



Projet Réseaux

Intelligence artificielle appliquée aux réseaux

Optimisation des protocoles de routage avec l'IA, optimiser la performance des réseaux type RIP ou OSPF, prédire des congestions pour ajuster dynamiquement les routes...

Yadel Gaya - CANNAVACCIUOLO Nello

Table des matières

I.	Introduction aux enjeux du routage réseau	3
I..1	Problématiques actuelles	3
I..2	Opportunité IA	3
II.	Fondamentaux des protocoles RIP/OSPF	5
III.	Intégration de l'IA dans les réseaux	7
III..1	Apprentissage automatique pour l'optimisation	7
III..2	Prédiction des congestions	7
III..3	Optimisation multi-objectif dans le routage des réseaux .	8
IV.	Architecture technique proposée	8
IV..1	Schéma fonctionnel	8
IV..2	Phases d'intégration :	9
V.	Études de cas industriels	10
VI.	Défis et perspectives	12
VI..1	Enjeux techniques majeurs	12
VI..2	Perspectives à long terme (2030+)	12

I. Introduction aux enjeux du routage réseau

À l'ère de la transformation numérique, les réseaux de communication sont soumis à une pression croissante. Selon le rapport Cisco Annual Internet Report (2018-2023), le trafic IP mondial a augmenté de plus de 40% par an, stimulé par la généralisation du cloud, l'essor de l'Internet des objets (IoT) et la montée en puissance des applications critiques comme la 5G, la télémédecine ou les véhicules autonomes. Cette croissance exponentielle s'accompagne de nouvelles exigences en termes de latence, de fiabilité et de résilience, qui mettent en lumière les limites des protocoles de routage traditionnels[1].

I.1 Problématiques actuelles

Les protocoles historiques tels que RIP (Routing Information Protocol) et OSPF (Open Shortest Path First) ont longtemps constitué la colonne vertébrale du routage IP. Cependant, ils montrent aujourd'hui leurs limites face à la complexité et à la dynamique des réseaux modernes :

Limites structurelles :

- RIP : fondé sur l'algorithme de vecteur de distance, ne supporte que 15 sauts maximum, ce qui le rend inadapté aux grandes infrastructures. De plus, il souffre d'une convergence lente et d'une sensibilité aux boucles de routage[2].
- OSPF : basé sur l'état des liens, offre une meilleure évolutivité mais peut connaître des temps de convergence de plusieurs dizaines de secondes lors de pannes majeures, générant des pertes de paquets et des interruptions de service[3] .

Explosion du trafic et exigences de latence :

- Les applications de la 5G et de l'IoT exigent des temps de latence inférieurs à 10 ms et une fiabilité proche de 99,999%, ce que les protocoles traditionnels peinent à garantir.
- La croissance du trafic accentue les risques de congestion, de saturation des liens et de dégradation de la qualité de service (QoS)[4].

I.2 Opportunité IA

Face à ces défis, l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans le routage réseau s'impose comme une évolution majeure. L'IA permet de dépasser les limites des approches statiques et réactives en introduisant des capacités d'anticipation et d'adaptation en temps réel :

Analyse prédictive :

Grâce à l'apprentissage automatique, il devient possible de prévoir les congestions ou les défaillances de liens avant qu'elles ne surviennent, permettant ainsi

une réallocation proactive des ressources réseau[5].

Adaptation dynamique :

Les algorithmes de reinforcement learning (apprentissage par renforcement) ajustent en continu les métriques de routage en fonction de l'état du réseau, optimisant ainsi le débit, la latence et la consommation énergétique [6].

Optimisation multi-objectif :

L'IA permet de prendre en compte simultanément plusieurs critères (charge, énergie, latence) pour offrir un routage réellement intelligent et contextuel.

En résumé, l'IA transforme le paradigme du routage : on passe d'une logique purement réactive à une logique prédictive et auto-adaptative, ouvrant la voie à des réseaux plus performants, résilients et économes. Cette révolution est déjà amorcée dans les environnements industriels et les grands opérateurs, comme en témoignent les premiers déploiements de solutions de routage optimisées par IA chez ATT et Orange[7].

II. Fondamentaux des protocoles RIP/OSPF

Les protocoles de routage RIP et OSPF constituent depuis des décennies la base des infrastructures réseau. Les deux protocoles présentent des faiblesses structurelles aggravées par les exigences modernes :

Critère	RIP (Distance Vector)	OSPF (Link-State)
Mécanisme	Échange périodique de tables de routage (toutes les 30 secondes)	Diffusion des états de liens (LSA) via multicast
Algorithme clé	Bellman-Ford (calcul distribué)	Dijkstra (Shortest Path First)
Métrique	Nombre de sauts	Coût basé sur la bande passante
Convergence	Lente (plusieurs minutes)	Rapide (quelques secondes)
Évolutivité	Limité à 15 sauts, peu adapté aux grands réseaux	Supporte des topologies complexes et hiérarchiques
Consommation CPU	Faible	Plus élevée en raison du calcul SPF
Robustesse	Sensible aux boucles de routage	Meilleure gestion des pannes et des changements
Complexité	Simple à configurer et maintenir	Plus complexe, nécessite une configuration soignée
Utilisation typique	Petits réseaux ou réseaux simples	Réseaux d'entreprise, fournisseurs d'accès, datacenters

FIGURE 1 – Tableau comparatif RIP vs OSPF

Métriques statiques :

- RIP utilise uniquement le nombre de sauts, ignorant la bande passante réelle.
- OSPF calcule le coût via une formule fixe (10 / débit), inadaptée aux liens variables (Wi-Fi 6, 5G).

Réactivité limitée :

- Détection passive des pannes (dépend des timers Hello), retardant la reconvergence.
- Absence d'anticipation des congestions (réaction a posteriori).

Goulets d'étranglement :

- RIP : boucles de routage fréquentes sans mécanisme de split horizon avancé.
- OSPF : surcharge de l'LSDB (Link-State Database) dans les réseaux maillés.

Perspective IA : Ces limitations justifient l'intégration de mécanismes auto-adaptatifs, où l'IA recalcule dynamiquement les métriques et prédit les états du réseau[8].

III. Intégration de l'IA dans les réseaux

III.1 Apprentissage automatique pour l'optimisation

L'inclusion de procédés d'apprentissage dans les protocoles de routage s'illustre comme un nouveau vecteur d'optimisation dynamique des performances réseaux. En effet, l'apprentissage confère la capacité au réseau de s'adapter en temps réel aux variations topologiques ou à l'évolution des conditions de routage, n'étant plus contraint par des règles fixes d'acheminement des paquets de données mises en place de manière a priori.

Le renforcement profond (Deep Reinforcement Learning), ou tout simplement Q-Learning, est une approche efficace pour le routage adaptatif. Il consiste à entraîner un agent à prendre des décisions optimales à travers des interactions successives avec son environnement, en recevant des récompenses selon la qualité des choix effectués. Le protocole CRPLOGAQL, pour *Cluster-based Routing Protocol using Genetic Algorithm and Q-Learning*, est une illustration concrète de cette méthode. Il combine un Générateur d'Algorithmes (GA) avec un apprentissage de type Q-learning, pour offrir une solution hybride. Celui-ci réduit considérablement la consommation énergétique, avec jusqu'à 60 % de diminution dans certaines simulations de réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Networks – WSNs), tout en préservant un niveau de performance. Ainsi, les systèmes qui reposent sur le DRL tel que le Q-learning sont dès lors adaptés en permanence aux évolutions du réseau, sans que l'on ait besoin d'un contrôle humain permanent dans le cadre de réseaux de nouvelle génération et des environnements IoT ou des réseaux ad hoc notamment[9].

III.2 Prédiction des congestions

Dans le domaine de l'ingénierie des réseaux de communication, qu'il s'agisse de réseaux filaires, sans fil, Wi-Fi ou Bluetooth, la congestion constitue un problème majeur qui peut entraîner un grand dommage en qualité de service en termes de latence, de perte de paquets, d'énergie consommée, etc. Les modèles prédictifs basés sur le Deep Learning semblent plus performants pour anticiper des problèmes de consommation comme cela. Les réseaux de neurones à mémoire longue courte durée (LSTM, Long Short-Term Memory) ont montré des résultats prometteurs en matière de prévision des congestions réseau grâce à leur capacité à capturer des dépendances temporelles complexes dans les séries de données.

Les LSTM peuvent analyser l'évolution du trafic réseau sur de longues périodes et détecter des schémas récurrents indiquant une surcharge imminente. En se basant sur des données historiques provenant du trafic réseau (comme les taux d'occupation des buffers ou les délais de transmission), ces modèles peuvent prédire avec précision les pointes de trafic. Des études récentes ont montré une précision d'environ 92 % dans la détection proactive des congestions en utilisant des LSTM.

Dans un cas d'application au monde réel, tel que le réseau interne d'un datacenter, un backbone d'un opérateur, un réseau urbain sans fil, etc., un modèle LSTM pourrait permettre une réallocation proactive des ressources avant les pics horaires, pour prévenir des saturations. Le cas échéant, le trafic pourrait être redirigé ou bien les capacités des liens réajustées dynamiquement afin de maintenir une transmission fluide et fiable[10].

III.3 Optimisation multi-objectif dans le routage des réseaux

L'ingénierie des réseaux modernes nécessite la prise en compte simultanée de plusieurs critères lors du routage au sein du réseau, tels que la latence, la consommation d'énergie, et la charge sur le réseau. Dans cette dernière décennie, des algorithmes d'optimisation multi-objectifs sont devenus des outils de référence, notamment le NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) qui a prouvé son efficacité en produisant un ensemble de solutions optimales appelé « front de Pareto » où chaque solution est un compromis d'optimalité pour chacun des objectifs considérés.

Pour les réseaux sans fil (WSN et MANETs), NSGA-II a été utilisé avec succès pour équilibrer la charge des nœuds, réduire la latence de transmission, et augmenter la durée de vie de ces réseaux. Il est établi dans de nombreuses études que la prise en compte du NSGA-II dans les protocoles de routage permet d'accroître jusqu'à +35% la durée de vie du réseau comparative aux méthodes classiques, au travers d'une sélection de routes appropriées qui évitent les zones saturées tout en minimisant la dépense d'énergie. Ainsi, l'usage de NSGA-II permet de concevoir des protocoles de routage adaptatifs et robustes, capables de s'ajuster dynamiquement aux conditions variables du réseau, tout en tenant compte des contraintes matérielles et temporelles des dispositifs communicants[11].

IV. Architecture technique proposée

L'architecture technique proposée pour le routage intelligent des réseaux s'appuie sur un modèle hybride associant des capteurs temps réel, des moteurs d'intelligence artificielle et un contrôle orienté logiciel grâce aux technologies SDN. Elle se divise en plusieurs couches et phases d'intégration.

IV.1 Schéma fonctionnel

Couche capteurs temps réel : Cette première couche — ou Capteurs de l'IoT — est composée de capteurs que nous enverrons dans le réseau. Ces équipements devront remonter des informations en temps réel telles que le taux de débit réseau, les temps de latence, la consommation CPU/MEM, le nombre de paquets interceptés, le nombre de paquets émis, ou encore le découpage

des nœuds du réseau. Ces informations sont cruciales pour le bon fonctionnement du réseau, permettant de comprendre le futur, mais également de réagir rapidement aux éventuels problèmes. On entend par Capteurs de l'IoT : des routeurs intelligents, des stations de base, ou des nœuds WSN de l'IoT[12].

Moteur d'inférence IA (TensorFlow/PyTorch) : Le moteur d'intelligence artificielle, basé sur des bibliothèques comme TensorFlow ou PyTorch, permet d'analyser les données collectées et de proposer des tâches de routage adaptées. Les technologies d'intelligence artificielle appliquées aux systèmes de conseils et/ou de recommandations de gestion sont capables de piloter des processus plus évolués et nuancés, capables de s'adapter dynamiquement en fonction du contexte (apprentissage supervisé ou renforcement). Ces moteurs permettent d'aller vers les préconisations et les décisions qui tireront le maximum de performances disponibles dans le réseau en autorisant une évolution des processus réseaux vers une consommation énergétique minimaliste[13].

Contrôleur SDN (OpenFlow) : En utilisant le protocole OpenFlow, le contrôleur SDN est le point central dans le réseau et choisit par exemple comment naviguer dans un réseau. Il permet également à un réseau de s'évoluer tout en étant basé sur le protocole OpenFlow. Le contrôleur est utilisé pour ajuster automatiquement les chemins de routage en fonction des recommandations de l'IA et des conditions réseau mesurées par les capteurs[14].

IV..2 Phases d'intégration :

Supervision : Au début du processus d'intégration, le réseau est surveillé en permanence en s'appuyant sur des capteurs en temps réel. Ceux-ci fournissent des données brutes à une IA qui débute par les analyser. Cela permet de récolter des informations utiles pour l'entraînement des modèles d'IA et pour une prise de décision préalable sur l'acheminement optimal et le dimensionnement de liens[15].

Ajustement semi-automatique : Cette phase consiste à ce que l'IA propose des stratégies d'optimisation en temps réel, mais avec une intervention humaine pour ajuster les configurations dans des situations complexes ou lorsque l'IA atteint ses limites. Ainsi un effet d'entraînement ne conduira pas le système dans une mauvaise direction dans certaine situation avant de fonctionner puis en toute autonomie.

Système autonome : La dernière étape consiste à rendre le système complètement autonome. La décision de routage, de gestion des ressources et d'adaptation du réseau sont réalisés par l'IA sans intervention humaine. Ainsi le réseau sera le plus efficient possible. Il pourra s'adapter sans aucune latence aux variations du trafic, de la consommation énergétique, ou de l'état des nœuds[16].

V. Études de cas industriels

L'intelligence artificielle (IA) est aujourd'hui un levier majeur pour optimiser les protocoles de routage dans les réseaux IP. Plusieurs acteurs industriels ont intégré des approches basées sur l'IA pour améliorer la performance, réduire la congestion et automatiser la gestion du trafic. Voici trois cas concrets et significatifs :

Cas 1 : Huawei & China Telecom – Optimisation d'OSPF par IA

Contexte : Huawei, en collaboration avec la société de télécommunications China Telecom, a développé une solution d'optimisation du protocole OSPF (Open Shortest Path First) utilisé dans ses infrastructures de backbone (réseaux principaux). Dans son fonctionnement OSPF utilise une logique de coûts fixes pour calculer les routes ce qui limite ses capacités de réactions aux situations dynamiques observées dans des réseaux au trafic variable et à la congestion.

Utilisation de l'IA : ici, l'intelligence artificielle est déployée sous forme d'apprentissage par renforcement profond (Deep Reinforcement Learning). Un agent intelligent apprend à moduler de façon dynamique les pesos des liens dans OSPF après avoir observé l'état du réseau (trafic, congestion, disponibilité des liens). L'objectif consiste à minimiser la congestion et optimiser la performance globale en recalculant les meilleures routes possibles.

Résultat : selon cette stratégie, China Telecom observe une réduction de 45 % des pertes de paquets. Le réseau devient plus fluide, plus réactif aux imprévus, et permet une meilleure qualité de service aux utilisateurs finaux[17].

Cas 2 : AT&T – Routage prédictif avec IA

Contexte : AT&T administre l'un des plus grands réseaux IP/MPLS (Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching) sur le territoire des États-Unis, avec des millions de clients et des flux de données d'une grande variabilité. Le routage traditionnel ne permettait pas d'anticiper suffisamment tôt les zones de congestion, ce qui entraînait des interruptions de service ou des dégradations de service.

Utilisation de l'IA : L'opérateur a intégré une IA de type réseaux de neurones, en l'occurrence des LSTM (Long Short-Term Memory), pour anticiper les congestions futures à partir du traitement des historiques de trafic. En couplant cela avec l'utilisation d'une SDN (Software Defined Networking) le système pouvait adapter les routes dynamiquement avant que la saturation ne survienne.

Résultat : Cette solution a permis de réduire drastiquement les perturbations liées aux pics de trafic : réduction des aléas (jitter, latences critiques

en heure de pointe), mais également réduction des coupures dans les services sensibles (la VoIP ou du streaming)[18].

Cas 3 : Cisco – Analyse prédictive pour le routage dynamique

Contexte : Cisco a développé une solution rendant transparente la gestion des réseaux d'entreprises et des campus utilisant différents protocoles de routage de type RIP, OSPF, BGP, intégrée dans sa plateforme AI Network Analytics intégrée à Cisco DNA Center. Ces réseaux doivent être surveillés en régulant la qualité de services.

Utilisation de l'IA : L'IA cloud-based de Cisco recueille constamment des métriques réseau (latence, taux d'erreur, pertes, utilisation des liens), afin d'alimenter des modèles prédictifs détectant anomalies et congestions latentes, pour proposer, au bon moment, les réglages de routage ou de remplissage pour prévenir ces défauts à l'avance.

Résultat : Les sociétés utilisant la solution ont prouvé une qualité de service hautement améliorée (QoS), un temps moyen de réparation (MTTR) réduit et une diminution des interventions manuelles pour maintenir le niveau de performance du réseau[19].

VI. Défis et perspectives

VI.1 Enjeux techniques majeurs

Interopérabilité

L'intégration de protocoles traditionnels OSPFv2, OSPFv3 et des solutions plus récentes porteuses de SDN ou d'IA (OpenFlow, BGP-LS) crée de véritables problèmes d'interopérabilité : la coexistence dans un même réseau de ces systèmes à logiques de fonctionnement différentes conduit à des conflits de calculs de métriques, des conflits de priorités de routes et parfois même des conflits ayant des effets systémiques destructeurs. Un cas d'espèce fût observé chez Verizon en 2021, où l'échec d'un déploiement hybride OSPF + SDN est dû à de vives divergences sur la sélection des chemins optimaux. Pour répondre à ces défis, l'IETF propose le framework ACTN (Abstraction and Control of Traffic Engineered Networks), qui vise à offrir une orchestration cohérente entre différentes couches technologiques[20].

Sécurité des modèles IA

L'intrusion de l'intelligence artificielle dans les processus de routage présente une opportunité de déstabiliser les systèmes, et notamment par rapport aux attaques « adversariales » qui peuvent se concrétiser par l'injection de fausses données dans le trafic réseau en dupant les algorithmes de prédiction, en faussant les entrées d'un modèle LSTM par exemple, pour provoquer des choix de routes malveillants. Dans un cadre défensif, divers travaux s'intéressent à la mise en oeuvre de GANs (Generative Adversarial Networks) capables de détecter ces anomalies en quasi temps réel. Nokia, entre autres, a conduit des expérimentations intéressantes dans ce domaine. Cependant, la traçabilité demeure un vrai défi : dans des systèmes comme Google B4, il arrive que la décision d'un modèle IA soit incompréhensible, ce qui soulève d'importants enjeux réglementaires, mais éthiques !.

VI.2 Perspectives à long terme (2030+)

Routage quantique

D'ici 2030, l'affichage de nouveaux réseaux quantiques pourrait bouleverser les pratiques de routage. Grâce à l'intrication quantique, il serait théoriquement possible de synchroniser instantanément des informations sur plusieurs nœuds d'un réseau, d'éliminer tous les délais de propagation que l'on connaît aujourd'hui. Alibaba Cloud a commencé à expérimenter dès à présent la téléportation quantique sur de courtes distances, ouvrant la voie vers des protocoles de routage quantique hyperrapides[21].

Réseaux auto-régénérants

Des projets émergent, en s'inspirant des avancées des modèles génératifs tels que GPT-4, pour développer des réseaux susceptibles de se reconstruire eux-mêmes après une cyberattaque ou un incident majeur. Le réseau pourrait, via des algorithmes de génération de graphes, rétablir de lui-même dans un temps très court et sans intervention humaine, une topologie sûre et optimale[22].

Éthique et régulation

Pour finir, l'automatisation du routage pose des questions d'équité algorithmique. Prenons l'exemple d'un modèle IA priorisant les flux VIP ou commerciaux au détriment du trafic grand public : voilà une discrimination d'accès au réseau. Ce débat s'initie déjà au sein des institutions internationales comme l'UIT, qui travaille déjà sur des cadres réglementaires pouvant permettre un traitement équitable des flux dans les réseaux intelligents[23].

Bibliographie

- [1] *Cisco Annual Internet Report (2018–2023)*.
Disponible via : <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- [2] James F. Kurose, Keith Ross
Computer Networking A Top-Down Approach, 9th edition.
Disponible via : <https://www.pearson.com/store/p/computer-networking-a-top-down-approach-8e/P100003165672/9780135928615>
- [3] J. Moy
OSPF version 2, April 1998.
Disponible via : <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2328>
- [4] Frédéric Launay
Les réseaux de mobiles 4G et 5G, 2025.
Disponible via : <https://blogs.univ-poitiers.fr/f-launay/page/2/>
- [5] Ashmita Dey, Indrajit Saha, Ujjwal Maulik
A survey on multiple sequence alignment using metaheuristics.
Disponible via : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8418552>
- [6] Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Łukasz Kaiser, Illia Polosukhin
Attention Is All You Need, NeurIPS 2017.
Disponible via : <https://arxiv.org/pdf/1706.03762>
- [7] Katia Jaffrès-Runser , Mary Schurgot , Cristina Comaniciu , Jean-Marie Gorce
Optimisation multiobjectif des performances d'un réseau sans fil.
Disponible via : <https://hal.science/inria-00477342>
- [8] *L'intégration de l'IA dans la gestion des réseaux mobiles, Journal du Net*.
Disponible via : <https://www.journaldunet.com/intelligence-artificielle/1540355-l-integration-de-l-ia-dans-la-gestion-des-res>
- [9] Elvis Obi
Protocoles de routage basés sur l'apprentissage par renforcement pour l'optimisation de la durée de vie et de l'énergie des réseaux de capteurs sans fil.

- Disponible via : <https://theses.hal.science/tel-04203121v1/file/2023T0U30105b.pdf>
- [10] Sepp Hochreiter, Jürgen Schmidhuber
Neural Computation, Long Short-Term Memory, 1997.
Disponible via : <https://direct.mit.edu/neco/article-abstract/9/8/1735/6109/Long-Short-Term-Memory?redirectedFrom=fulltext>
- [11] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan
A fast and elitist multiobjective genetic algorithm : NSGA-II, 2002.
Disponible via : <https://ieeexplore.ieee.org/document/996017>
- [12] Kishor Kumar A, Praveen Kumar K, Vijay Kumar A, Vinay Kumar Ch, Srinivas G
Symbiosis Online Publishing, 2021.
Disponible via : <https://symbiosisonlinepublishing.com/computer-science-technology/computerscience-information-technology51.pdf>
- [13] Artem Oppermann
PyTorch vs. TensorFlow for building streaming data apps, 2024.
Disponible via : <https://www.redpanda.com/blog/pytorch-vs-tensorflow-for-real-time-streaming-data>
- [14] Shivaram Mysore
Deploy an SDN Wired/Wireless Network with Open vSwitch and Faucet*.*
Disponible via : <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/deploy-an-sdn-wiredwireless-network-with-open-vswitch-ovs-and-faucet.html>
- [15] Jesse Anglen
AI Agents for Route Optimization : Advanced Navigation and Logistics Solutions.
Disponible via : <https://www.rapidinnovation.io/post/ai-agents-route-optimization>
- [16] Indraneel Bhattacharjee
AI-Driven Routing : Transforming Network Efficiency and Resilience.
Disponible via : <https://www.preprints.org/manuscript/202502.2005/v1>
- [17] *La solution AI-Centric Network aide les opérateurs à saisir les opportunités de l'IA.*
Disponible via : <https://www.huawei.com/fr/news/fr/2025/mwc25-chaobin-yang>
- [18] Simon Tse, Gagan Choudhury
Real-Time Traffic Management in ATT's SDN-Enabled Core IP/Optical Network.
Disponible via : <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=OFC-2018-Tu3H.2>

- [19] *Synthèse sur les protocoles de routage dynamique.*
Disponible via : <https://cisco.goffinet.org/ccna/routage/synthese-routage-dynamique/>
- [20] Y. Lee, Ed
Framework for Abstraction and Control of TE Networks (ACTN), Huawei 2018.
Disponible via : <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8453>
- [21] Valisoa Rasolofo
Première : une téléportation quantique réalisée via une fibre optique saturée par un trafic internet dense, 2024.
Disponible via : <https://trustmyscience.com/premiere-teleportation-quantique-effectuee-via-fibre-optique-encombree-traffic-i>
- [22] Tomaž Bratanič
Generating Cypher Queries With ChatGPT 4 on Any Graph Schema, 2023.
Disponible via : <https://neo4j.com/blog/developer/generating-cypher-queries-with-chatgpt-4-on-any-graph-schema/>
- [23] *Comment permettre à l'Homme de garder la main? Rapport sur les enjeux éthiques des algorithmes et de l'intelligence artificielle.*
Disponible via : <https://www.cnil.fr/fr/comment-permettre-lhomme-de-garder-la-main-rapport-sur-les-enjeux-ethiques-des->