



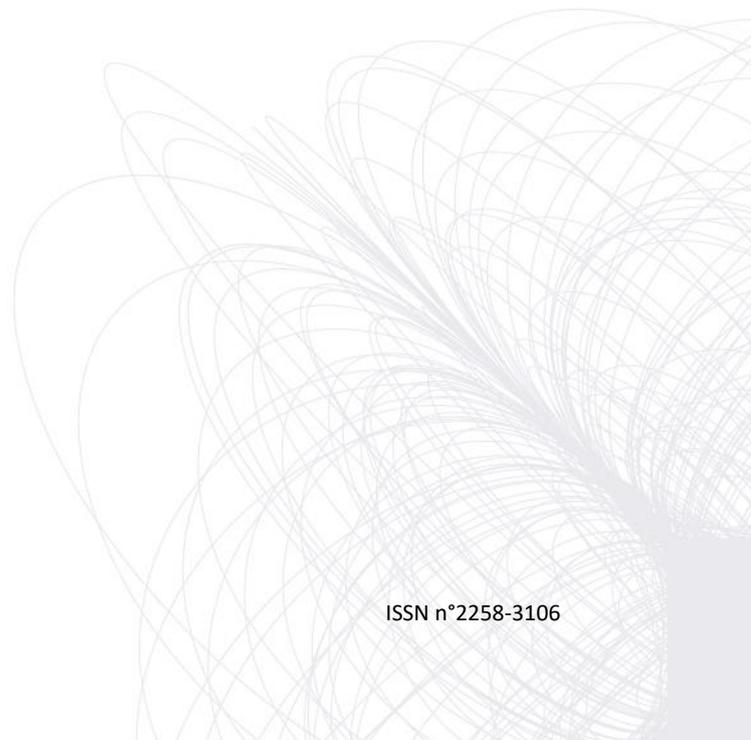
autorité de régulation
des communications électroniques,
des postes et de la distribution de la presse

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

RÉSEAUX DU FUTUR

L'intelligence artificielle et les réseaux télécom

Juin 2025

A large, abstract graphic in the bottom right corner consisting of numerous overlapping, light grey lines that form a complex, web-like structure, resembling a network or data flow.

ISSN n°2258-3106

La démarche « Réseaux du futur » de l'Arcep et son comité scientifique

Quels formats les réseaux du futur pourraient-ils adopter ? Quelles en seront les incidences sur le métier de régulateur de l'Arcep ? Quels pourraient être les nouveaux acteurs ou l'évolution des modèles économiques dans les secteurs régulés par l'Autorité ?

Pour alimenter ce travail prospectif et disposer d'un regard à 360° sur ces évolutions, sur un horizon de 5 à 10 ans, l'Arcep a demandé à douze personnalités qualifiées du monde académique, entrepreneurial et industriel, dans divers domaines d'expertise, de se joindre à elle dans un comité scientifique. Et pour que la réflexion soit complète, les équipes de l'Arcep échangent également avec des acteurs spécialisés de l'écosystème : opérateurs, équipementiers, acteurs d'internet, fournisseurs de service, acteurs d'internet ou encore collectivités territoriales.

L'Arcep restitue au fil de l'eau ces travaux en produisant [des notes thématiques, accessibles à tous sur son site](#), afin d'éclairer le débat public.



Jean-Luc Beylat
VP Ecosystem, Nokia



Eric Brousseau
Professeur, Université Paris-Dauphine



Giovanna Carofiglio
Senior Director, Cisco



Grazia Cecere
Professeure, Institut Mines Télécom



Mélanie Dulong de Rosnay
Directrice de recherche, CNRS



Serge Fdida
Professeur, Sorbonne Université



Yves Gassot
Consultant indépendant



Nolwenn Germain
Présidente fondatrice, HAIDO



Isabelle Hilali
CEO fondatrice, datacraft



Christian Licoppe
Directeur département, Institut Polytechnique Paris



Françoise Soulié-Fogelman
Conseillère scientifique, Hub France IA

Vous pensez pouvoir contribuer à ces travaux ?

Cette réflexion se veut « vivante », l'Arcep invite tous ceux qui le souhaitent à s'approprier ces analyses et à lui envoyer des contributions sur reseaux-du-futur@arcep.fr

Vous souhaitez être informé des prochaines présentations de notes thématiques ?

Demandez à être invité à com@arcep.fr.

Où lire les autres notes thématiques ?

A la date de publication de la présente note (mai 2025), une première note a déjà été publiée : [« L'informatique au cœur des réseaux télécoms »](#) (octobre 2024).

Les prochaines notes seront publiées sur [la page dédiée à la démarche « Réseaux du futur »](#).

« L'intelligence artificielle et les réseaux télécoms »

Note de synthèse cycle de réflexion « Réseaux du futur » – juin 2025

1	Introduction.....	4
1.1	L'intelligence artificielle : de quoi parle-t-on ?.....	5
2	L'IA pour les Réseaux.....	6
2.1	L'IA pour les Réseaux Fixes.....	6
2.1.1	Un cas d'usage éprouvé : la vision par ordinateur au service des réseaux fixes	6
2.1.2	Des perspectives pour les prochaines années	7
2.2	L'IA pour les Réseaux Mobiles.....	7
2.2.1	Des cas d'usage déjà existants	8
2.2.2	Des perspectives pour les prochaines années	8
2.3	L'IA de plus en plus présente dans les travaux de normalisation des technologies pour les réseaux	11
2.4	Une stratégie d'adoption progressive de l'IA pour les réseaux	12
2.5	L'évolution des métiers liée à l'IA	12
3	L'intégration croissante de l'IA dans les réseaux permet-elle l'émergence de nouveaux services ?	13
4	L'utilisation de l'IA et l'impact sur le trafic des réseaux.....	14
5	Les enjeux et les problématiques liés à l'adoption croissante de l'IA pour les réseaux	16
5.1	L'évolution de la chaîne de valeur et les dynamiques de l'écosystème	16
5.2	Des outils d'IA améliorent déjà la résilience et la sécurité des réseaux mais ils pourraient créer également de nouvelles vulnérabilités	17
5.3	Des enjeux environnementaux à considérer.....	18
5.3.1	L'impact environnemental de l'IA dans les réseaux est, à date, encore difficile à estimer	18
5.3.2	Les préoccupations environnementales peuvent pour autant être intégrées dans le développement et l'utilisation de l'IA dans les réseaux de communications électroniques.....	19
5.4	Des enjeux des données.....	19
5.5	Les enjeux liés à la régulation actuelle de l'IA.....	20
5.6	Vers une IA « explicable » et « interprétable » pour les télécoms	21
6	Conclusion	22
	Annexe 1.....	23

L'intelligence artificielle et les réseaux télécoms

1 Introduction

L'intelligence artificielle (IA) dans les réseaux de télécommunications n'est pas un sujet nouveau, comme en témoigne la note publiée en janvier 2020 lors du premier cycle de la démarche « Réseaux du Futur » de l'Arcep¹. Cependant, depuis cette première publication, les modèles d'IA et leurs applications ont connu un développement accéléré, accompagné d'une large démocratisation de leurs usages, notamment après le lancement de ChatGPT. Ce dernier a démontré la puissance des systèmes d'IA générative et suscité un engouement autour de cette technologie dans tous les secteurs de l'économie. En plus des évolutions technologiques, le paysage réglementaire a également changé avec l'adoption en 2024 du règlement sur l'IA qui encadre le développement de cette technologie au sein de l'Union européenne.

Dans la note publiée en 2020, il apparaissait que les opérateurs s'interrogeaient encore sur le recours à l'IA pour la gestion et l'optimisation des services. Aujourd'hui, il est indéniable que l'IA jouera un rôle majeur dans le fonctionnement des réseaux. Bien que présente dans le paysage télécom depuis plusieurs années, certains acteurs estiment qu'un nouvel élan se dessine pour l'IA dans ce secteur.

Cette nouvelle note a pour ambition de revisiter le thème de l'IA dans les réseaux avec un double objectif : analyser les évolutions survenues depuis la publication de la première note en 2020 et compléter les analyses de la note « L'informatique au cœur des télécoms »² publiée en 2024, afin de mieux comprendre comment l'IA et l'informatisation des réseaux façonneront les télécoms de demain.

À cette fin, la note propose une analyse des évolutions des réseaux télécoms permises par l'IA, des impacts de son adoption croissante sur les infrastructures et les utilisateurs, ainsi que des enjeux émergents. Consciente de l'ampleur du sujet, cette note n'a pas vocation à être exhaustive. Elle se concentre sur la réalité du terrain en France et met en lumière les principaux enseignements tirés des entretiens menés dans le cadre des travaux sur cette thématique.

Dans la première partie de la note, les cas d'usage des réseaux fixes et mobiles, déjà en place ou envisagés pour les années à venir, sont présentés. La note fait également le point sur l'intégration croissante de l'intelligence artificielle dans les réseaux à travers les travaux de normalisation et sur la manière dont les opérateurs adoptent ces innovations.

Par la suite, elle explore les perspectives des nouveaux services qui pourraient émerger grâce à une utilisation accrue de l'intelligence artificielle dans le secteur des télécommunications, tant pour les marchés grand public que pour les entreprises. Cela conduit à une analyse des impacts potentiels sur le trafic et la performance des réseaux.

Enfin, la note aborde les enjeux et défis qui accompagnent cette montée en puissance de l'IA dans les réseaux, notamment l'évolution de la chaîne de valeur et des relations entre les acteurs de l'écosystème, les implications environnementales, les questions liées aux données et à la réglementation, ainsi que les efforts et défis nécessaires pour faire émerger une IA responsable et durable.

¹ Arcep, 2020. Réseaux du futur - Note n° 6 - L'intelligence Artificielle dans les réseaux de télécommunications https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/reseaux-du-futur-IA-dans-les-reseaux-janv2020.pdf

² Arcep, 2024. Note de synthèse Réseaux du futur – L'informatique au cœur des télécoms https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/reseaux-du-futur-informatique-au-coeur-des-telecoms_VF_041024.pdf

1.1 L'intelligence artificielle : de quoi parle-t-on ?

L'intelligence artificielle (IA) désigne un ensemble de techniques permettant à des systèmes informatiques d'imiter certaines capacités humaines, comme le raisonnement, l'apprentissage ou la perception. Elle se divise principalement en deux approches : l'IA symbolique et le Machine Learning (ou apprentissage automatique).

L'IA symbolique repose sur la logique et des représentations compréhensibles par l'humain. Elle s'appuie sur des règles explicites et des bases de connaissances structurées, ce qui la rend proche du raisonnement humain. Cependant, cette approche montre ses limites face à des tâches complexes impliquant des variations imprévisibles ou nécessitant une adaptation dynamique.

À l'inverse, le Machine Learning ne repose pas sur une logique préétablie. Il utilise des algorithmes capables d'apprendre à partir de vastes ensembles de données, afin d'identifier des tendances et modéliser des comportements. Ces modèles peuvent adopter différentes architectures et s'adaptent grâce à des processus d'optimisation visant à minimiser une erreur ou maximiser une performance. Contrairement à l'IA symbolique, le Machine Learning ne possède pas de raisonnement explicite, mais il apprend à détecter et exploiter des structures sous-jacentes dans les données. Cette approche est particulièrement efficace pour des tâches comme la reconnaissance d'images, la traduction automatique ou la détection d'anomalies.

Dans le domaine des télécommunications, le Machine Learning s'est imposé grâce à la quantité massive de données générées quotidiennement par les réseaux. Il est utilisé pour anticiper les pannes, optimiser la gestion du trafic ou encore personnaliser les services offerts aux utilisateurs. À ce jour, l'IA symbolique reste peu exploitée dans ce secteur, car les recherches se concentrent principalement sur l'amélioration des modèles de Machine Learning.

Certains modèles, tels que les *Large Language Models* (LLM), rendus particulièrement populaires par l'émergence d'agents conversationnels comme ChatGPT, Mistral ou Perplexity, ou les modèles de Vision par Ordinateur (Computer Vision)³, sont particulièrement coûteux à développer et nécessitent des ressources considérables. Leur entraînement repose sur de vastes ensembles de données et mobilise des infrastructures capables de gérer des centaines de millions, voire plusieurs milliards de paramètres. Cette complexité entraîne non seulement des coûts énergétiques et financiers importants, mais aussi des défis en matière d'éthique, de confidentialité des données, de respect du droit d'auteur et d'impact environnemental. En outre, au-delà de la phase d'entraînement, leur déploiement et leur inférence en temps réel exigent des infrastructures puissantes, rendant ces technologies inaccessibles à de nombreuses organisations et limitant leur adoption à des acteurs disposant de moyens conséquents, comme les grandes entreprises technologiques.

Toutefois, l'IA ne se limite pas à ces modèles de grande échelle. De nombreux algorithmes plus classiques, issus des différentes branches du Machine Learning, permettent de répondre à une large variété de besoins avec des exigences moindres en calcul et en données. En effet, le Machine Learning regroupe plusieurs sous-domaines exploitant différentes techniques et répondant à divers cas d'usage.

L'Apprentissage Supervisé

Cette approche utilise des données étiquetées pour entraîner des modèles capables de prédire des résultats à partir de nouvelles entrées. Les algorithmes les plus courants incluent la régression linéaire,

³ La vision par ordinateur est un domaine de l'IA qui utilise l'apprentissage automatique et les réseaux neuronaux pour apprendre aux ordinateurs et aux systèmes à extraire des informations significatives à partir d'images numériques, de vidéos et d'autres entrées visuelles, et pour faire des recommandations ou prendre des mesures lorsqu'ils détectent des défauts ou des problèmes.

les forêts aléatoires et les réseaux de neurones. Ses applications vont de la classification d'images à la prédiction de séries temporelles.

L'Apprentissage Non Supervisé

Contrairement à l'apprentissage supervisé, cette approche travaille avec des données non étiquetées afin d'identifier des motifs ou des structures cachées. Des tâches comme la segmentation de clients et la détection d'anomalies font partie des cas d'usages. Les LLM sont principalement entraînés en auto-supervisé ou non supervisé, mais intègrent aussi des phases de supervision et de renforcement.

L'Apprentissage par Renforcement

Ici, un agent⁴ apprend en interagissant avec un environnement dynamique et en recevant des récompenses ou des pénalités selon ses actions. Cette approche est couramment utilisée pour les jeux, la robotique et l'optimisation des réseaux.

Ces trois approches du Machine Learning offrent des solutions complémentaires, chacune adaptée à des contextes et des défis spécifiques. Leur combinaison permet d'améliorer la performance et l'adaptabilité des systèmes intelligents dans des domaines variés, allant de la recherche scientifique aux applications industrielles y compris avec des usages pour les réseaux télécom qui seront discutés par la suite, comme, par exemple, le *deep learning* qui est un sous-ensemble du *machine learning* qui se concentre sur l'utilisation de réseaux neuronaux pour effectuer des tâches telles que la classification, la régression et l'apprentissage de la représentation. L'adjectif *deep* (profond) fait référence à l'utilisation de plusieurs couches dans le réseau neuronal. Ainsi, le *deep learning* peut être supervisé, non supervisé ou par renforcement, selon l'algorithme et l'objectif.

2 L'IA pour les Réseaux

2.1 L'IA pour les Réseaux Fixes

Le Plan France Très Haut Débit a accéléré le déploiement de la fibre optique en France, faisant des réseaux fixes une infrastructure essentielle des usages numériques. L'adoption massive de cette nouvelle infrastructure a entraîné la généralisation du mode STOC⁵, mettant en lumière des défis en matière de qualité des installations et de pérennité des réseaux. L'IA s'est imposée comme un outil clé pour automatiser le contrôle des installations et la détection des anomalies.

2.1.1 Un cas d'usage éprouvé : la vision par ordinateur au service des réseaux fixes

Un cas d'application de l'IA répandu dans le domaine des réseaux fixes est l'utilisation de la vision par ordinateur qui permet d'analyser automatiquement des images pour en extraire des informations pertinentes telles que la reconnaissance des anomalies. Ce domaine d'application fait l'objet de diverses solutions qui sont proposées notamment par des PME innovantes. Depuis quelques années, les opérateurs commerciaux⁶ et leurs sous-traitants se sont engagés à transmettre des comptes rendus

⁴ Les agents d'IA sont des systèmes logiciels qui utilisent l'IA pour poursuivre des objectifs et accomplir des tâches au nom des utilisateurs. Ils font preuve de raisonnement, de planification et de mémoire et disposent d'un certain niveau d'autonomie pour prendre des décisions, apprendre et s'adapter.

⁵ Le mode « STOC » désigne le mode de raccordement des utilisateurs finals à la fibre par lequel l'opérateur d'infrastructure (OI), responsable du réseau, délègue le déploiement des derniers mètres à un opérateur commercial (OC).

⁶ Opérateur commercial : opérateur fournissant des services de communications électroniques et bénéficiant de l'accès au réseau déployé par les opérateurs d'infrastructure.

sur l'ensemble des interventions réalisées, ce qui a donné accès aux opérateurs d'infrastructures⁷ à un volume de données conséquent permettant l'entraînement et le perfectionnement des modèles destinés à accompagner et à évaluer les interventions sur les réseaux fixes.

Aujourd'hui, l'ensemble des opérateurs d'infrastructure utilisent ces outils pour contrôler plusieurs dizaines de points par photo et vérifier, a posteriori, si l'intervention a été réalisée dans le respect des standards de qualité. Ces outils permettent ainsi de détecter de manière automatique l'utilisation d'une mauvaise route optique au point de branchement, la présence de cordons non utilisés au point de mutualisation ou le bon étiquetage des câbles de raccordement avec une certitude comprise entre 90 et 99 %. Grâce à ce contrôle systématique de toutes les interventions, les opérateurs d'infrastructure peuvent responsabiliser les opérateurs commerciaux en mettant en place des mécanismes de refacturation des malfaçons identifiées, les incitant ainsi à améliorer la qualité des interventions et à garantir une meilleure pérennité du réseau.

Par ailleurs, la vision par ordinateur rencontre aussi d'autres applications telles que la catégorisation des infrastructures endommagées signalés par les citoyens. La reconnaissance visuelle des images collectés permet d'identifier s'il y a un dommage effectif et définir la priorité d'intervention.

2.1.2 Des perspectives pour les prochaines années

Dans les années à venir, les outils de vision par ordinateur continueront de progresser, améliorant leur fiabilité, augmentant le nombre de points pouvant être contrôlés tout en réduisant la quantité de données requise pour leur entraînement, grâce à des algorithmes plus performants et des méthodes d'apprentissage optimisées.

D'autre part, les réseaux fixes devraient bénéficier du développement de réseaux plus autonomes, qui fonctionnent avec une intervention humaine minimale. Par exemple, en surveillant en temps réel l'utilisation des réseaux et en analysant les tendances de trafic, l'IA permet d'améliorer la qualité de service tout en réduisant la congestion. Elle peut également identifier et réparer les dysfonctionnements avant qu'ils n'affectent les utilisateurs finals. En raison de sa complexité, ces développements se font de manière progressive. Certains opérateurs qui en déploient ce type d'application se fixent un objectif initial de détection d'anomalies, qui évoluera vers des capacités de diagnostic, puis de remédiation des incidents relatifs par exemple à la sécurité, la performance ou la congestion du réseau.

2.2 L'IA pour les Réseaux Mobiles

L'utilisation de l'intelligence artificielle a fait l'objet de beaucoup d'annonces dans le domaine des réseaux mobiles. En particulier, la sixième génération des réseaux mobiles (6G), encore à l'état de conception et de standardisation, se promet d'être « AI-native », c'est-à-dire de disposer d'une architecture reposant structurellement sur l'intelligence artificielle. Cependant, l'intégration voire le codéveloppement de nouvelles technologies d'intelligence artificielle et de réseaux mobiles intervient dans un contexte où l'utilisation de l'intelligence artificielle est déjà une réalité opérationnelle employée sur le terrain et où de nouveaux cas d'usage, encore en projet, pourraient connaître un essor dans les années à venir. Enfin, il convient de souligner que plusieurs cas d'application de l'IA cités ci-après peuvent concerner à la fois les boucles locales d'accès radio, le réseau de collecte et le cœur de réseau.

⁷ Opérateur d'infrastructure : opérateur qui établit ou exploite un réseau de fibre en optique.

2.2.1 Des cas d'usage déjà existants

Comme cela a été rappelé en introduction, les termes « intelligence artificielle » peuvent recouvrir des réalités technologiques très diverses. En ce qui concerne les réseaux mobiles, le *machine learning* est déjà une technologie éprouvée que l'on retrouve dans certaines sous-composantes des réseaux. Certains opérateurs l'utilisent notamment pour détecter les comportements anormaux de certains éléments des sites mobiles (batterie, climatisation) afin de prévenir des défaillances techniques. La classification et le traitement d'alertes au niveau du réseau d'accès radio est aussi un autre exemple d'application pour la prévention des défaillances. Par ailleurs, l'IA est également utilisée pour mettre en place des fonctionnalités de réduction d'énergie (aussi appelées « *green features* ») permettant notamment l'extinction dynamique de bandes de fréquences en heures creuses, prédire profil de trafic au niveau des cellules radio ou encore construire des typologies de sites afin d'améliorer leurs paramètres.

Pour ce type de cas d'usage, le *machine learning* peut donner des résultats très satisfaisants avec relativement peu de capacité de calcul par le simple recours à des CPU (unité centrale de traitement) ou à de faibles ressources en GPU (unité de traitement graphique). Ce type d'apprentissage « supervisé » nécessite des données labélisées, ce qui n'est pas le cas de certains algorithmes plus avancés de *deep learning*. Si l'utilisation du *machine learning* pour ce type de cas d'usage pourrait évoluer vers des modèles plus complexes, en recourant notamment au *deep learning*, il ne semble pas toujours évident que cela permette d'obtenir des résultats sensiblement plus pertinents, qui en justifient la coordination nécessaire pour la mise en œuvre de la solution ainsi que les moyens financiers associés.

Les grands modèles de langage (LLM) quant à eux trouvent également des cas d'applications pour les réseaux mobiles. Ils sont notamment mobilisés pour des tâches liées à la remédiation de problèmes. Certains téléconseillers, chargés de répondre aux demandes des abonnés, sont par exemple formés grâce à ce type de modèles. Chez certains opérateurs, ces modèles sont également utilisés par des ingénieurs et des techniciens afin d'interroger ou de mettre à jour des bases de données compilant des procédures d'installation et des protocoles permettant la résolution d'incidents.

S'agissant des réseaux privés destinés aux usages professionnels d'entreprises ou d'entités du secteur public, les applications de l'IA concernent par exemple la modélisation de la qualité de couverture indoor.

2.2.2 Des perspectives pour les prochaines années

En complément des usages existants, différents cas d'application des technologies de l'IA font l'objet de développements et d'expérimentations par le secteur du numérique. Cette section met ainsi en lumière quelques axes d'innovation en cours dans l'application de l'IA aux réseaux télécoms, susceptibles d'émerger dans les années à venir. Certaines de ces applications ont également été identifiées dans d'autres publications, telles que le rapport du BEREC⁸ et l'étude de WIK-Consult⁹ pour le régulateur autrichien, dont la lecture pourrait compléter utilement cette note.

Jumeaux numériques des réseaux

Les jumeaux numériques ont le potentiel de transformer la gestion des réseaux de télécommunications en offrant des répliques virtuelles précises des infrastructures physiques. Cette technologie permet

⁸ BoR (23) 93 BEREC Report on the impact of Artificial Intelligence (AI) solutions in the telecommunications sector on regulation

⁹ Wik Consult, 2024. AI in Telecommunication: The Current Use of AI in the Austrian Telecommunications Sector

aux opérateurs de simuler, surveiller et optimiser leurs réseaux de manière proactive, réduisant ainsi les coûts et améliorant les performances¹⁰. Parmi ses fonctionnalités, il serait possible d'anticiper les défaillances potentielles, tester de nouvelles configurations et planifier des mises à niveau sans perturber le service réel. Cette approche est particulièrement utile pour gérer la complexité associée à l'empilement de plusieurs technologies de réseaux mobiles ainsi qu'au nombre croissant de fonctionnalités pour les générations les plus récentes. La conception des jumeaux numériques peut s'appuyer des technologies de l'IA, notamment des algorithmes *machine learning* spécialisés pour l'agrégation, la génération et la visualisation des données. Le recours à ces technologies permet ainsi de rendre plus fiables et précis les résultats des prédictions et simulations des jumeaux numériques.

Les principaux équipementiers proposent déjà des solutions mettant en œuvre l'usage de jumeaux numériques, qui ne semblent pour l'instant être déployées que sur des parties ciblées du réseau. Cependant, dans les années à venir, la tendance est à un déploiement plus large des jumeaux numériques, couvrant l'ensemble des briques du réseau et offrant des fonctionnalités plus avancées. En France, certains opérateurs se lancent dans le développement de leur propre projet de jumeaux numérique, conçus grâce à des technologies d'intelligence artificielle, avec une intégration progressive des briques de réseaux en cherchant d'abord à reproduire le comportement du cœur de réseau. Le principal intérêt consisterait à simuler l'impact de certains re-paramétrages du cœur en limitant le nombre de tests à réaliser en conditions réelles, ou semi-réelles. De cette façon, le nombre de re-paramétrage ou de mises à jour testés pourraient être considérablement démultipliés. Là où aujourd'hui les reconfigurations sur les cœurs de réseaux prennent du temps avant d'être généralisées car elles peuvent avoir des impacts considérables sur l'ensemble des abonnés, des tests effectués sur un jumeau numérique fidèle aux comportements réels du cœur pourraient permettre de diminuer significativement le temps d'adoption de ces re-paramétrages. Mieux encore, un modèle d'IA parallèle pourrait avoir pour objectif de maximiser les performances du cœur de réseau en testant d'innombrables scénarios de paramétrage sur un jumeau numérique.

Les jumeaux numériques du réseau peuvent également bénéficier aux réseaux privés 5G, en permettant la simulation des paramètres du réseau, le suivi en temps réel de la qualité de service et de la couverture, notamment sur les sites industriels où la performance de la connectivité peut impacter le fonctionnement des infrastructures automatisées.

Les réseaux autonomes / Les réseaux « Zero-touch »

Ainsi, comme pour les réseaux fixes, les réseaux mobiles devraient aussi bénéficier du développement de solutions d'automatisations avancées favorisant l'optimisation de leur gestion dans un contexte de complexité croissante. De façon générale, le déploiement et l'administration de réseaux mobiles mobilisent et génèrent de grandes quantités de données structurées. Ces activités sont donc particulièrement adaptées à une optimisation par des technologies d'IA. Certaines solutions de réseaux autonomes proposent une architecture reposant sur une collecte des données unifiée qui comprend le réseau d'accès mobile (RAN), le cœur de réseau et le réseau de transport pour alimenter des modèles *machine learning* centralisés qui sont en capacité de contrôler tout le réseau. L'IA joue un rôle central dans cette application en analysant en temps réel les données du réseau, en détectant les anomalies et en prenant des mesures correctives de manière autonome. Les « *zero-touch networks* » s'inscrivent ainsi dans la continuité des « *self-organising networks* » (SON), qui avaient déjà pour ambition d'apporter davantage d'automatisation dans les réseaux et dont la standardisation par le 3GPP remonte à 2008.

¹⁰ Digital twins on the agenda for telecoms | Nokia.com : <https://www.nokia.com/bell-labs/bell-labs-consulting/articles/digital-twins-on-the-agenda-for-telecoms/>

Il existe des projets ambitieux comme celui du TM Forum¹¹ qui souhaite créer un réseau entièrement autonome. Il utilise une approche assez standardisée avec six niveaux d'automatisation en lien avec la maturité du système. En France, certains opérateurs ont l'ambition de construire leur propre réseau autonome. Par ailleurs, les principaux équipementiers ont déjà intégré des solutions de réseaux autonomes à leur offre. Dans les années à venir, cette technologie continuera d'évoluer progressivement vers un niveau d'automatisation plus avancé, conduisant à l'émergence de réseaux basés sur les intentions (*intent-based networks*). Dans ce modèle, l'opérateur définira un objectif pour le réseau (par exemple, un niveau de QoS ou une performance de téléchargement), qui sera atteint grâce à l'IA intégrée au réseau autonome.

IA Native

Selon l'Union internationale des télécommunications (UIT)¹², les réseaux natifs de l'IA désignent un nouveau paradigme dans lequel l'IA n'est pas simplement une fonction supplémentaire, mais est intégrée dans l'architecture des réseaux dès leur conception, ce qui permet des niveaux d'automatisation, d'optimisation et d'intelligence sans précédent. Ces réseaux seront capables de s'autogérer, de s'auto-optimiser et même de s'autoréparer, ce qui leur permettra de répondre aux exigences des applications futures.

C'est une approche différente de ce qui existe actuellement où l'IA est une composante additionnelle aux anciens éléments de réseaux ou embarquée dans les composants plus modernes, remplaçant ainsi les anciens éléments dépourvus de ces fonctionnalités. La façon dont l'IA s'intègre aux briques de réseaux actuellement ne permet pas un fonctionnement unifié du réseau où l'on pourrait bénéficier d'un cycle complet d'IA intégrant la pré-validation, l'évaluation en temps réel et l'optimisation qui demanderait un traitement efficace des données pour garantir un système d'IA performant ainsi qu'une intégration harmonieuse des systèmes de calcul, des flux de données et des modèles pour assurer une bonne qualité de service (QoS)¹³. L'IA native pourrait être un des piliers des futures technologies de réseaux mobiles, avec des applications pouvant s'appuyer sur des capacités ou des modules d'IA préinstallés, notamment en ce qui concerne les réseaux 6G¹⁴.

Bien que le concept d'IA native gagne en visibilité dans l'écosystème des télécommunications, il ne dispose pas encore d'une définition formelle et concrète. Celle-ci devrait se préciser au fil des avancées dans le développement des futures technologies de réseaux mobiles. Par ailleurs, tandis que chacun des équipementiers développe une vision claire du concept et de l'architecture d'un réseau intégrant l'IA native, les opérateurs semblent rester prudents sur leurs intentions en la matière.

AI-RAN : Focus sur les réseaux d'accès mobile à l'ère de l'IA native

Des évolutions sont également attendues sur les réseaux d'accès mobile (RAN) notamment à la suite des travaux de l'*AI RAN Alliance*¹⁵ lancée en 2024 dont l'objectif est d'améliorer les performances et les capacités du réseau RAN grâce à l'IA. Au sein de cette alliance, opérateurs, équipementiers, universités, startups, fournisseurs de GPU et *hyperscalers* coopèrent pour développer la nouvelle génération de RAN.

¹¹ Autonomous Networks - TM Forum : <https://www.tmforum.org/topics/autonomous-networks/>

¹² UIT - FG AINN : <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ainn/Pages/default.aspx>

¹³ Iovene, M., Jonsson, L., Roeland, D., D'Angelo, M., Hall, G., Erol-Kantarci, M. and Manocha, J., 2023. Defining AI native: A key enabler for advanced intelligent telecom networks. Ericsson, Tech. Rep.

¹⁴ China Mobile Research Institute (CMRI). (2022) 6G Native AI Architecture and Technologies White Paper.

¹⁵ AI-RAN Alliance : <https://ai-ran.org/>

Parmi les avancées technologiques attendues les prochaines années¹⁶, il est attendu une évolution de la conception des RAN permettant d'intégrer des optimisations à différents niveaux grâce à l'IA, en synergie avec la virtualisation. Les performances du réseau d'accès radio pourront ainsi être améliorées, dans la continuité des avancées qui sont déjà disponibles, notamment au niveau de l'interface radio et du traitement du signal qui deviendraient IA natifs, permettant d'optimiser la chaîne de traitement. De même, l'IA pourrait faciliter la gestion et l'optimisation du positionnement des faisceaux. Par ailleurs, la gestion des ressources radio bénéficierait également de l'IA pour une allocation plus dynamique et efficace. Enfin, l'amélioration de l'efficacité énergétique et spectrale devrait constituer un axe majeur, avec un objectif de réduction de la consommation énergétique et, par conséquent, des coûts opérationnels des composants du RAN, tout en optimisant l'utilisation du spectre. Ce sont des avancées appelées « *AI for RAN* ».

En complément, d'autres innovations visent à créer une infrastructure partagée pour le fonctionnement simultanée de l'IA et du RAN pour exécuter des tâches non liées au RAN (« *AI and RAN* ») et à permettre un fonctionnement décentralisé et plus performant des applications d'IA grâce à l'infrastructure du réseau d'accès radio (« *AI on RAN* »).

2.3 L'IA de plus en plus présente dans les travaux de normalisation des technologies pour les réseaux

L'intégration croissante de l'IA dans les réseaux conduit les instances de normalisation à s'emparer de plus en plus du sujet. À l'UIT¹⁷, le groupe d'étude chargé des réseaux du futur et des technologies émergentes intègre dans son périmètre l'orchestration et l'usage de l'IA dans les réseaux.

Au sein du 3GPP¹⁸, plusieurs groupes de travail ont inscrit l'IA à leur agenda. Il est intéressant de noter que les modèles d'IA eux-mêmes ne sont pas normalisés. Les efforts de normalisation se concentrent plutôt sur le contrôle et la surveillance des performances des modèles, la gouvernance, ainsi que sur des approches normalisées pour la collecte de données (entraînement) et l'amélioration des modèles¹⁹.

Depuis la Release 18 du 3GPP (5G Advanced), publiée en 2024, des normes relatives à l'IA ont été intégrées aux interfaces radio. L'IA figure également parmi les évolutions prévues pour la Release 19, dont les travaux ont débuté en 2024. Ces travaux s'étendent désormais aux usages basés sur l'IA générative, dont des sujets de normalisation déjà ciblés incluent aussi bien le RAN – par exemple, pour la compression de l'information sur l'état du canal, la gestion et le positionnement des faisceaux, ainsi que l'optimisation de la consommation énergétique du réseau – que le cœur de réseau, notamment pour l'analyse des données réseau en vue de la prédiction et de l'atténuation des risques de congestion²⁰.

Par ailleurs, le CEN/CENELEC²¹ a mis en place un comité technique dédié à l'intelligence artificielle²². Ce comité sera chargé d'élaborer des normes horizontales visant à soutenir les exigences du règlement

¹⁶ AI-RAN Alliance Vision and Mission White Paper

¹⁷ UIT : Union Internationale des Télécommunications

¹⁸ 3GPP : *3rd Generation Partnership Project* est une coopération entre organismes de normalisation qui produit des protocoles pour les communications mobiles

¹⁹ Montojo, Juan. Overview of AI/ML related work in 3GPP. Présentation dans « ETSI AI Conference 2025 ». Disponible sur : https://docbox.etsi.org/Workshop/2025/02_AICONFERENCE/SESSION05/3GPPRAN_MONTOJO_JUAN_QUALCOMM.pdf

²⁰ Karapantelakis, A., Alizadeh, P., Alabassi, A., Dey, K. and Nikou, A., 2024. Generative AI in mobile networks: a survey. *Annals of Telecommunications*, 79(1), pp.15-33.

²¹ CEN/CENELEC : European Committee for Standardization/European Electrotechnical Committee for Standardization

²² <https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cen-cenelec-topics/artificial-intelligence/>

sur l'IA et pouvant également s'appliquer au secteur des télécommunications. Ces normes porteront notamment sur l'harmonisation de la terminologie et des concepts, la confiance et l'éthique de l'IA, ainsi que la cybersécurité et l'interopérabilité.

2.4 Une stratégie d'adoption progressive de l'IA pour les réseaux

Les échanges avec les acteurs montrent que l'intégration de l'IA dans les réseaux se fait de manière progressive. Un constat similaire avait été fait lors des travaux sur l'informatisation des réseaux publiés l'année dernière. Même si chaque opérateur en France a sa propre vision du déploiement de l'IA pour les réseaux, ils privilégient généralement une approche *bottom-up* : les équipes métiers identifient et proposent des solutions répondant à des besoins concrets, tels que l'amélioration des opérations et la résolution des pannes.

Bien que les opérateurs restent ouverts aux solutions proposées par les équipementiers, ils internalisent le développement de plusieurs cas d'usage en capitalisant sur les données disponibles ainsi que sur leur connaissance du réseau et de son opération. En effet, les solutions des équipementiers ne sont pas toujours des produits clés en main : elles nécessitent des ajustements, voire un entraînement spécifique chez l'opérateur. Par ailleurs, certaines applications requièrent une collaboration étroite avec les opérateurs pour tester et calibrer les modèles.

Dans un contexte où l'IA est perçue comme un levier d'innovation et de performance opérationnelle, les opérateurs adoptent une approche prudente. Ils favorisent un déploiement progressif afin de mesurer précisément les résultats, l'impact sur les indicateurs de performance du réseau, les coûts associés et le retour sur investissement (ROI). Cette stratégie s'explique également par le fait que l'IA n'est pas toujours plus performante que l'humain. Dans certains cas, même lorsqu'une solution IA est disponible, une approche moins automatisée peut s'avérer préférable.

Au vu des comparaisons internationales, le rythme de l'intégration de l'IA dans les réseaux paraît dépendre du degré d'informatisation des infrastructures, ainsi que de la dynamique globale d'investissement dans le déploiement de nouveaux réseaux.

2.5 L'évolution des métiers liée à l'IA

L'approche pragmatique décrite au paragraphe précédent n'empêche pas l'émergence de nouvelles dynamiques, voire des changements profonds dans les métiers du domaine des télécommunications tels qu'ils sont connus aujourd'hui, notamment avec l'apparition de la notion du « collaborateur augmenté », dans laquelle l'intelligence artificielle devient un soutien aux collaborateurs. Les applications IA permettent aujourd'hui d'apporter une assistance à la résolution d'incidents, une automatisation du remplissage documentaire ou un support dans de formulation des réponses pour les équipes en contact avec clients. Ces innovations permettront aux collaborateurs de gagner en agilité et aux opérateurs d'être plus performants. Malgré une automatisation croissante, rien n'indique que l'humain sera écarté de l'exploitation du réseau au profit de l'IA.

La branche plus opérationnelle des métiers subira potentiellement aussi une transformation majeure dans les prochaines années à venir. Celle-ci sera rendue possible par la combinaison de la réalité augmentée, permettant de superposer des éléments virtuels à l'environnement réel, et de l'intelligence artificielle appliquée à la vision par ordinateur. En effet, grâce à des applications mobiles ou des lunettes connectées avec des composantes IA intégrées capables de reconnaître les éléments du réseau et leur fonctionnement, il sera possible d'identifier en temps réel les équipements réseau et d'afficher des informations contextuelles directement dans le champ de vision du technicien. Ce dernier pourra ainsi recevoir des indications contextuelles et précises sur les éléments manipulés et environnants. Il pourra également être guidé tout au long de son intervention, réduisant notamment

le risque d'erreur. En automatisant une partie de l'analyse et du diagnostic, la réalité augmentée combinée à la vision par ordinateur transformerait le travail de terrain, rendant les interventions plus fluides, précises et efficaces, améliorant la qualité et la fiabilité des réseaux.

3 L'intégration croissante de l'IA dans les réseaux permet-elle l'émergence de nouveaux services ?

Le développement de services innovants devient un enjeu clé pour les opérateurs, notamment en raison du besoin de monétiser les investissements dans les réseaux. Dans ce contexte, l'essor de l'intelligence artificielle représente un espoir pour redynamiser le secteur et créer de nouveaux modèles d'affaires. Plusieurs services innovants pourraient ainsi voir le jour dans les prochaines années.

Pour développer ces nouveaux services, les opérateurs misent sur des partenariats stratégiques de long terme, à l'image de Vodafone avec Microsoft²³ ou d'Orange avec Mistral AI²⁴. Aujourd'hui, des pistes concrètes existent déjà pour proposer de nouveaux services, tant en B2B qu'en B2C.

S'agissant des services destinés au grand public sur les réseaux fixes, un exemple concret consiste à proposer sur les box des clients, grâce à l'IA générative, de contenus audiovisuels personnalisés. L'utilisateur peut interagir avec un assistant IA qui peut lui poser des questions contextualisées pour lui proposer une sélection adaptée en temps-réel. L'IA permet également l'analyse des habitudes de consommation des clients abonnées à la fibre, renforçant ainsi l'engagement et la satisfaction des abonnés. Sur les réseaux mobiles, les opérateurs misent sur la mise à disposition de l'accès gratuit pour l'utilisation des modèles d'IA générative²⁵.

D'autres services destinés aux consommateurs pourraient être améliorées prochainement, comme l'utilisation de l'IA pour détecter les appels frauduleux et les spams intégrée au téléphone sans besoin de téléchargement d'une application spécifique et des mises à jour fréquentes, ou encore l'offre d'un assistant IA capable de répondre aux appels.

Par ailleurs, des améliorations permises par l'IA dans la gestion dynamique des ressources d'un réseau 5G SA pourraient permettre aux opérateurs de proposer de nouvelles offres telles qu'un accès « VIP » à la demande²⁶. Celui-ci consisterait à proposer d'une souscription rapide via le terminal pour une durée choisie par l'utilisateur, tel que cela a été expérimenté sur le marché chinois en 2024.

Concernant les services destinés aux entreprises, de nombreuses perspectives s'ouvrent, notamment grâce à la convergence des réseaux avec le cloud et l'IA. Parmi les solutions envisagées, on peut citer les services RCS (*Rich Communication Services*) associés à des assistants IA, permettant des communications commerciales plus sûres et personnalisées. D'autres types de solutions telles que des assistants IA intégrés aux forfaits mobiles, qui proposent une retranscription et un résumé des appels, ainsi qu'une interaction avec les systèmes d'information utilisés par les entreprises, sont désormais

²³<https://www.vodafone.com/news/corporate-and-financial/vodafone-microsoft-sign-10-year-strategic-partnership-generative-ai-digital-services-cloud>

²⁴<https://newsroom.orange.com/orange-et-mistral-ai-signent-un-partenariat-strategique-pour-accelerer-le-developpement-de-lia-en-europe/>

²⁵ <https://www.corporate.bouyguestelecom.fr/archives-communique-presse/partenaire-telecom-exclusif-de-perplexity-en-france-bouygues-telecom-est-le-seul-operateur-a-offrir-a-tous-ses-clients-un-acces-gratuit-au-moteur-de-recherche-ia-perplexity-pro/>

²⁶ https://www.gsma.com/get-involved/gsma-foundry/gsma_study/intelligent-packet-core/

commercialisées en France. Les acteurs rencontrés estiment par ailleurs que l'IA appliquée à l'IoT industriel en temps réel représente un domaine prometteur.

Par ailleurs, l'intégration de l'IA dans l'ouverture des réseaux pourrait offrir un nouvel éventail de services innovants aux entreprises. L'utilisation d'API (*Application Programming Interfaces*) enrichies par des modèles d'IA pour l'authentification au niveau des réseaux pourrait constituer une solution efficace pour lutter contre la fraude dans les services financiers ou sur les plateformes de services est un exemple de cette convergence de technologies.

La tendance croissante à concevoir des équipements dotés d'une intelligence artificielle embarquée, utilisant un nombre réduit de paramètres sans compromis sur la performance des modèles, pourrait par ailleurs ouvrir la voie à de nouveaux usages. Parmi ceux-ci figurent la conduite autonome de véhicules, avec un niveau de sécurité accru, ainsi que l'utilisation des terminaux utilisateurs comme outils d'aide à la décision pour les professionnels, notamment dans les sites industriels où la connectivité est souvent limitée. C'est avec cet objectif de développer l'IA embarqué que Qualcomm a annoncé un partenariat avec Mistral AI ²⁷ récemment.

Dans la perspective de réseaux IA natifs à l'avenir, les réseaux d'accès radio pourraient offrir des perspectives pour l'émergence des services innovants grâce aux fonctionnalités « AI and RAN » et AI on RAN » mentionnées dans la partie 2.2.2. Les possibilités envisageables concernent la mise à disposition de la puissance de calcul du RAN à d'autres services qui en ont besoin ainsi que son utilisation pour offrir une meilleure performance aux services IA permises par des infrastructures décentralisées.

4 L'utilisation de l'IA et l'impact sur le trafic des réseaux

Un sondage IPSOS-Cesi²⁸ datant de début 2025 a constaté que 39 % des français utilisent activement l'intelligence artificielle dans leur quotidien, principalement dans un cadre personnel, mais aussi professionnel. L'utilisation pour les jeunes entre 18-24 ans atteint un niveau encore plus élevé de 74 %. Ces chiffres démontrent que des usages liés à l'IA devient de plus en plus populaires. La piste d'une croissance du trafic dans les années à venir pourrait être assez crédible. Pour le secteur télécom cela pose d'interrogations sur l'impact de ces nouveaux usages.

D'après les entretiens menés avec les opérateurs, à ce jour, aucune modification substantielle du trafic liée à l'usage de l'IA générative par les clients finals n'a été constaté en France. Néanmoins, les acteurs anticipent une forte croissance dans les années à venir^{29,30}. Les évolutions restent complexes à anticiper, plusieurs acteurs rencontrés jugent que nous sommes au début d'une disruption des usages qui donne beaucoup d'incertitudes sur les scénarios prévisibles.

Dans ce contexte, la principale préoccupation des opérateurs est que l'utilisation accrue d'outils d'IA pourrait par ailleurs augmenter le volume global de trafic, ainsi que la part du trafic ascendant dans le trafic total³¹. Or, les réseaux de communications électroniques, et plus particulièrement les réseaux

²⁷ <https://www.qualcomm.com/news/releases/2024/10/qualcomm-and-mistral-ai-partner-to-bring-new-generative-ai-model>

²⁸ <https://www.ipsos.com/fr-fr/intelligence-artificielle-quels-sont-les-usages-des-francais>

²⁹ Impact of GenAI on mobile network traffic, Ericsson mobility report, Novembre 2024 <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/articles/genai-impact-on-mobile-network-traffic>

³⁰ Source : The AI revolution impact on 5G data traffic | Nokia <https://www.nokia.com/blog/the-ai-revolution-preparing-for-a-surge-in-5g-uplink-traffic/>

³¹ Par ailleurs l'impact pourrait concerner également la durée des pics de trafic dans le sens ascendant, impactant de ce fait le profil de l'heure chargé (et par conséquent le dimensionnement du réseau)

mobiles, sont actuellement établis sur la base d'un trafic descendant plus important que le trafic ascendant, les utilisateurs finals téléchargeant plus de données qu'ils n'en envoient. Les applications intégrant l'IA (ex. applications à base d'IA Générative, jeux en ligne supportés par l'IA, XR/AR basés sur l'IA etc.) qui nécessiteraient un envoi accru de données pourraient modifier la nature du trafic et ainsi obliger à une restructuration des réseaux. Des premières analyses sur les outils d'IA disponibles au grand public constatent que celles qui utilisent des images et vidéos ainsi que celles qui demandent une synchronisation avec le cloud pour les requêtes IA peuvent générer jusqu'à quelques dizaines de Mbps de trafic en liaison montante³². Par ailleurs, d'autres outils peuvent être très exigeants en latence pour son bon fonctionnement. Un autre exemple est celui du service de robotaxi³³ disponible en Chine, qui propose des trajets en véhicules autonomes. Chaque voiture génère et télécharge (*upload*) quotidiennement jusqu'à 100 Go de données. Le bon fonctionnement de ce service nécessite une bande passante montante d'environ 100 Mbps pour les transferts en temps réel, avec une latence *end to end* inférieure à 50 millisecondes.

Des solutions existent néanmoins pour s'adapter à cette potentielle reconfiguration du trafic liée à l'utilisation de l'IA. D'une part, certains modèles d'IA peuvent être déployés en *edge computing* (calcul de proximité) – c'est-à-dire près du client et des sources de génération des données - voire directement sur les terminaux (ex. pour le cas de modèles de tailles réduites³⁴) lorsque ceux-ci sont équipés de CPU/GPU et de quantités de mémoire suffisante. Le trafic généré par de tels modèles d'IA est moindre car ceux-ci n'ont pas besoin de communiquer avec des centres de données centralisés. Néanmoins, malgré un déplacement d'une partie de la charge aux équipements de proximité (terminaux, passerelles de réseaux, serveurs de *Edge Computing*), il n'est pas prévu que les outils fonctionnent entièrement localement. D'autre part, les opérateurs pourraient recourir au *slicing*³⁵ pour allouer dynamiquement les ressources réseau et ainsi être capable de gérer des pics de trafic ascendant engendrés par l'utilisation de nouveaux outils d'IA. Enfin, l'hypothèse de l'évolution des réseaux d'accès radio grâce à l'IA (ex. une gestion plus optimisée au niveau de l'ordonnanceur radio) pourrait être utile à absorber une partie du trafic qui sera généré, mais de façon isolée, cette hypothèse ne semblerait pas suffisante pour répondre à un scénario d'explosion du trafic.

Il est important de souligner que les réseaux doivent non seulement prendre en charge les nouveaux usages rendus possibles par l'IA, mais aussi s'adapter à la distribution des charges (*workloads*) liées à l'entraînement des modèles et à l'exécution des inférences, toutes deux très intensives en données et en capacité de calcul. L'apprentissage de modèles d'IA requiert des interconnexions à très large bande passante et à faible latence entre centres de données, ce qui fait du réseau un facteur déterminant de performance. Ainsi, l'IA va fortement solliciter les infrastructures réseau, mais elle constituera également un levier essentiel pour permettre leur adaptation, notamment grâce à l'optimisation automatisée des ressources et à une gestion plus intelligente du trafic.

³² Ceci concerne par exemple le cas de requêtes de retouche de photos prises en temps réel.

³³ <https://www.mobileworldlive.com/apollo-go-robotaxis-give-travel-experiences-a-lift-in-the-mobile-ai-era/>

³⁴ Connus sous le nom de « Tiny ML » pouvant être déployés sur des terminaux à capacités plus modestes (ex. intégration de l'IA dans les objets connectés IoT)

³⁵ Le *slicing* permet aux opérateurs de créer des réseaux virtuels indépendants sur une même infrastructure physique et d'optimiser ainsi les ressources pour des usages spécifiques.

5 Les enjeux et les problématiques liés à l'adoption croissante de l'IA pour les réseaux

5.1 L'évolution de la chaîne de valeur et les dynamiques de l'écosystème

La note « L'informatique au cœur des télécoms » avait déjà fait état de l'apparition de nouvelles catégories des acteurs dans le secteur. L'intégration croissante de l'IA dans les réseaux ajoute à ce paysage des fournisseurs des modèles IA qui se font de plus en plus présents. Le constat actuel est qu'il n'existe que très peu d'interaction à ce stade entre le marché de l'intelligence artificielle générative grand public (les LLM et les *hyperscalers* qui les hébergent, sur fond de course aux capacités de calcul) et le marché des applications IA professionnelles dédiées, qui fonctionnent souvent en local, avec de petits modèles en général économes et des entreprises très spécialisées sur ces enjeux-là (que ce soient des nouveaux arrivants de type start-up ou des acteurs traditionnels du secteur tels que les équipementiers, ou les opérateurs eux-mêmes).

De fait, le sentiment général des acteurs semble être que les problématiques diffèrent entre ces deux marchés, notamment en ce qui concerne le niveau d'investissement nécessaire pour de nouveaux entrants. Plusieurs acteurs du marché des applications IA spécialisées soutiennent que les modèles à usage généraliste ne peuvent pas, pour l'instant et à court terme, produire de la valeur ajoutée sur les applications très spécialisées requises par les réseaux télécoms. À plus long terme, il reste un questionnement sur la capacité des IA généralistes, dont l'évolution est très rapide, à se « nourrir » des modèles spécialisés (ou à interagir autonomement avec eux) pour proposer des fonctionnalités qui pourraient devenir pertinentes pour les opérateurs de réseaux télécoms. Les accords de coopération à moyen et long-terme entre les opérateurs et les développeurs de modèles de l'IA générative (qui sont parfois également des fournisseurs des solutions *cloud*) peuvent changer le scénario actuel.

Ce changement ne concerne pas seulement l'intégration de l'IA dans les réseaux, mais aussi son potentiel à ouvrir la voie à de nouveaux services proposés par les opérateurs grâce à des IA plus généralistes. L'accès privilégié dont disposent les opérateurs aux abonnés des services de connectivité fixe et mobile, qui leur permet de recueillir des informations utiles, pourrait être combiné avec la puissance de l'IA pour proposer des nouvelles offres de service.

Dans l'intervalle, l'écosystème des IA spécialisées pour les réseaux télécom semble très émietté, sans acteur prédominant, sans service *must-have*. Les acteurs rencontrés n'estiment pas qu'il y ait des acteurs ayant acquis une avance technologique insurmontable pour de nouveaux entrants (même si la course aux données d'entraînement pertinentes, issues des réseaux des opérateurs, est engagée et potentiellement une limite pour des acteurs n'y ayant pas accès), ni une avance en termes de capacités de calcul (la plupart des fonctionnalités spécialisées évoquées par les acteurs étaient relativement économes par rapport aux grands modèles).

Aujourd'hui, tous les acteurs développent une proposition de valeur autour de l'IA pour les réseaux télécoms, notamment avec la tendance à la virtualisation. Les équipementiers intègrent de plus en plus de fonctionnalités basées sur l'IA dans leurs produits, les *hyperscalers* proposent des services cloud enrichis par des modèles d'IA, et même les opérateurs investissent dans le développement de solutions internes. Dans cette dynamique d'évolution rapide de l'IA, l'écosystème se structure, et de nouveaux acteurs souhaitant investir dans ce secteur ne feraient pas face à de fortes barrières à l'entrée.

Il convient de noter que le secteur évolue dans un écosystème particulièrement dynamique, où l'émergence de nouveaux acteurs et de nouvelles technologies s'accélère. Une convergence entre les services cloud, l'intelligence artificielle et les réseaux semble se dessiner, ouvrant la voie à une

coopération accrue entre *hyperscalers*, opérateurs et équipementiers. Tous partagent un intérêt commun : la création de valeur dans le secteur et la captation d'une part de cette valeur grâce à des services innovants, où l'IA joue un rôle central.

Le constat actuel est qu'aucun acteur – ni opérateur, ni équipementier, ni *hyperscaler* – ne possède à lui seul l'ensemble des compétences nécessaires pour mener, de manière autonome, la transformation induite par cette convergence technologique. Dans ce contexte, en plus des partenariats bilatéraux déjà mentionnés, de nouvelles initiatives émergent pour encourager la coopération et l'innovation au sein de l'écosystème, à l'image de l'IA-RAN Alliance³⁶ ou la Global Telco AI Alliance³⁷.

Parallèlement, les acteurs cherchent également à se différencier en diversifiant leurs activités. Par exemple, les équipementiers s'intéressent de plus en plus à l'écosystème des développeurs, notamment à travers l'évolution des API pour les réseaux, qui pourrait s'accélérer avec l'IA. Certaines entreprises de hardware cherchent à proposer des équipements plus spécialisés pour les réseaux télécom, tandis que certains opérateurs développent leur propre infrastructure cloud. L'objectif reste toujours le même : proposer des produits et services plus innovants, où l'IA constitue un élément stratégique clé.

5.2 Des outils d'IA améliorent déjà la résilience et la sécurité des réseaux mais ils pourraient créer également de nouvelles vulnérabilités

L'intelligence artificielle constitue un levier pour anticiper les défaillances des réseaux de communications électroniques. Néanmoins, la complexité des systèmes basés sur les algorithmes d'IA fait émerger de nouveaux risques pour la fiabilité des réseaux, en plus des fragilités communes à tous les systèmes. Il est essentiel de s'assurer que les systèmes d'IA fonctionnent comme prévu. Par ailleurs, l'utilisation massive de données crée de nouvelles vulnérabilités, notamment le risque d'attaques ciblant les données d'entrée des systèmes d'IA, ainsi que d'attaques sur leurs algorithmes de déduction, qui pourraient constituer des points d'entrée menant à un dysfonctionnement du réseau³⁸. Bien que ces risques restent peu probables en raison des connaissances approfondies du modèle et des données requises pour les exploiter, ils ne doivent pas être négligés. Pour les maîtriser, une intégration rigoureuse de l'IA dans les réseaux est nécessaire.

S'agissant de la contribution de l'IA pour la résilience et la sécurité des réseaux, certains opérateurs recourent à des dispositifs de maintenance préventive exploitant l'analyse de signaux faibles afin d'identifier en amont d'éventuelles pannes. Comme évoqué dans la section 3.1.1 de cette note, des outils basés sur la vision par ordinateur propose des classements d'images permettant d'attribuer un score de santé aux infrastructures réseau. Cette approche offre aux opérateurs une visibilité plus précise sur l'état de leurs équipements et facilite la programmation d'interventions ciblées sur les éléments les plus vulnérables. L'utilisation de la vision par ordinateur permet également d'analyser le sinistre signalé par les citoyens pour déterminer s'il s'agit d'un nouveau signalement, si une intervention est nécessaire et si celle-ci doit être priorisée.

Par ailleurs, des travaux sont en cours pour modéliser les réseaux mobiles sous forme de « jumeaux numériques ». Ces simulations visent à localiser avec précision les nœuds à l'origine des perturbations ainsi que les équipements affectés. Dans l'avenir, les réseaux autonomes seront capables de donner plus d'agilité à l'identification et la résolution des incidents. Parallèlement, certaines entreprises

³⁶ <https://ai-ran.org/>

³⁷ <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/agreement-jv-for-telco-specific-llm-1068392>

³⁸ Reno, J., Inam, R., Ulbert, A. (2023). Trustworthy AI - What it means for telecom. Ericsson, Tech. Rep

intègrent des systèmes d'assistance intelligente pour accompagner leurs techniciens lors des opérations de maintenance.

Enfin, l'IA joue un rôle dans le renforcement de la sécurité des infrastructures numériques. Plusieurs solutions permettent en effet d'identifier des comportements anormaux susceptibles de révéler des tentatives d'intrusion. Ces outils sont notamment capables de détecter des équipements dont l'activité dépasse les seuils habituels de transfert de données, rendant ainsi possible une analyse approfondie des anomalies observées.

La note de synthèse sur l'informatisation des réseaux avait mis en évidence une vulnérabilité accrue des réseaux face à la virtualisation, en raison de la criticité des services télécom, de la confidentialité des données qui y circulent et de l'augmentation du nombre d'interfaces ouvertes. Il apparaît cependant que l'IA devient un outil pour renforcer la résilience des réseaux et accroître leur sécurité, en réponse à la complexité croissante induite par les évolutions technologiques malgré les nouvelles vulnérabilités susmentionnées.

5.3 Des enjeux environnementaux à considérer

De façon générale, la capacité croissante et l'adoption de modèles d'IA soulèvent également des enjeux environnementaux, notamment en raison de sa consommation énergétique. L'impact environnemental de l'IA s'explique notamment par le fait que cette technologie s'appuie sur des infrastructures et équipements physiques, tels que les centres de données pour l'entraînement des modèles et leur utilisation.

Dès lors que l'empreinte carbone du numérique pourrait être amenée à tripler entre 2020 et 2050 et que la consommation mondiale d'électricité des centres de données pourrait doubler entre 2022 et 2026 notamment en raison de l'IA³⁹, la prise en compte des enjeux environnementaux dans le développement de cette technologie semble ainsi nécessaire, notamment dans le secteur des réseaux de communications électroniques où son utilisation tend à prendre de l'ampleur à court ou moyen terme.

5.3.1 L'impact environnemental de l'IA dans les réseaux est, à date, encore difficile à estimer

À date, il ne semble pas encore possible d'estimer correctement et de façon fiable la proportion des émissions de gaz à effet de serre attribuables à l'IA dans ce secteur, s'agissant aussi bien de son impact direct que de son impact indirect. En effet, au vu des entretiens menés, cela s'explique notamment par la difficulté à obtenir les données exhaustives nécessaires à une telle estimation de la part des acteurs ainsi que par la possibilité limitée de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie des services s'appuyant sur l'IA, principalement du fait que le niveau de maturité technologique de ces nouveaux modèles et équipements conçus avec de l'IA embarquée n'est pas encore assez élevé, et qu'en ce sens, l'estimation de l'impact après le déploiement à large échelle est susceptible de varier par rapport à celle de l'impact des prototypes en phase de recherche.

En outre, il convient de souligner que les travaux relatifs à l'impact environnemental de l'IA se sont davantage axés spécifiquement sur l'utilisation de l'IA générative. Or, parmi les cas d'usage recensés pour les réseaux de communications électroniques, la plupart n'utilisent pas l'IA générative mais des modèles d'IA plus traditionnels dont l'impact reste en principe très inférieur aux grands modèles de langage de l'IA générative.

³⁹ Agence International de l'Energie, Electricity 2024, 2024.

Par ailleurs, il ressort également des différents entretiens menés, que l'intégration croissante de l'IA dans les réseaux de communications électroniques pourrait impliquer d'éventuels impacts environnementaux positifs. En effet, l'introduction de l'IA dans ces réseaux pourrait se traduire par des avancées majeures dans la gestion et l'optimisation des réseaux de communications électroniques fixes et mobiles en permettant la limitation de l'empreinte des opérations (limitation des déplacements, optimisation des tournées de techniciens) et en améliorant la performance du système par un fonctionnement moins énergivore (gestion des modes veille des réseaux mobiles).

5.3.2 Les préoccupations environnementales peuvent pour autant être intégrées dans le développement et l'utilisation de l'IA dans les réseaux de communications électroniques

À date, très peu d'acteurs et d'utilisateurs de l'IA générative publient des données au sujet de l'impact environnemental de la mise en place d'une telle technologie ainsi que de son utilisation. Ces technologies sont alors susceptibles d'être pensées, développées puis, à terme, utilisées sans prendre en compte les enjeux environnementaux qui y sont associés.

L'intégration de ces préoccupations environnementales dans l'IA générative peut être mise en place de différentes manières. En ce sens, des bonnes pratiques et recommandations, tel que le référentiel général de l'écoconception des services numériques⁴⁰ existent d'ores et déjà à partir de l'état de l'art actuel, afin notamment de sensibiliser davantage les acteurs de l'IA ainsi que ses utilisateurs, qui n'ont pas forcément conscience de son impact environnemental et de sa consommation énergétique. De telles pratiques pourraient néanmoins être complétées notamment aux niveaux européen et international, afin de permettre le développement d'IA sobres, plus durables et plus transparentes, au bénéfice de la compétitivité, de l'environnement et de grands enjeux de société.

5.4 Des enjeux des données

Le développement de l'intelligence artificielle est fort dépendant de l'accès à des données, souvent en très grand nombre et en respectant certains critères de qualité. En effet, elles doivent être traitées par le modèle afin de l'entraîner, qu'il s'agisse d'intelligence artificielle générative ou non. Par exemple, pour les outils basés sur la vision par ordinateur présentés dans la partie 3.2.1 a besoin d'un grand nombre de photos pour entraîner son modèle. En effet, son degré de fiabilité est fonction du nombre d'images dont il dispose pour s'entraîner : avec 10 photos, le degré de fiabilité est d'environ 50 %, il s'améliore nettement avec 100 photos, pour devenir satisfaisant au-delà de 1000 images.

Un autre aspect du traitement des données est leur qualité. Celles-ci doivent être récentes et avoir été collectées selon des formats harmonisés. Avant de pouvoir les analyser, un important travail de remise à niveau doit alors être effectué, consommateur de ressources pour l'entreprise. Plusieurs acteurs interrogés nous ont fait part de l'importance de disposer d'un jeu de données de qualité pour obtenir des résultats intéressants après traitement par une intelligence artificielle en soulignant qu'il pourrait même être un frein ou un point de retard pour le développement des outils IA pour les réseaux.

L'utilisation de ces données soulève divers enjeux, dont le principal concerne l'accès à ces données. Celui-ci peut être effectué par différents acteurs, ce qui modifie pour chacun le niveau de confidentialité. En effet, les données peuvent être traitées directement par les fournisseurs d'intelligence artificielle (comme c'est par exemple le cas lors d'une utilisation d'un modèle d'IA générative sur une plateforme) ou alors en vase clos (lors de l'utilisation d'un modèle en local par

⁴⁰ Prévu par la loi relative à la réduction de l'empreinte environnementale du numérique en 2021, ce document de référence a été élaboré par l'Arcep et l'Arcom en lien avec l'Ademe et en collaboration avec la Dinum, la Cnil et l'Inria.

exemple). De manière évidente, les données deviennent un actif important pour les opérateurs dans un contexte d'intégration croissante de l'IA dans les réseaux et il y a une tendance des opérateurs télécoms à privilégier la maîtrise de ces données et bien encadrer le partage qui est souvent restreint à quelques partenaires *hyperscalers* (pour des solutions cloud pour le traitement en vase clos) ou équipementiers (pour le déploiement des solutions IA ciblés aux briques spécifiques du réseau.)

Pour les modèles d'IA destinés à améliorer la performance des réseaux, les équipementiers ont souvent besoin des données des opérateurs pour leur développement. Ces données peuvent être de nature générique, comme des informations sur le type de trafic ou les contraintes techniques radio. Lors du déploiement de ces solutions, les modèles sont alimentés par des données opérationnelles, et une phase d'entraînement a généralement lieu chez les opérateurs, qui restent propriétaires de leurs données. Les performances ainsi que les résultats attendus des modèles sont ainsi influencés par la stratégie des opérateurs, reflétée dans les données fournies.

D'après les entretiens menés dans le cadre de cette note, l'accès aux données des réseaux télécom, normalement restreint aux opérateurs et aux grands équipementiers, est perçu comme un frein au développement de solutions innovantes par des entreprises plus petites ainsi que par les chercheurs académiques.

Les enjeux liés aux données peuvent également être influencés par les réglementations en vigueur, telles que le RGPD pour l'utilisation des données personnelles pour l'entraînement des modèles, ou le Data Act pour des questions d'interopérabilité qui pourraient être un frein au développement de certains modèles. Cependant, pour les usages recensés auprès des acteurs rencontrés, et compte tenu de la nature plus technique des données sollicitées, aucun impact direct de ces réglementations n'a été identifié.

5.5 Les enjeux liés à la régulation actuelle de l'IA

Peu d'acteurs rencontrés semblent avoir une connaissance détaillée de la réglementation applicable (c'est-à-dire à ce jour, essentiellement le règlement européen sur l'IA, en dehors des enjeux de données précédemment évoqués).

La compréhension du règlement sur l'IA est le cœur de l'enjeu remonté par les parties prenantes, en particulier la notion de composant de sécurité des réseaux télécoms, désigné par le règlement comme l'endroit où l'emploi de l'IA doit être encadré car à haut risque. Sa définition a encore besoin d'être précisée, et certains acteurs ont été sollicités par la Commission européenne dans ses travaux d'application du règlement pour parvenir à une définition communément comprise par le secteur. Des travaux semblent en cours (*idéalement avoir une idée de l'état des lieux avant publication de la note*).

À ce stade, l'on sait que le composant de sécurité est défini ainsi : « un composant d'un produit ou d'un système qui remplit une fonction de sécurité pour ce produit ou ce système ou dont la défaillance ou le dysfonctionnement met en danger la santé et la sécurité des personnes ou des biens » ; cette définition peut, dans une acception large, recouvrir beaucoup d'éléments du réseau dont le dysfonctionnement entraîne un arrêt du fonctionnement du réseau. Il y a un besoin de clarification sur ce sujet afin de s'assurer du périmètre des obligations prévues par le règlement.

Les opérateurs s'attendent à ce que leurs fournisseurs respectent ce règlement et qu'ils soient considérés comme responsable du respect des obligations et de la certification ; effectivement, l'essentiel des obligations du règlement est concentré sur la mise sur le marché des produits, et donc sur les fournisseurs. Cependant dans le cadre de développements internes aux opérateurs, il y a bien des responsabilités qui leur incombent. Par ailleurs, la perspective de réseaux autonomes dans les années à venir amène certains opérateurs à s'interroger sur l'impact de ce règlement IA sur l'évolution des réseaux.

Du côté des fournisseurs de taille importante d'applications d'IA, l'approche du règlement IA, qui consiste à concentrer les obligations sur les applications les plus risquées, semble bien acceptée dans la mesure où les applications les plus communes sont pourvues d'obligations comparativement légères. En revanche, certains fournisseurs s'inquiètent du développement actuel de codes de pratique complétant le règlement, sous l'égide de la Commission européenne, qui inciteraient à appliquer des obligations additionnelles sur les IA à faible risque. Ce sujet pourrait impacter les IA à faible risque utilisées par le secteur des télécoms.

5.6 Vers une IA « explicable » et « interprétable » pour les télécoms

Une des premières questions posées par le déploiement de l'IA dans les réseaux est celle du contrôle. Autrement formulée : que fait réellement le réseau lorsqu'il est parfaitement autonome ? Par défaut, les IA ne se justifient pas. Elles tentent simplement de parvenir à une configuration optimale de l'espace d'états qui leur est fourni en fonction d'une ou plusieurs consignes. A mesure que les modèles d'IA se déploient dans les systèmes d'information et les réseaux, la nécessité de comprendre les décisions qu'elles prennent s'impose. De nouveaux champs de recherche voient le jour centrés autour de « l'explicabilité » (XAI) et de « l'interprétabilité » des IA. Il s'agit de deux concepts fondamentaux ayant pour but de mieux comprendre le comportement des IA. L'explicabilité se concentre sur la capacité des IA à expliquer leurs décisions aux personnes qui les utilisent. L'interprétabilité concerne davantage un champ de la recherche scientifique. Cette discipline a pour but d'éclairer la compréhension des mécaniques décisionnelles qui sont à l'œuvre dans le fonctionnement des IA.

Actuellement, le constat est qu'il faut développer davantage la transparence des modèles utilisés pour les réseaux télécom pour atteindre un niveau plus mature de l'explicabilité et interprétabilité des modèles. Ce point pourrait aider à expliquer une prudence à l'adoption de l'IA dans les réseaux. C'est un sujet à ne pas négliger dans l'évolution des réseaux et pour lequel les équipementiers semblent être déjà sensibilisés^{41,42}. Par ailleurs, les discussions et travaux mentionnés autour de la régulation (cf. 6.4) et de la normalisation (cf. 3.3) pourraient donner des outils concrets pour avancer dans ce domaine.

Au-delà de la responsabilité liée à une solution spécifique, il est essentiel que l'IA soit déployée de manière responsable par les opérateurs afin de renforcer la confiance des consommateurs et d'améliorer leur efficacité opérationnelle. Dans cette optique, la GSMA a développé la « *Responsible AI Maturity Roadmap* » pour aider les opérateurs de télécommunications à évaluer et améliorer leurs pratiques en matière d'intelligence artificielle responsable. Cette feuille de route propose un cadre structuré permettant d'évaluer leur niveau de maturité en IA responsable, d'identifier les domaines à améliorer et d'aligner leurs stratégies en conséquence. Elle repose sur plusieurs dimensions clés : la vision stratégique, le modèle opérationnel, les contrôles techniques, l'écosystème de fournisseurs et la gestion du changement, afin d'intégrer pleinement les pratiques responsables au sein de l'organisation.

Par ailleurs, une telle approche responsable de l'IA devrait favoriser l'émergence de nouveaux services, en garantissant aux utilisateurs finals de la transparence sur l'intégration de briques d'IA dans ceux-ci ou dans la manière dont ils sont acheminés.

⁴¹ Lee, A. (2022). Responsible AI for telecom. Nokia, Tech. Rep.

⁴² Reno, J., Inam, R., Ulbert, A. (2023). Trustworthy AI - What it means for telecom. Ericsson, Tech. Rep

6 Conclusion

L'intégration croissante de l'intelligence artificielle dans les réseaux télécoms marque une évolution majeure pour le secteur. Des usages concrets sont déjà en place, notamment pour l'optimisation des réseaux fixes et mobiles, la résilience des infrastructures et l'amélioration de la qualité de service. L'IA ouvre également la voie à l'émergence de nouveaux services, tant pour les entreprises que pour le grand public. La convergence entre cloud, IA et réseaux redéfinit les modèles économiques, incitant les opérateurs à renforcer leur maîtrise technologique et à explorer de nouvelles opportunités commerciales. Toutefois, ces avancées ne sont pas sans conséquences : la croissance potentielle du trafic, la nécessité d'une IA plus responsable et les enjeux environnementaux appellent à une stratégie de développement bien maîtrisée.

La note « L'informatique au cœur des télécoms » identifiait des enjeux opérationnels et organisationnels de transformation des réseaux vers une plus grande intégration des technologies de virtualisation et de mise en nuage. Elle évoquait également de nouveaux enjeux de résilience et de sécurité dans ce contexte. Il apparaît que l'intégration de technologies d'IA peut apporter des solutions à une partie de ces préoccupations, mais introduit également de nouveaux risques et défis pour la transformation des réseaux. Réciproquement, la virtualisation des infrastructures accroît les possibilités d'intégration de l'IA dans les réseaux et peut constituer un prérequis pour bénéficier de certaines innovations majeures.

Par ailleurs, de même que l'informatisation des réseaux, l'intégration de l'IA se fait par étapes et à un rythme différent sur les cas d'usage. S'agissant de l'émergence de nouveaux services, à destination du grand public et des entreprises, sous l'effet de l'intégration de ces innovations dans les infrastructures de réseaux, l'IA semble ouvrir des perspectives plus concrètes même si l'identification des services de demain reste incertaine.

Cette transformation pose des questions concurrentielles stratégiques et pourrait redéfinir les équilibres du marché à long terme. L'utilisation de l'IA est-elle susceptible de rebattre les cartes entre les opérateurs qui l'ont adoptée et ceux qui ont opté pour une posture plus conservatrice ? Il est encore trop tôt pour répondre, mais les précurseurs pourraient bénéficier d'un avantage compétitif sur le marché.

Dans ce contexte, l'IA s'impose non seulement comme un levier d'innovation, mais aussi comme un facteur de transformation profonde des télécoms. Son adoption progressive et maîtrisée pourra être déterminante pour garantir des réseaux performants, sécurisés et durables dans les années à venir.

Annexe 1

Entretiens

Un cycle d'entretien a nourri notre réflexion sur l'intelligence artificielle et les réseaux. Pour autant, les positions prises dans cette note ne reflètent pas nécessairement les points de vue des personnes rencontrées ni des institutions auxquelles elles appartiennent.

Ont notamment été reçus en entretien :

- AFNOR
- Bouygues Télécom
- CEA Leti
- CNRS
- Deepomatic
- ENSEA
- Ericsson
- Firecell
- Free
- Huawei
- IMT
- Institut Montaigne
- Inveniam
- Microsoft
- Nokia
- Nvidia
- Orange
- Qualcomm
- SFR