement étendu au monde entier. Cet événement méritait d'une part de revenir sur l'historique de cette aventure assez unique, et d'autre part de détailler les conditions et conséquences de l'arrêt des réseaux 2G et 3G pour opérateurs et clients.

La conférence du 1^{er} juin, qui comprenait à la fois des exposés et une table ronde, a réuni à cette fin des intervenants reconnus du secteur :

- › Alain Maloberti (1979), ancien directeur technique d'Orange et ancien président du Groupe Spécial Mobile (GSM);
- › Franck Tarrier (2002), Directeur Mobile et Innovation à l'ARCEP;
- › Emmanuel Lugagne Delpon (1993), directeur technique du réseau d'Orange France;
- › Bernardo Cabrera, directeur d'Objenious (entité IOT de Bouygues Telecom).

C'est **Alain Maloberti**, acteur de premier plan de la normalisation, puis de la mise en œuvre du GSM, qui introduit le sujet.

Il rappelle qu'en 1980, la téléphonie mobile, à l'époque analogique (1G), ne regroupait que 50 000 clients... dans toute l'Europe, seuls les pays du Nord disposant d'un standard commun. L'idée, visionnaire, est alors de créer une seconde génération (2G) de systèmes mobiles, numérique et basée sur une norme identique pour tous les pays européens.

CONFÉRENCE

LES INTERVENANTS



Alain MALOBERTI
Ancien CTO Orange
Ancien Président du
Groupe Spécial
Mobile (GSM)
de l'ETSI



Franck TARRIER
Directeur
Mobile et Innovation
de l'Arcep



Emmanuel LUGAGNE DELPON
CTO Réseau
Orange France



Bernardo CABRERA
Directeur
OBJENIOUS
IOT, M2M et B2B
Bouygues Telecom

Table-ronde animée par Renaud TRNKA et Xavier MAITRE, Télécom Paris alumni

Les travaux sont lancés en 1982 par le Groupe Spécial Mobile (GSM), et la bande 900 MHz est retenue pour le système et le premier appel test a lieu en 1986. En 1991, un MOU pour co-développer le système est signé par 17 pays européens (GSM Association), et dès 1995, la France compte déjà plus de un million de clients GSM. La transmission de données n'est pas oubliée, même si les performances visées par la 2G restent modestes : 60 kbps pour le GPRS, et 160kbps pour le EDGE.

C'est sur cet aspect des données que le succès massif du GSM à la fin des années 90 pousse à rechercher rapidement une amélioration des performances. Le groupe GSM européen reprend son travail de normalisation en 1996, bientôt mondialisé en 1998 au sein du nouveau *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). Il en résulte, en 2000, deux nouvelles normes 3G : l'UMTS

adopté principalement en Europe et au Japon, et le CDMA qui domine aux USA. Certes, ces deux premières versions de la 3G sont décevantes tant au niveau des performances (débit à peine supérieur à l'EDGE et latence très élevée) que des applications, avec l'échec commercial de la visiophonie. Mais le 3GPP, les opérateurs et les industriels réagissent avec dès 2006 une 3G+ intégrant un mode paquet efficace (le HSDPA). Enfin, l'avènement de terminaux grand public adaptés aux données, comme l'iPhone, permet de développer considérablement les nouveaux usages de type données. À partir de 2008, les normes 4G puis 5G augmentent encore les débits de données et réduisent la latence.

Pour Alain Maloberti, la fin des réseaux 2G et 3G n'est que la suite logique de l'histoire !

Ensuite, **Franck Tarrier** introduit le rôle de l'ARCEP.

Contrairement à ce qui se passe avec l'extinction en cours du réseau RTC et de l'ADSL, aucun texte réglementaire ou législatif n'attribue un rôle spécifique à l'ARCEP sur la 2G/3G. C'est donc au nom de la protection des consommateurs que l'Autorité s'est saisie du dossier.

Franck Tarrier indique que le processus d'extinction est désormais engagé dans

toute l'Europe : dans une dizaine de pays, la 2G/3G aura totalement disparue dès 2030. Il donne ensuite plusieurs ordres de grandeur permettant de quantifier l'importance du sujet en France :

- › Fin 2025, il reste environ cinq millions de cartes SIM en 2G/3G (terminaux et modules IOT), dont 50% en 2G, avec un usage limité : moins de 1% des appels en 2G/3G ;
- › La décroissance naturelle des SIM 2G/3G reste cependant modérée ;
- › 99,9% des sites mobiles et plus de 90% du parc sont équipés en 4G.

L'ARCEP a conduit une mission d'évaluation du risque de l'arrêt de la 2G/3G sur deux aspects, qualité de couverture et impact carbone, avec des conclusions plutôt favorables :

- › Pour l'usage data, la couverture est systématiquement meilleure en 4G qu'en 2G/3G ;
- › Pour l'usage voix, les opérateurs disposent de tous les moyens d'ingénierie pour garantir une couverture identique lors de la transition ;
- › L'impact carbone est positif : les gains énergétiques au niveau des réseaux compenseront en moins de six mois l'effet négatif de la mise au rebut des terminaux.

En complément de l'étude carbone positive de l'ARCEP, **Emmanuel Lugagne Delpon** (Orange) a élargi les avantages de la fin de la 2G / 3G en ajoutant :

- › Une plus grande sécurité des communications, un aspect souvent négligé;
- › L'ouverture de fréquences sous-utilisées aux futures applications de la 5G;
- › Une plus grande modularité de l'architecture réseau avec l'Open RAN.

Sur les défis posés par cette migration, il a particulièrement insisté sur l'anticipation nécessaire, ce qui s'est traduit par une communication très en amont auprès des clients sensibles, (ex : ascensoristes et constructeurs automobiles pour les appels d'urgence...). Il présente ensuite le planning de l'extinction pour Orange : de Mars à Décembre 2026 pour la 2G, de 2026 à 2028 pour la 3G

Il termine sur l'énoncé des mesures mises en place par Orange : tout client passant un appel en 2G est automatiquement contacté, et les professionnels concernés (IOT) sont suivis par une cellule dédiée pour mettre les bonnes procédures en place dans les délais imposés.

Bernardo Cabrera (Objenious / Bouygues Telecom) confirme les arguments des intervenants précédents, en insistant sur le caractère inéluctable et mondial du mouvement : 137 réseaux 2G / 3G fermés depuis 2010, 105 attendus pendant les 18 prochains mois.

Le planning de Bouygues Telecom est voisin de celui d'Orange avec des nuances : arrêt de la 2G en une seule fois fin 2026, puis la 3G entre 2027 et 2029.

Bernardo Cabrera détaille les mesures prises par Objenious pour prévenir ses clients professionnels, une démarche proactive commencée dès janvier 2023.

Il présente enfin le détail des trois solutions offertes par Objenious à ses clients, selon leur besoin exact en usage

pour optimiser le coût de remplacement :

- › 4G / 5G pour des débits importants;
- › LTE-M pour des débits moyens (300 kb/s) mais une couverture plus étendue et une latence très faible;
- › NB-IOT pour un faible débit (20 kb/s), une couverture très étendue, et pas de contrainte de latence.

Après leurs présentations, les intervenants participent à une table-ronde pour préciser ou souligner certains points de leurs exposés.

Face à des articles de presse et un rapport sénatorial récents plutôt critiques, Orange a pu faire état d'un premier retour d'expérience favorable sur une dizaine de départements.

Emmanuel Lugagne a également précisé que les opérateurs se coordonnent étroitement pour traiter les zones blanches.

Sur le partage du coût de la transition, Orange et Objenious ont rappelé que le terminal était la propriété du client et ne peut pas être remplacé aux frais de l'opérateur, et des programmes de subventions réduisent le coût de renouvellement du mobile.

Orange a également confirmé que les équipements réseaux et les terminaux 2G / 3G pouvaient être réutilisés dans des pays moins avancés sur le déploiement 4G / 5G.

D'autres sujets ont été abordés : comparaison entre UMTS et CDMA, modules 2g / 3g pour voitures, choix français 2G puis 3G contraire aux autres pays européens, roaming, appels d'urgence, cas des DOM TOM, 2G Free, ...

En conclusion, cette conférence a permis de couvrir les multiples facettes du sujet. ●

Visionnez le *Replay*
en scannant ce QR Code



<https://www.youtube.com/watch?v=4f4VMbMJeQM>

Bibliographie pour comprendre les origines du GSM

Services mobiles : France Télécom en ordre de bataille, par JJ Damlamian (1966), revue TELECOM No 82, 1989.

Le système pan-européen de radiocommunication avec les mobiles 900 MHz, par A.Maloberti (1979) et B. Ghillebaert (1976), revue TELECOM N° 82, 1989.

The GSM, system for mobile telecommunications, par Michel Mouly (1982) et Marie Bernadette Pautet (1982), édition 1982.

CONFÉRENCE

WEBINAIRE DU GROUPE RÉSEAUX ET SERVICES LE 22 JANVIER 2026

L'IA dans les réseaux de Télécommunication

Par **Didier Berthoumieux (1980)**

Le 22 janvier 2026 a eu lieu dans les locaux de Telecom Paris Executive Education la conférence « *l'intelligence artificielle dans les réseaux de Télécommunication* » organisée par le groupe « Réseaux et Services » de TPA.

Cette conférence a réuni une centaine de participants présents ou à distance, et avait pour but de présenter et d'échanger sur les applications actuelles et les prochaines évolutions à l'étude de l'utilisation de l'IA dans les réseaux.

Des représentants des quatre plus grands acteurs mondiaux du domaine ont présenté une synthèse des réalisations déjà acquises et leur vision des bouleversements à venir :

Sana Ben Jemaa (AI for Network value stream leader at Orange Innovation) a présenté la vision d'un opérateur sur l'IA dans les réseaux, la création de valeur pour l'opérateur et pour ses clients, les perspectives d'automatisation de la gestion de réseaux, la création de nouveaux services, l'amélioration de l'empreinte carbone.

Laurent Ciavaglia (Head Network Management Data and Intelligence, Nokia Standards & Research) a expliqué le potentiel de l'IA dans les futurs réseaux 6G conçus comme *AI native* et l'importance de la standardisation pour atteindre cet objectif.

Martha Vlachou-Konchylaki (Head of Ericsson AI Research France) a présenté les applications de l'IA en cours d'étude pour le réseau d'accès radio 6G. Parmi les nombreux cas d'utilisation, le *beam management*, la compression des *overhead* de synchronisation et de mesure, les mesures de position semblent être particulièrement prometteuses.

Amina Boubendir (Head of Research and Standardisation at Airbus Defence and Space) a présenté différents cas d'usage de l'IA pour les télécommunications militaires et spatiales.

La table ronde a réuni les quatre présentateurs pour des questions ouvertes sur les besoins spécifiques de processeurs spécialisés (GPU ou autres) dans les équipements, et les différents types d'apprentissage envisagés.

La soirée s'est terminée par un cocktail convivial, et des échanges informels entre intervenants et participants. ●

TRANSITION ÉCOLOGIQUE : Repenser l'économie pour un avenir durable

Par **Gérard Der Agobian (1983)**, **Pierre Lenders (ENSAE)**,
Manuel Astier (Ponts) et **Francis Charpentier (1980)**,

ALUMNI ACT
Alumni en Collectif pour les Transitions



L'urgence d'une transition systémique

La transition écologique n'est plus une option, mais une nécessité. Pourtant, les obstacles économiques et structurels restent majeurs. Lors de la conférence du 18 mars 2026 organisée par **IP Paris Transition** et labellisée par **Alumni ACT**, Alain Grandjean et Marion Cohen (président et directrice de l'association : « The other economy ») ont identifié les verrous qui empêchent cette transition et ont proposé des leviers concrets pour les lever. Leur message est clair : sans une refonte profonde des règles économiques, la transition ne se fera pas.

Les verrous économiques : pourquoi la transition bloque

Une comptabilité aveugle aux coûts écologiques

Nos systèmes de comptabilité nationale et d'entreprise ignorent les externalités négatives. La nature n'apparaît pas dans les bilans : ni les services qu'elle rend (pollinisation, régulation climatique), ni les dommages qu'elle subit (déforestation, pollution). Résultat : les décisions économiques ne reflètent pas les vrais coûts pour la société.

Exemple : Le PIB mesure la croissance, mais pas la soutenabilité. Un accident de voiture augmente le PIB (réparations, soins), alors qu'il réduit le bien-être.

La faible attractivité des solutions écologiques

La transition se heurte à un problème de demande :

- › La transition ne fait pas appel aux moteurs classiques de la société de consommation de masse. Le désir et la frustration, le goût de la nouveauté et l'appétence technologique. Au contraire elle propose de remplacer l'existant par la même chose en moins polluant (ex. : voiture électrique) ou de changer de pratique (prendre son vélo) voire de se limiter.
- › La sobriété est associée à une limitation, pas à un gain.
- › Les alternatives écologiques (bio, transports en commun) sont souvent perçues comme plus chères ou moins pratiques.
- › Les bénéfices (éviter des dommages futurs) sont indirects et collectifs.

Chiffre clé : Seuls 25 % des réductions d'émissions de GES nécessaires pour atteindre les objectifs climatiques de la France d'ici 2030

correspondent à des investissements qui sont à la fois rentables et pour lesquels les porteurs de projets ont les moyens nécessaires pour les porter (source : Secrétariat général à la planification écologique).

Le financement : un mur à franchir

La transition nécessite des investissements massifs (2 à 4 % du PIB annuel en plus de ceux existants pour les seuls investissements dans l'atténuation du changement climatique). Cela concerne tous les secteurs et tous les acteurs (ménages, entreprises, administrations publiques), mais :

- › Nombre de porteurs de projets n'ont pas les moyens de réaliser les investissements nécessaires.
- › Nombre de projets « verts » sont trop peu rentables à court terme ou jugés trop risqués par rapport aux exigences de rendement des financiers.
- › Nombre de projets de transition portés par les ménages ou les PME sont trop petits pour avoir accès aux marchés financiers.
- › Les règles budgétaires européennes limitent les investissements publics.

Exemple : La rénovation énergétique des logements ou l'agriculture bas carbone manquent cruellement de capitaux.

Le pouvoir des oligopoles et le verrouillage technologique

Dans la grande majorité des secteurs, quelques grandes entreprises dominent le marché (ex : énergie, agroalimentaire, numérique, extraction et négoce de matière première, chimie). Cela leur donne une capacité d'influence importante sur le marché lui-même et surtout sur les politiques publiques pour conserver leurs acquis. Étant les grandes gagnantes du système en place, elles n'ont en effet, aucun intérêt à ce que le monde change. À cela s'ajoute l'**effet de lock-in** : les investissements existants (centrales à charbon, infrastructures pétrolières et gazières) deviendraient des « actifs échoués » avec la transition. Les entreprises qui les possèdent n'ont évidemment pas intérêt à ce que cela se matérialise.

Exemple : Les géants pétroliers freinent les réglementations écologiques.

Les dogmes économiques : libre-échange et compétitivité

La transition est également empêchée par le poids des dogmes économiques qui se sont imposés dans les discours mais aussi

CONFÉRENCE

dans les institutions qu'elles soient privées ou publiques. L'un de ces dogmes c'est la supériorité du libre-échange sur toutes les autres formes d'organisation des échanges.

Le libre-échange met en concurrence des productions aux normes sociales et écologiques inégales :

- › Les produits chinois ou américains, moins chers car moins contraints, **évincent les alternatives locales et durables**.
- › Les règles de l'OMC et de l'UE privilégient la compétitivité sur l'écologie.

Chiffre : 50 % de l'industrie européenne est menacée par la concurrence chinoise, souvent moins regardante sur les coûts environnementaux (source : Haut Conseil pour le Climat).

Les leviers pour accélérer la transition

Planifier et assurer une transition juste

- › **Planification écologique** : Fixer des objectifs clairs en concertation avec la société civile et en prenant en compte la subsidiarité entre les différentes échelles territoriales (ex. : report modal vers le vélo) et aligner les politiques publiques (aides, taxes, infrastructures).
- › **Redistribuer les recettes** des taxes carbone pour aider les ménages modestes (ex. : chèque énergie).
- › **Accompagner les secteurs en déclin** : Formation professionnelle pour les employés des industries polluantes.
- › **Améliorer les services publics** : Accès aux transports, à l'énergie et à l'alimentation durable.

Exemple : Le « leasing social » permet de louer des véhicules électriques à prix réduit pour les ménages modestes.

Réformer la comptabilité et les indicateurs

- › **Intégrer les coûts écologiques** dans le système de prix : Taxer les activités polluantes, subventionner les solutions vertes.
- › **Changer les indicateurs** : Compléter le PIB par des mesures de bien-être et de soutenabilité (ex. : empreinte carbone, qualité de l'air).
- › **Comptabilité d'entreprise** : Obliger les entreprises à publier leurs impacts écologiques et sociaux ainsi que leur dépendance à l'environnement (double matérialité) et transformer la comptabilité d'entreprise pour que les activités destructrices de nature ne soient plus bénéficiaires.

Enseignement : raisonner en « coût total d'usage » (TCO) : le prix d'un jean bio français peut être inférieur à celui d'un jean *fast fashion* si on regarde non pas le prix à l'achat mais le prix rapporté au nombre de fois où le jean est porté.

Mobiliser les financements

- › **Investissement public** : Utiliser la commande publique pour stimuler les marchés de la transition.
- › **Banques centrales** : Utiliser les différents leviers de la politique monétaire et de la politique prudentielle pour favoriser les projets verts et défavoriser les projets destructeurs de nature.
- › **Garanties publiques** : Réduire les risques pour les investisseurs (ex. : garanties sur les prêts pour la rénovation énergétique).

Proposition : La BCE pourrait mettre en place un taux directeur vert, moins élevé que le taux directeur existant, pour les banques accordant des prêts aux projets de transition.

Réglementer

- › **Encadrer les marchés** : Interdire les produits les plus polluants (ex. : amiante, plastiques à usage unique), faciliter voire créer par la réglementation les business de la transition (ex. : obliger à l'incorporation des matières recyclées dans les produits neufs pour rentabiliser les secteurs du recyclage).
- › **Déconcentrer l'économie en luttant contre les oligopoles** (renforcer les lois antitrust et le devoir de vigilance) et en limitant les possibilités d'accumulation du capital (lutte contre l'évasion fiscale, taxe sur le patrimoine et la succession, taxe sur les superprofits des secteurs polluants).

Protectionnisme et souveraineté

- › **Identifier les biens stratégiques** (énergie, alimentation, santé) et les protéger via des tarifs douaniers ou des subventions.
- › **Rééquilibrer les parités monétaires** pour éviter la concurrence déloyale (ex. : le yen sous-évalué a favorisé les exportations japonaises).
- › **Préférence européenne** dans les marchés publics.

Exemple : Taxer les importations carbonées (mécanisme d'ajustement carbone aux frontières) et l'UE pourrait imposer des droits de douane sur les produits chinois non conformes aux normes écologiques européennes.

Conclusion : Agir maintenant, ensemble

La transition écologique ne peut reposer sur la seule bonne volonté des entrepreneurs ou des citoyens. Elle exige une refonte profonde des règles du jeu économiques

- › **Compter les externalités** : Intégrer l'écologie dans nos outils de gestion macro et micro.
- › **Financer l'avenir** : Mobiliser l'investissement public et privé pour les projets verts.
- › **Réguler pour innover** : Encadrer les marchés et briser les oligopoles.
- › **Protéger les plus vulnérables** : Assurer une transition juste et sociale.

Appel à l'action :

- › **Se former aux enjeux tant écologiques qu'économiques avec The Other Economy** notamment.
- › **S'engager** dans des collectifs comme Alumni ACT ou le groupe de son association d'alumni.
- › **Exiger** des politiques publiques cohérentes (taxe carbone redistributive, investissements verts).
- › **Innover localement** : Soutenir les projets de transition dans son territoire. ●

Pour aller plus loin

<https://www.linkedin.com/company/alumniact>

The Other Economy

<https://theothereconomy.com/fr/>
Rapport du Haut commissariat à la Stratégie et au plan : *L'industrie européenne face au rouleau compresseur chinois*, 2026.

Blog *Les Chroniques de l'Anthropocène* (Alain Grandjean). <https://alaingrandjean.fr>

Alumni ACT

est un collectif qui fédère les groupes environnement, transition et développement durable de 13 grandes écoles.

Les auteurs

Manuel Astier, Francis Charpentier, Gérard Der Agobian et Pierre Lenders sont membres du bureau élargi d'IP Paris Transition et membres actifs du collectif Alumni ACT.

LES ÉTUDIANTS

Des nouvelles de nos étudiants



“

Chers alumni,

*Je m'appelle **Louis Pincas**, nouveau président du **BDE**, et voici l'équipe qui m'accompagne cette année !*

C'est avec beaucoup d'enthousiasme que nous lançons notre mandat pour dynamiser la vie associative de Télécom Paris.

Notre projet s'articule autour de la modernisation du Foyer, pour en faire un cœur de vie convivial, et de l'intégration des étudiants internationaux dès la fin août. Soucieux de l'accessibilité de nos événements, nous renforçons nos partenariats entreprises. Ceux-ci, en plus du soutien précieux des Alumni, nous permettent de subventionner les week-ends pour les étudiants boursiers.

Nous avons à cœur de multiplier les ponts avec vous : des afterworks seront organisés à Paris pour faciliter nos échanges. Nous envisageons également un événement lors de notre week-end à l'étranger (Barcelone, Amsterdam...) afin de fédérer la communauté des télécommiens au-delà des frontières.

À très bientôt.

”



LES ÉTUDIANTS



Télécom IA



Télécom IA est l'asso d'IA de Télécom Paris, elle remplit trois objectifs : workshops, hackathons, conférences en complément de notre formation. Les workshops sont des ateliers techniques d'environ deux heures où les étudiants peuvent manipuler et en apprendre plus sur un domaine spécifique.

Typiquement nos derniers workshops ont été sur les manipulation / nettoyage de data, une application des espaces latents pour transporter des caractéristiques de certains objets vers d'autres, sur le RAG appliqué au médical. Et nous avons deux workshops de prévu avec des entreprises Modèles de fondation pour données tabulaires et un autre sur l'IA agentic. Nous avons aussi, l'année dernière, organisé des conférences avec l'un des cofondateurs de scikit learn et avec le co-créateur de Siri.

Pour ce qui est des hackathons le but est de pratiquer au maximum durant une période de temps bien définie l'année dernière 48h qui a donné lieu à des productions remarquables sur la prédiction de toxicité cardiaque de molécule. ●

Hussein EL GOUCH (2027), Président de Télécom IA



<https://www.telecom-paris.fr/hackathon-ia-recherche-pharmaceutique>
<https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-un-hackathon-axe-ia-et-recherche-pharmaceutique-a-telecom-paris-96868.html>

FONDATION MINES-TÉLÉCOM

Dîner de Prestige 2026 de Télécom Paris

60 000 € ont été levés lors de la 10^e édition du Dîner de Prestige de Télécom Paris. Les fonds collectés sont reversés à quatre enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs afin d'accompagner et de développer leurs projets de recherche :

- ✓ **Ekhine Irurozki** – *Le paradoxe du vote à l'ère de l'IA : peut-on faire confiance aux algorithmes ?*
- ✓ **Nils Holzenberger** – *Passer la loi au tamis des algorithmes.*
- ✓ **Pauline Gourlet** – *Faire infrastructure : enjeux territoriaux et démocratiques des infrastructures numériques.*
- ✓ **Juan Rafael Álvarez** – *Vers l'internet quantique : intrication et multidimensionnalité.*

Un grand merci aux donatrices et aux donateurs !

© Fondation Mines-Télécom

COMMENT
SOUTENIR LES ÉLÈVES
DE TÉLÉCOM PARIS ?
**VOUS POUVEZ
FAIRE UN DON.**



En ligne sur :
www.telecom-paris.fr/DonEnLigne
ou en scannant ce QRCode

Par chèque bancaire : à l'ordre de
Fondation Mines-Télécom
17, rue de l'Amiral Hamelin – 75116 PARIS

Par virement bancaire :
IBAN : FR76 3000 4002 7400 0113 2156 858
BIC : BNPAFRPPXXX

Vous avez des questions, contactez :
Delphine Baron ou **Emilie Tincelin**
donateurs@imt.fr

NOS ALUMNI PUBLIENT



Consulting with Soul

Unlocking lasting transformation by discovering the true core of the enterprise

Patrick Bucquet (1995)

Consulting with Soul imagine un autre type de conseil en management. Plutôt que de traiter les entreprises comme des machines à optimiser – des systèmes et processus que l'on peut réparer ou reconfigurer à volonté – cette approche les envisage comme des systèmes vivants, traversés par des forces inconscientes, des mythes fondateurs et des zones d'ombre qui façonnent silencieusement leur culture, leurs décisions et leur mode opératoire. Ce nouveau regard sur les entreprises permet d'ajouter des dimensions plus profondes sur la transformation organisationnelle telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui.

Dans ce récit, deux consultants aux profils délibérément différents – Marcus Thorne, ex-associé McKinsey rompu aux grandes restructurations d'entreprises, et Dr Elena Vasquez, analyste jungienne spécialisée dans les dynamiques collectives – plongent au cœur d'Aegis Mutual, un géant de l'assurance centenaire confronté à l'irruption de l'Intelligence Artificielle et à la remise en cause de son modèle historique. Leur mission dépasse rapidement le cadre

d'une transformation classique. Ensemble, ils initient et pilotent une démarche qui va bien au-delà des méthodologies, des feuilles de route et des plans d'action habituels : en affrontant les résistances profondes, les fantômes des dirigeants passés et les dynamiques inconscientes qui paralysent l'organisation, ils permettent à Aegis Mutual de mobiliser avec efficacité l'ensemble de ses ressources – visibles et invisibles. Car c'est précisément là que réside l'enjeu : non pas dans l'élaboration d'une stratégie supplémentaire, mais dans la capacité à révéler et à travailler ce qui, jusqu'alors, opérait dans l'ombre.

Mêlant fiction narrative et réflexion pratique, *Consulting with Soul* explore de nouvelles perspectives pour comprendre les forces profondes qui décident du succès ou de l'échec des transformations en entreprise. Ce livre s'adresse aux dirigeants, aux consultants et à tous ceux qui pressentent que les leviers les plus puissants du changement ne figurent dans aucun manuel – et qui cherchent à les nommer. ●



Le jour où j'ai quitté Bill Gates

Christophe Aulnette (1985)

Ancien président de Microsoft France, Christophe Aulnette revient dans ce livre sur son choix de tourner le dos au confort d'une multinationale pour donner un sens nouveau à sa vie professionnelle. Il dévoile les coulisses d'une carrière hors normes et partage ses souvenirs au cœur d'une industrie qui redéfinit l'avenir. Sans occulter ses doutes ni ses échecs, il expose les raisons profondes de sa décision et les leçons qu'il en a tirées.

Cette transition, dont Christophe Aulnette nous dévoile les épreuves et les opportunités, concerne aujourd'hui une large population de cadres qui quittent l'univers de l'entreprise et doivent s'inventer un nouveau destin professionnel. Ce phénomène est devenu un enjeu sociétal majeur. Dans cet ouvrage, il prodigue des conseils concrets, inspirés de son parcours et de ses rencontres, pour se réorienter et bâtir son deuxième acte en accord avec ses valeurs.

Christophe Aulnette est investisseur et conseiller opérationnel auprès de start-up, de PME dans le secteur de la tech et de fonds d'investissement. Observateur reconnu de cette industrie et de ses impacts économiques et sociétaux, il intervient régulièrement sur BFM Business. ●

Présentation de l'auteur

PDG (Microsoft, Altran, Netgem) avec 30 ans d'expérience en Europe et en Asie dans le développement d'entreprises mondiales au sein des secteurs technologiques et des services. Investisseur actif, se concentrant sur l'accélération du développement des entreprises technologiques.

Beaumarchais

Par **Marc Darmon (1988)**

Les deux pièces de Beaumarchais ont fourni le livret des plus importants opéras de deux magiciens de l'art lyrique, Mozart et Rossini. Chacune est d'ailleurs parfaitement adaptée au compositeur qui l'a mise en musique et les opéras en soulignent encore davantage les différences. *Le Barbier de Séville*, pleine de légèreté et parfois de bouffonnerie, succession de situations invraisemblables et d'épisodes burlesques, avec un Figaro souvent pataud et toujours vantard, a bien naturellement séduit Rossini. *Le Mariage de Figaro*, bien plus fin et plus construit, véritable pièce des Lumières, avec ses six personnages beaucoup plus complexes et subtils, et un Figaro plus malin et plus agile, était bien sûr adapté à Mozart.

Ces deux productions sont probablement parmi les meilleures de ces dernières années, avec des décors et une mise en scène d'exception.

Le Barbier de Séville de l'Opéra Bastille, mis en scène par Coline Serreau en 2002 et repris cette année à Paris, est magnifique. Les décors rappellent que Séville a été occupée 400 ans par les musulmans qui y ont laissé une forte empreinte. Ce sont les plus beaux décors vus depuis longtemps, les différentes scènes nous montrant patios et extérieurs aux couleurs de l'Andalousie musulmane (Azulejos, ...). La mise en scène est simple et efficace, avec de vrais moments forts comme cet Air de la Calomnie chanté par un Basilio de plus de deux mètres, véritablement impressionnant et intégralement cocasse. En fait la mise en scène fait preuve d'équilibre entre comique, voire burlesque (comme ce Figaro recouvert de téléphones portables), et classicisme (comme ces ensembles un rien statiques, aux antipodes des effervescences et agitations qu'on a pu voir dans d'autres productions). Le Comte Almaviva magnifiquement chanté par Roberto Saccà est en fait le vrai héros de l'opéra. L'air assez long où il converse

avec ses hommes de main est, avec l'Air de la Calomnie déjà cité, un des moments forts du DVD. Ajoutons que l'image de grande qualité rend justice aux costumes et aux superbes décors, et que l'opéra est très bien enregistré ce qui donne un plaisir peut-être supérieur à ce que l'on peut entendre dans l'acoustique parfois difficile et ingrate de l'Opéra Bastille.

La production des *Noces de Figaro* à l'Opéra londonien de Covent Garden mérite également d'être conservée. Ici il n'y a plus de comique, seul parfois un humour fin dans une atmosphère et des lumières à la Watteau ou Fragonard. Les grandes caractéristiques de cette production sont un jeu d'acteur digne du théâtre, des costumes et des décors somptueux, décors changeant à vue entre les actes de façon impressionnante et efficace et un ensemble musical de tout premier plan. Le chef Antonio Pappano, qui tient aussi le clavecin lors des récitatifs, dirige un ensemble d'une très haute musicalité : le Figaro d'E. Schrott a une présence phénoménale, le Comte de G. Finley joue bien les différents états d'esprit du personnage (amoureux et égrillard, puis menaçant et méchant, puis perdu et pénitent), le Basilio de Ph. Langridge semblant le seul personnage issu du *Barbier de Séville* lance le fameux « *così fan tutte* » qui fait le lien avec l'opéra suivant de Mozart. Les chanteuses sont encore plus exceptionnelles : *le voi che sapete* de Cherubin (où l'on voit comme au théâtre la Comtesse se laisser peu à peu séduire, et Suzanne accompagner le page à la guitare) est un enchantement, le *porgi amor* de la Comtesse de D. Röschmann, le *dove sono* de la Suzanne pétillante de Miah Persson sont de grands moments de l'opéra.

Vraiment, ces *Noces de Figaro* sont peut-être le DVD à posséder en priorité pour se convaincre de l'intérêt de l'opéra en image. ●



G. Rossini : Le Barbier de Séville
Opéra Bastille, Mise en scène Coline Serreau
1 DVD TDK DVWW-OPBARB
W.A. Mozart : Les Noces de Figaro
Covent Garden, Mise en Scène David McVicar
1 DVD Opus Arte 0990D



Marc DARMON

Thales, Senior Vice President, Europe.
Diplômé de l'École Polytechnique et de Télécom Paris, Marc Darmon a mené toute sa carrière dans les secteurs de la technologie, la défense et la sécurité. Il débute sa carrière dans le groupe Alcatel en 1988.
Il rejoint le groupe Thales en 1998.
En 2012, Marc Darmon devient Directeur Général Adjoint de Thales en charge de l'activité mondiale des Systèmes d'Information et de Communication Sécurisés, et rejoint le comité exécutif du groupe.
Il est Senior Vice Président Europe de Thales depuis novembre 2023.
Il devient Président du Conseil des Industries de la Confiance et de la Sécurité (CICS) en 2014, puis
Président du Comité stratégique de filière pour les Industries de Sécurité en 2017.
Marc Darmon a été Président du GICAT (Groupement des Industries Françaises de Défense et de Sécurité terrestres et aéroterrestres) de juillet 2020 à juin 2024.



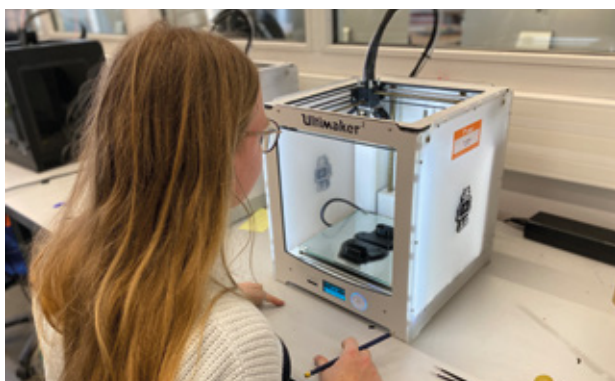
**Soutenez Télécom Paris
en nous versant votre Taxe d'Apprentissage !**

une école de  Institut Mines-Télécom

Le soutien de votre entreprise peut faire toute la différence !

Télécom Paris, première grande école d'ingénieurs généralistes du numérique, lance sa campagne annuelle de collecte de la **Taxe d'apprentissage**.

Ce financement est essentiel pour **renforcer l'excellence** de nos formations, **maintenir des infrastructures de pointe** et **accompagner** les transitions numériques, sociales et environnementales.



En désignant **Télécom Paris** (Code UAI : 0912407X) sur la plateforme **Soltéa**, comme **bénéficiaire de votre Taxe d'Apprentissage**, vous contribuez concrètement à :

- › L'équipement de nos laboratoires, salles de cours et de travaux pratiques avec les technologies les plus récentes ;
- › Le financement d'actions concrètes en faveur de la **diversité et de l'inclusion** ;
- › Le maintien de notre attractivité auprès des meilleurs talents ;
- › La préparation de futurs diplômés en phase avec vos besoins en recrutement.

Agissez avant le 21 octobre

LA CAMPAGNE EST OUVERTE ! FAITES CONNAÎTRE OU RELAYER CETTE OPPORTUNITÉ DANS VOTRE ENTREPRISE.

Pas directement concerné(e) ? Transmettez ce message au bon interlocuteur RH ou financier : votre relais est précieux.

**Je choisis Télécom Paris,
je scanne ce QR code**



Pour toute question, contactez

Céline Delagneau

Responsable de la Taxe d'Apprentissage

celine.delagneau@telecom-paris.fr

ou

Sylvain Lamblot

Directeur des Partenariats Entreprises

sylvain.lamblot@telecom-paris.fr



SEQUANS

Shaping the Future of Wireless

European high performance,
energy efficient wireless
semiconductors & IP

- IoT chipsets: LTE-M, 4G Cat-1bis, 5G RedCap & eRedCap
- RF transceivers for Software Defined Radio (SDR) for Space & Defence

sequans.com