

**Commission économique pour l'Europe****Comité de l'énergie durable****Groupe d'experts de l'efficacité énergétique****Groupe d'experts des systèmes de production moins polluante d'électricité****Onzième session**

Genève, 16 et 17 septembre 2024

Point 8 de l'ordre du jour provisoire

Coopération intersectorielle sur des questions transversales**Vingtième session**

Genève, 16 et 17 septembre 2024

Point 7 de l'ordre du jour provisoire

Coopération intersectorielle sur des questions transversales**Incidence de l'intelligence artificielle sur la transformation numérique et des données dans le secteur de l'électricité****Note du secrétariat***Résumé*

La nature intermittente des sources d'énergie renouvelables telles que le solaire et l'éolien, combinée à la demande croissante des secteurs industriel et résidentiel, justifie de repenser les systèmes énergétiques existants en intégrant la gestion de la demande, le déplacement de la charge de pointe et le déploiement d'options de stockage d'énergie à court terme (quelques heures) et à long terme (saisonnier) (telles que les batteries ou les combustibles propres comme l'hydrogène). À cet effet, des technologies numériques avancées sont nécessaires pour maintenir l'équilibre global du réseau électrique, réguler la fréquence et assurer la stabilité. Les technologies numériques et les données recèlent un énorme potentiel pour accélérer la transition vers les énergies propres dans l'ensemble du secteur de l'énergie. La numérisation peut contribuer à réduire les besoins d'investissement, les coûts opérationnels et les coûts liés aux sources de combustibles, à améliorer l'efficacité et la résilience et à réduire les émissions.

Les progrès des technologies et services numériques et la connectivité accrue accélèrent la transformation numérique de l'énergie, en particulier dans les réseaux électriques : à partir de 2015, on observe une croissance de 50 % des investissements liés aux réseaux dans les technologies numériques, lesquels devraient atteindre 19 % de l'investissement total dans ces mêmes réseaux en 2023. L'accent est de plus en plus mis sur le secteur de la distribution, qui représente actuellement plus de 75 % de l'ensemble des dépenses d'infrastructures numériques consacrées à la modernisation des réseaux. Le marché de l'infrastructure de recharge des véhicules électriques a connu une hausse substantielle des investissements, évalués à 25,83 milliards de dollars à l'échelle mondiale en 2023 et qui devraient connaître un taux de croissance annuel composé de plus d'un quart entre 2024 et 2030.



Les acteurs du marché de l'énergie disposent de technologies qui permettent de programmer en temps réel tous les actifs de production dans de vastes zones géographiques afin d'optimiser les coûts en les maintenant au plus bas pour répondre à la demande. Cependant, le secteur commence à peine à enregistrer une évolution similaire du côté de la demande, où un marché grand public doit encore émerger pour fournir le même niveau d'optimisation des ressources renouvelables, de leur stockage et des capacités qu'elles offrent au niveau du consommateur (ou du prosummateur).

Les décideurs politiques et l'industrie devront déployer des efforts supplémentaires pour libérer tout le potentiel de la numérisation afin d'accélérer la transition vers l'énergie propre. Il s'agit notamment d'appliquer des normes, des politiques et des réglementations habilitantes qui donnent la priorité à l'innovation et à l'interopérabilité tout en tenant compte des risques liés à la cybersécurité et à la confidentialité des données. Le présent document, établi par l'Équipe spéciale de la transition numérique dans le domaine de l'énergie, est axé sur l'intelligence artificielle en tant que technologie permettant d'atteindre non seulement les objectifs du trilemme énergétique, à savoir accéder à une énergie durable, abordable et sûre, mais aussi de mettre l'accent sur la transition numérique telle qu'elle s'applique à la chaîne de valeur du secteur de l'électricité.

La mention d'une entreprise, d'un produit, d'un service ou d'un procédé breveté n'implique aucune approbation ni critique de la part de l'Organisation des Nations Unies. Les appellations employées n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, ou zones quelconques, ou de leurs autorités.

I. Introduction

1. Du fait de la transformation rapide du secteur de l'énergie sous l'effet de la décarbonisation, de la décentralisation et de la numérisation, des possibilités et applications potentielles des nouvelles technologies voient le jour en matière de planification et d'exploitation¹. Le potentiel croissant des données et de l'analyse a notamment été fondamental en apportant de nouvelles capacités d'optimisation².

2. La numérisation, grâce à la baisse du coût des technologies de l'information et de la communication, ainsi que les avancées en termes de puissance de calcul permettent de disposer d'un plus grand nombre de données très diverses et de progresser dans les études analytiques pour ce qui est du secteur électrique. Associés à des sources de production d'énergie plus variables et non répartissables et au nombre croissant d'acteurs (ainsi que d'actifs), dans tout le secteur, ces facteurs augmentent la complexité et stimulent la demande d'analyse de données, y compris de méthodes avancées d'IA telles que l'apprentissage automatique (ML) et l'apprentissage profond (DL). Les prédictions et l'optimisation basées sur l'IA sont de plus en plus utilisées tout au long de la chaîne de valeur des secteurs de l'énergie, que ce soit dans la modélisation de l'énergie par des jumeaux numériques, la prévision de la production d'électricité renouvelable, la consommation de gaz en fonction des conditions météorologiques ou la capacité disponible dans les réseaux d'électricité, de gaz et de chauffage. Le processus de numérisation élargit considérablement le champ des possibilités dans le secteur de l'énergie, y compris des systèmes d'exploitation et de planification améliorés grâce à des systèmes de mesure et de surveillance avancés, des prévisions globales et une maintenance prédictive ainsi qu'en ce qui concerne la demande et l'optimisation des systèmes de cybersécurité.

II. Intelligence artificielle – aperçu

3. La technologie connue sous le nom d'IA n'est pas nouvelle et remonte aux années 1950. Il s'agit d'un domaine de recherche qui fascine les informaticiens depuis qu'Alan Turing a proposé son jeu de l'imitation en 1950. Chaque fois qu'il y a un changement porteur de transformation dans la perception du monde par la société (que ce soit au niveau local ou mondial), et en particulier lorsqu'il est induit par des avancées technologiques, il est nécessaire d'en comprendre les implications. L'émergence de l'IA a des répercussions sur un nombre croissant de secteurs et devrait avoir des incidences sur la productivité mondiale ainsi que sur l'égalité et l'inclusion. Tout d'abord, une compréhension approfondie de la technologie concernée est nécessaire pour appréhender les conséquences de l'IA sur le secteur de l'énergie, à la fois comme catalyseur et comme nouvelle source de risques. Sur cette base, il est possible de mettre au point les méthodes requises, de faire évoluer les processus (y compris les politiques et la réglementation) et d'améliorer les sources de données afin que cette technologie puisse être utilisée pour créer des systèmes énergétiques durables.

4. L'Organisation de coopération et de développement économiques définit les systèmes d'IA comme :

« Tout système automatisé qui, pour un ensemble donné d'objectifs définis par l'homme, est en mesure d'établir des prévisions, de formuler des recommandations, ou de prendre des décisions influant sur des environnements réels ou virtuels »³.

5. La loi sur l'intelligence artificielle de l'Union européenne définit les systèmes d'IA comme :

« Tout système basé sur une machine qui est conçu pour fonctionner avec différents niveaux d'autonomie et qui peut faire preuve d'adaptabilité après son déploiement, et qui, pour des objectifs explicites ou implicites, déduit, à partir des données qu'il reçoit, comment

¹ ECE/ENERGY/GE.6/2022/4-ECE/ENERGY/GE.5/2022/4.

² Voir : GEEE-9.2022.INF.3 et ECE/ENERGY/GE.6/2023/4-ECE/ENERGY/GE.5/2023/4.

³ <https://mneguidelines.oecd.org/RBC-and-artificial-intelligence.pdf>.

générer des résultats tels que des prédictions, du contenu, des recommandations ou des décisions qui peuvent influencer des environnements physiques ou virtuels »⁴.

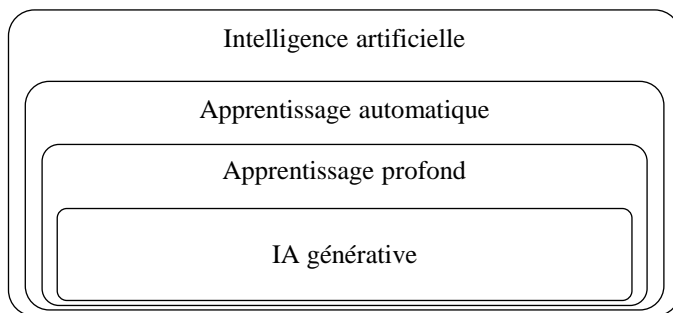
6. Les différents systèmes d'IA varient en termes d'autonomie et d'adaptabilité après leur déploiement. En tant que telle, l'intelligence artificielle est un vaste domaine qui comprend l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond et, depuis peu, l'intelligence artificielle générative. Ces termes sont parfois utilisés de manière interchangeable pour décrire des systèmes au comportement intelligent, et leurs positions relatives ainsi que leurs principaux domaines d'application dans le secteur de l'électricité sont décrits dans la figure I.

Figure I
Domaines d'application de l'IA dans le secteur de l'électricité

Gestion et optimisation des réseaux intelligents	Services de production intelligente	Négoce d'énergie, conception et fonctionnement du marché	Gestion des données et sécurité des données	Énergie distribuée et services administrés
<input type="checkbox"/> Efficacité accrue <input type="checkbox"/> Amélioration de la fiabilité <input type="checkbox"/> Accent sur la durabilité <input type="checkbox"/> Analyse en temps réel <input type="checkbox"/> Maintenance prédictive <input type="checkbox"/> Réaction de la demande	<input type="checkbox"/> Prédiction de la production <input type="checkbox"/> Intégration des énergies renouvelables <input type="checkbox"/> Solutions de stockage <input type="checkbox"/> Optimisation des installations <input type="checkbox"/> Prévisions de capacité	<input type="checkbox"/> Prédiction des tendances du marché <input type="checkbox"/> Enchères automatiques <input type="checkbox"/> Gestion du risque <input type="checkbox"/> Transparence du marché	<input type="checkbox"/> Mesures de cybersécurité <input type="checkbox"/> Analyse des données opérationnelles <input type="checkbox"/> Interopérabilité des systèmes <input type="checkbox"/> Conformité et gouvernance	<input type="checkbox"/> Établissement des tarifs <input type="checkbox"/> Intégration équilibrée des VE <input type="checkbox"/> Prédiction de la demande dans les secteurs ci-après : <ul style="list-style-type: none"> • Résidentiel • Commercial • Industriel

7. L'IA peut être classée de plusieurs manières, notamment les familles d'algorithmes utilisées pour la développer, les applications pour lesquelles elle est utilisée et les capacités que permet de reproduire la technologie. L'approche la plus appropriée pour classer l'IA peut être fonction des objectifs de l'étude dans laquelle elle sera utilisée⁵. Les taxonomies de l'IA sont présentées dans la figure II⁶.

Figure II
Illustration des positions imbriquées dans les domaines de l'IA générative, de l'apprentissage profond (DL) et de l'apprentissage automatique (ML)



8. L'apprentissage automatique fait référence à une classe d'algorithmes qui utilisent des données pour apprendre des règles et trouver des modèles prédictifs généralisés. Il existe trois catégories principales de ML et les approches sont traditionnellement classées comme suit :

- a) Apprentissage supervisé : algorithmes qui, à partir d'un ensemble d'entrées et de sorties étiquetées, apprennent à faire des prédictions, qui peuvent être des valeurs réelles

⁴ https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0138-FNL-COR01_EN.pdf.

⁵ Samoili S., López Cobo M., Gómez E., De Prato G., Martínez-Plumed F. et Delipetrev B., AI Watch. Définir l'intelligence artificielle. « Towards an operational definition and taxonomy of artificial intelligence », EUR 30117 EN, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg (2020) ISBN 978-92-76-17045-7, doi:10.2760/382730, JRC118163.

⁶ Sarker, I.H. Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. SN COMPUT. CIVD. 2, 420 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00815-1>.

(régression) ou des étiquettes de classe discrètes (classification, par exemple prédiction et prévision de la demande d'énergie) ;

b) Apprentissage non supervisé : algorithmes qui apprennent des modèles, des similitudes, des différences et des structures de données non étiquetées (par exemple, détection d'anomalies pour la maintenance prédictive) ;

c) Apprentissage par renforcement : algorithmes qui apprennent les meilleurs résultats pour un ensemble de règles définies en explorant et en évaluant différentes options et possibilités. Ce type d'apprentissage automatique s'apparente à l'essai et à l'erreur humaine (par exemple, fonctionnement optimal des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, CVC).

9. La nature des systèmes d'apprentissage continuant d'évoluer, certaines approches ne rentrent pas parfaitement dans ces trois catégories et nécessitent de nouveaux descripteurs (par exemple, apprentissage semi-supervisé ou apprentissage autosupervisé), mais cette catégorisation reste utile lorsque l'on considère l'étendue de l'application potentielle de l'IA.

10. L'apprentissage profond est une branche de l'apprentissage automatique impliquant des méthodes basées sur des réseaux neuronaux artificiels. Dans ce contexte, le terme « profond » fait référence à l'utilisation d'une hiérarchie de réseau constituée de plusieurs couches, qui servent à transformer les données en représentations abstraites utiles qui sont apprises automatiquement. Il s'agit là d'une différence essentielle par rapport aux méthodes traditionnelles d'apprentissage automatique, qui reposent sur la transformation de données identifiées par l'homme.

11. L'IA générative est un sous-ensemble de l'apprentissage profond qui apprend la structure et les modèles de données pour ensuite générer de nouvelles données ayant des caractéristiques similaires. Les algorithmes d'IA générative utilisent généralement l'apprentissage non supervisé ou semi-supervisé, lequel associe les approches supervisées et non supervisées en utilisant à la fois des données étiquetées et non étiquetées. L'apprentissage semi-supervisé est important lorsqu'il est prohibitif ou coûteux d'obtenir suffisamment de données étiquetées et qu'il est plus facile de recueillir de grandes quantités de données non étiquetées⁷. Les grands modèles linguistiques, comme le GPT, sont une forme d'IA générative qui apprend la structure grammaticale et les relations contextuelles entre les mots en s'entraînant sur une grande quantité de données textuelles. Ils sont considérés comme des modèles de base car ils sont formés à partir d'un large éventail de données et peuvent donc être appliqués à de nombreux cas d'utilisation⁸.

III. Applications de l'intelligence artificielle dans le secteur de l'électricité

12. À mesure que la numérisation progresse et que les organisations prennent conscience de la valeur des données générées par leurs actifs connectés et transforment leurs processus en conséquence, l'IA peut aider à traiter ces grands volumes de données et à générer de la valeur dans l'ensemble de la chaîne, de la création de données à l'amélioration de la prise de décisions.

13. Les nouveaux besoins liés à la transformation des systèmes électriques, auxquels l'IA pourrait répondre, peuvent être regroupés comme suit :

a) La complexité croissante de la planification et de l'exploitation des réseaux électriques et des marchés de l'électricité en raison du nombre plus élevé d'acteurs et de services. Le système électrique actuel n'a pas été conçu pour accueillir des sources de production d'énergie diversifiées et décentralisées, en particulier des sources d'énergie renouvelables dont les schémas de production varient ;

⁷ <https://www.ibm.com/topics/semi-supervised-learning>.

⁸ <https://cset.georgetown.edu/article/what-are-generative-ai-large-language-models-and-foundation-models/>.

b) L'utilisation croissante de capteurs tels que les compteurs intelligents et la technologie de l'Internet des objets (IoT) dans les installations de production du réseau électrique jettent les bases pour de nouvelles opportunités commerciales qui créent de la valeur à partir des données collectées et, à terme, peuvent améliorer l'efficacité énergétique et/ou diminuer les coûts pour les consommateurs et les entreprises ;

c) La transformation du fonctionnement des marchés de gros et de détail de l'électricité. Les nouveaux systèmes de marché, par exemple les marchés locaux ou les communautés d'énergie avec échanges de pair à pair, nécessitent des mécanismes rapides d'allocation des ressources et de facturation⁹.

14. Dans le présent document, l'utilisation de l'IA dans les réseaux électriques est regroupée selon les domaines ci-après présentés dans la figure I, à savoir¹⁰ : Gestion et optimisation, Production et services de production, Négoce d'énergie, Conception et fonctionnement du marché, Gestion des données et cybersécurité, Énergie distribuée et services administrés.

15. L'équilibrage du réseau électrique est une tâche complexe et cruciale qui garantit un approvisionnement stable et fiable en électricité. L'objectif principal est de veiller à ce que l'offre d'électricité réponde à la demande en temps réel et en planifiant une heure à l'avance, un jour à l'avance, etc., et c'est ce que l'on entend par équilibrer le réseau.

16. Outre les outils en temps réel utilisés pour faciliter cet équilibrage, tels que le contrôle automatique de la production, le délestage, la gestion de la demande, la précision des prévisions de charge et de production ont une grande importance. Avec la diversification des sources de production, y compris hors réseau, les bâtiments intelligents, les microréseaux, etc., les modèles traditionnels utilisés pour prévoir les charges et la production sont remis en question et n'ont parfois plus la précision requise, car ils sont généralement basés sur des modèles historiques. Les modèles d'IA peuvent mieux gérer la complexité accrue et prédire avec plus de précision la charge, la production et la capacité potentielle. Ils peuvent englober diverses techniques, notamment le ML et le DL, ainsi que des modèles hybrides qui associent différentes approches d'IA.

17. Les modèles de ML pourraient être utilisés pour optimiser la planification de l'exploitation des réseaux (une heure à l'avance, un jour à l'avance, une semaine à l'avance, etc.), ce qui réduirait ainsi le temps nécessaire pour effectuer ces calculs complexes ainsi que le risque d'erreurs.

Gestion et optimisation du réseau

18. Le réseau électrique est un système complexe et vivant dont la complexité augmente avec l'ajout d'éléments non traditionnels tels que les ressources basées sur les onduleurs (stockage de l'énergie, production solaire, infrastructure de recharge pour les véhicules électriques, etc.). Il devient donc de plus en plus difficile pour un opérateur humain de reconnaître les schémas, de comprendre pleinement et de décoder ce qui se passe, en particulier en cas de perturbations.

19. Afin de soutenir la transition énergétique, il sera essentiel de recourir à l'IA pour optimiser la planification, la conception, l'exploitation et le contrôle de la performance du réseau, améliorer la capacité des lignes de transport et de distribution existantes et prolonger la durée de vie des équipements. Le réseau électrique étant de plus en plus intégré et décentralisé, la responsabilité de l'optimisation du système se fait désormais à des niveaux de haute et basse tensions, et les réseaux de distribution deviennent importants pour la planification à long terme. Il peut devenir plus compliqué d'assurer la stabilité du réseau et

⁹ F. Heymann, H. Quest, T. Lopez Garcia, C. Ballif, M. Galus, « *Reviewing 40 years of artificial intelligence applied to power systems – A taxonomic perspective* », Energy and AI, Volume 15, 2024, 100322, ISSN 2666-5468, <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2023.100322>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546823000940>, consulté pour la dernière fois le 29 mai 2024.

¹⁰ Voir IRENA, « Artificial Intelligence and Big Data », 2019, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_AI_Big_Data_2019.pdf?rev=13acc202641648b1b1b24ea17dacd72e.

de garantir la sécurité de l’approvisionnement, c’est pourquoi l’automatisation des processus et des contrôles de système auparavant manuels peut avoir un impact significatif.

20. Bien que la construction d’un réseau entièrement automatisé ne nécessitant aucune intervention humaine reste une ambition lointaine, l’IA permet aux opérateurs humains de disposer d’informations en temps réel ce qui permet d’accélérer et d’améliorer la prise de décisions en matière de contrôle du réseau. L’IA pourrait aider les exploitants de réseaux en analysant d’énormes quantités de données et d’informations et :

a) Trouver la cause première d’une perturbation et proposer un plan d’action pour y remédier ;

b) Analyser les alarmes, déterminer et classer par ordre de priorité celles qui sont à l’origine du problème, par opposition à celles qui sont déclenchées par la cause ;

c) Prévoir les problèmes potentiels avant qu’ils ne surviennent et proposer des mesures d’atténuation ;

d) En cas de perturbations importantes ou de panne de courant, l’IA pourrait analyser de nombreux scénarios de renvoi de tension possibles et proposer des mesures facultatives en fonction des niveaux de risque acceptables ;

e) Même en fonctionnement normal, l’IA pourrait contribuer à optimiser les flux d’électricité sur le réseau et donc à réduire la congestion et/ou les coûts.

21. Outre ces avantages en terme de fonctionnement, l’IA pourrait également contribuer de manière significative aux processus associés à la maintenance des équipements et aider à réduire son poids administratif (passer d’une maintenance systématique à une maintenance basée sur l’état réel des biens), améliorer la gestion des biens (passer d’un remplacement des biens sur la base d’un calendrier générique à un remplacement sur la base de l’état réel des biens) et optimiser les calendriers de maintenance pour les équipes sur le terrain. Des données complètes et bien gérées sont nécessaires à cet effet, y compris les fiches de maintenance des équipements, les données relatives aux équipements et aux capteurs, les informations concernant le marché, les mises à jour des produits de base, les prévisions météorologiques, les images et les vidéos.

Services à la production d’énergie

22. Étant donné que la production d’énergie, notamment éolienne et solaire, dépend de plus en plus des conditions météorologiques, toute amélioration de la prévision de ces ressources renouvelables bénéficiera à la fois aux opérations et au marché. Les modèles d’IA pourraient être utilisés pour mieux prévoir la production d’énergie, par exemple solaire et éolienne, en tirant partie des données météorologiques antérieures, des mesures en temps réel de la vitesse du vent et de l’irradiance globale provenant de stations météorologiques locales, de données de capteurs, d’images et de données vidéo (par exemple, des images satellitaires de la couverture nuageuse).

23. Pour les opérateurs du système, une prévision précise de la production à court terme peut améliorer l’engagement unitaire, accroître l’efficacité de la répartition et renforcer la fiabilité et donc faire diminuer les réserves d’exploitation (y compris le combustible) nécessaires au système.

24. En outre, ces prévisions à court terme plus précises pourraient être utilisées en conjonction avec le stockage local de batteries, la technologie V2G ou les centrales électriques virtuelles (VPP), la charge et la décharge afin de contribuer à réduire l’effacement de l’électricité produite à partir de sources d’énergie renouvelables et d’améliorer la fiabilité du réseau. Elles pourraient également aider les producteurs d’énergie renouvelable à faire des offres sur les marchés de gros et d’équilibrage et contribuer à réduire les pénalités et, lorsqu’elles sont intégrées à l’exploitation du réseau, offrir de la flexibilité aux opérateurs et améliorer la fiabilité et la résilience du réseau. L’IA peut aider à exploiter ces technologies de manière plus efficace en intégrant au mieux l’électricité produite à partir de sources d’énergie renouvelables (y compris la diminution des erreurs de prévision de la production), en minimisant les prix et en maximisant les rendements pour les propriétaires du système de stockage.

25. Alors que les réseaux s'efforcent d'accélérer l'intégration des systèmes d'énergie renouvelable afin de réduire les émissions de carbone et d'assurer à la fois la résilience et l'indépendance des consommateurs grâce à une gestion et à un stockage optimisés de l'énergie, l'IA peut prendre en charge les échelles de temps dynamiques nécessaires pour coordonner la production, le stockage et la répartition de l'électricité lorsque la demande est la plus forte. L'intégration de systèmes coûteux de production, de stockage, de gestion et de communication qui est une opération complexe peut être facilitée en associant des technologies d'IA dans le cadre de processus d'intégration.

26. Pour qu'un réseau atteigne sa pleine capacité, le coût des installations, des inspections et des interventions devrait augmenter au fur et à mesure de l'expansion des réseaux (par exemple câbles, poteaux, transformateurs, logiciels, etc.). Les algorithmes de ML peuvent aider les opérateurs à comprendre les événements en temps réel, à réagir de manière tout aussi dynamique et à prévoir les événements futurs.

27. L'analyse globale de ces systèmes intégrés nécessite des rapports très documentés, depuis la planification de la construction et le choix du site jusqu'à la gestion des actifs et aux rapports de panne, en passant par les programmes d'entretien et les prévisions de production d'électricité. Dans le même temps, une telle analyse favoriserait l'intégration fiable et économique des ressources énergétiques renouvelables dans le réseau.

Négoce d'énergie, organisation du marché et exploitation

28. L'IA est particulièrement efficace pour identifier des schémas dans des blocs de données et processus d'optimisation. Alors que le réseau progresse vers une production décentralisée, les dispositifs IoT qui ouvrent la voie à une nouvelle ère de réseaux énergétiques génèrent chaque jour des centaines de téraoctets de données¹¹. Seul un petit pourcentage de ces données, environ 2 %, est conservé de manière régulière¹². Pour proposer une gamme de services énergétiques, y compris des transactions hors réseau, ces actifs distribués doivent jouer un rôle dans l'équilibrage du réseau et l'optimisation de la qualité de l'énergie.

29. La réponse à la demande, bien qu'elle ne soit pas un nouvel outil d'étude de marché, en est encore à ses débuts dans le contexte du marché de l'énergie, car la plupart des programmes de réponse à la demande sont gérés par un accord manuel entre les opérateurs de réseau et les propriétaires d'équipement. Le stockage sur batteries à l'échelle du réseau peut faciliter les prestations de réseau et les services auxiliaires (par exemple, contrôle de la fréquence) et, lorsqu'il est intégré à des systèmes distribués et IoT, il offre des possibilités pour de nouveaux marchés tels que les centrales électriques virtuelles¹³.

30. Avec les marchés intrajournaliers, les marchés de capacité et l'intégration de nouveaux acteurs, souvent plus petits, etc., la cadence et la complexité des marchés de l'électricité s'intensifient.

31. L'IA pourrait contribuer à optimiser les interventions sur le marché en temps quasi réel en s'appuyant sur d'importants flux de données, ce qui permettrait de réagir rapidement aux évolutions du marché. L'utilisation de l'IA pourrait permettre d'améliorer les prévisions de prix ainsi que l'agrégation et la flexibilité des échanges. À mesure que les marchés évoluent, elle pourrait contribuer au développement de nouveaux algorithmes, de nouveaux systèmes de négociation et de nouvelles règles de marché.

¹¹ <https://explodingtopics.com/blog/data-generated-per-day>.

¹² Volume de données/informations créées, capturées, copiées et consommées dans le monde de 2010 à 2020, et prévisions pour 2021 à 2025, Petroc Taylor, 2023, Statista.com.
<https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.

¹³ https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_AI_to_accelerate_the_Energy_Transition_2021.pdf.

32. Les données requises pour ces applications comprennent celles relatives aux équipements et aux capteurs ainsi que celles concernant le marché, les produits de base et les conditions météorologiques. Les centrales électriques virtuelles peuvent tirer parti d'autres technologies numériques, telles que la chaîne de blocs^{14, 15}.

Gestion des données et cybersécurité

33. La numérisation a été identifiée comme l'élément clef pour relier les différents segments du secteur énergétique afin que celui-ci soit le plus fiable, le plus abordable et le plus propre possible. Les technologies numériques automatisent des processus complexes, coordonnent des systèmes disparates, facilitent le partage d'informations entre des systèmes répartis et jouent un rôle fondamental dans la mise en œuvre d'une transition coordonnée. Cependant, sans données en temps réel, sans analyses poussées et sans automatisation, il sera impossible de gérer les systèmes énergétiques complexes du futur. L'essentiel est de veiller à ce que les ensembles de données soient mis à jour en permanence et de manière régulière, et gérés de sorte à préserver l'intégrité de la provenance¹⁶.

Énergie distribuée et services administrés

34. La prévision de la demande (charge) est l'autre membre d'équilibrage de l'équation. Une prévision précise de la demande, associée à une prévision de la production d'énergie renouvelable, peut être utilisée pour optimiser la répartition économique de la charge ainsi que pour améliorer la gestion de la demande en énergie et l'efficacité.

35. Les modèles historiques traditionnels de demande de charge ne sont plus considérés comme fiables car ils sont remis en question par les changements climatiques, le comportement des consommateurs, les ressources basées sur les onduleurs, les ressources énergétiques décentralisées, etc.

36. De meilleures prévisions de la production et de la demande d'électricité offrent de grandes possibilités d'optimiser la planification et l'exploitation du système à court et à long terme, ce qui permet d'améliorer au maximum l'exploitation (optimisation des limites de transmission, des réserves, etc.) et d'accroître les investissements à long terme dans le réseau.

37. En ce qui concerne les consommateurs, les applications d'IA peuvent aider à comprendre les habitudes de consommation et contribuer à une meilleure gestion de la charge en vue d'optimiser la gestion énergétique des bâtiments, voire à aider une communauté à réduire sa facture d'électricité ainsi que l'opérateur du réseau et les planificateurs d'actifs. L'IA peut être appliquée au niveau du parc immobilier pour optimiser la consommation d'électricité dans les unités CVC en utilisant les données des capteurs et les données d'occupation pour déterminer l'utilisation typique et comprendre les comportements thermiques du bâtiment (potentiellement avec des technologies utilisées dans les maisons intelligentes).

38. Dans le contexte de l'industrie et des centres de données, l'IA est utilisée pour aider à optimiser la consommation d'électricité ainsi que pour prédire les menaces et les vulnérabilités potentielles¹⁷. Elle peut permettre de réduire la demande d'électricité et de déplacer les pics de demande en fonction des périodes de forte production d'énergies renouvelables, permettant ainsi à la demande de suivre l'offre. L'IA peut aider à mieux planifier l'énergie solaire et éolienne ainsi que le stockage afin de minimiser les baisses et de fournir une plus grande capacité locale.

¹⁴ https://unece.org/sites/default/files/2022-07/ECE_ENERGY_GE.6_2022_4_ECE_ENERGY_GE.5_2022_4_Final.pdf.

¹⁵ Khatoon, A. ; Verma, P. ; Southernwood, J. ; Massey, B. ; Corcoran, P. Blockchain dans Energy Efficiency: Potential Applications and Benefits. Blockchain dans l'efficacité énergétique : applications et avantages potentiels. *Energies* 2019, 12, 3317. <https://doi.org/10.3390/en12173317>.

¹⁶ Werder, K., Ramesh, B. et Zhang, R. (Sophia). 2022. Establishing Data Provenance for Responsible Artificial Intelligence Systems. *ACM Transactions on Management Information Systems*, 13(2), 22:1-22:23. <https://doi.org/10.1145/3503488>.

¹⁷ <https://www.digitalrealty.com/resources/articles/data-center-ai>.

39. Les services publics (c'est-à-dire les fournisseurs d'énergie) peuvent utiliser l'IA pour déterminer les tarifs et analyser les effets des classifications tarifaires selon les catégories de consommateurs en fonction des périodes de consommation de pointe. Au fur et à mesure que l'accès aux données à haute résolution s'améliore, les modèles de tarification dynamique deviennent de moins en moins hypothétiques et de plus en plus concrets.

40. Comme le réseau continue à se complexifier pour devenir de plus en plus un système de systèmes, les possibilités pour l'IA de contribuer à gérer cette complexité seront de plus en plus nombreuses.

IV. Données pour les applications d'intelligence artificielle

41. Le secteur de l'énergie repose en grande partie sur des données et cette tendance va s'accroître, car elles influencent à la fois les décisions stratégiques à court terme et l'efficacité opérationnelle à long terme. Le développement des infrastructures, l'intégration des sources renouvelables et la gestion efficace des flux d'énergie sont autant de secteurs qui bénéficient d'informations tirées de données.

42. Les aspects essentiels de la gestion des données dans l'industrie de l'énergie sont présentés de manière détaillée ci-après, en soulignant la nécessité d'une gouvernance solide et de stratégies innovantes pour sauvegarder et optimiser les données.

Importance des données

43. En termes d'optimisation opérationnelle, les données jouent un rôle important pour les fournisseurs d'énergie en tant que catalyseur afin d'affiner l'efficacité opérationnelle. Il s'agit d'utiliser des données en temps réel pour répondre rapidement aux fluctuations de la demande d'énergie et pour optimiser la performance du réseau. Une bonne utilisation des données facilite le développement de systèmes de distribution d'énergie agiles, essentiels pour maintenir la stabilité et l'efficacité de l'approvisionnement en énergie.

44. Les données jouent un rôle essentiel pour faciliter l'intégration sans heurt des sources d'énergie renouvelables dans le réseau. Les systèmes énergétiques peuvent gérer habilement la variabilité et l'intermittence des sources d'énergie renouvelables en exploitant les données, ce qui garantit un approvisionnement stable en énergie.

45. Par exemple, des activités intensives de recherche et de développement sont en cours dans les secteurs industriels exigeant des températures élevées de 500 à 1 500 °C afin de développer des technologies de stockage de l'énergie (dioxyde de carbone comprimé, roches volcaniques, stockage de l'énergie sous forme chimique), censées remplacer l'utilisation des combustibles fossiles par des énergies renouvelables. L'IA est l'un des éléments constitutifs les plus importants qui évalue la demande d'énergie dans l'industrie et l'intermittence des énergies renouvelables et décide du transfert de charge et du stockage optimal nécessaire en fonction de l'excédent d'énergie renouvelable et/ou du prix de l'électricité sur le marché.

46. L'analyse des données permet de prendre des décisions éclairées dans des secteurs essentiels, notamment l'élaboration de politiques, l'atténuation des risques et la planification des investissements futurs. Ces connaissances approfondies renforcent la souplesse et la résilience face à l'évolution du paysage énergétique. Les décisions fondées sur des données permettent de prévoir la demande d'énergie et d'adapter les stratégies en conséquence.

Droit à la vie privée et protection des données

47. La numérisation croissante des systèmes énergétiques pose d'importants problèmes de protection de la vie privée, en particulier avec le déploiement à grande échelle de compteurs intelligents qui enregistrent des données de consommation détaillées. Bien que bénéfiques en termes d'efficacité, ces technologies présentent des risques liés à la protection de la vie privée et à la sécurité des données. Les compteurs intelligents, tout en améliorant les connaissances opérationnelles, soulèvent des questions sur la confidentialité des habitudes de consommation énergétique individuelles. Les systèmes énergétiques étant de plus en plus interconnectés et axés sur les données, la protection de la vie privée du consommateur devient primordiale.

48. Les entreprises du secteur de l'énergie sont tenues d'adhérer à des lois strictes en matière de protection des données, telles que le règlement général sur la protection des données (RGPD). Ces règlements imposent la protection des données des consommateurs, la protection de la vie privée et la protection contre les atteintes à la sécurité des données et l'accès non autorisé. Le respect de ces réglementations n'est pas seulement une obligation légale, mais il est également essentiel pour maintenir la confiance et la crédibilité des consommateurs. Pour se conformer à ces réglementations, les entreprises du secteur de l'énergie doivent prendre des mesures de sécurité poussées, procéder à des audits réguliers et veiller à ce que toutes les pratiques de traitement des données soient transparentes et sûres. Ces mesures sont essentielles pour protéger les données sensibles contre les cybermenaces et pour préserver l'intégrité des systèmes énergétiques. En investissant dans des protocoles de cybersécurité robustes et des pratiques de gestion des données transparentes, les fournisseurs d'énergie peuvent atténuer les risques et renforcer leur résilience face à d'éventuelles violations de données ou cyberattaques.

Initiatives en faveur du libre accès aux données

49. Les initiatives en faveur d'un libre accès aux données jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la transparence au sein du secteur de l'énergie en permettant au public d'accéder aux données. Cette transparence favorise la responsabilisation et encourage un retour d'information constructif de la part des consommateurs et des organismes de réglementation. Elle est essentielle pour instaurer la confiance du public et créer un environnement propice à la collaboration pour l'élaboration des politiques.

50. En facilitant l'accès du public aux données relatives à l'énergie, ces initiatives contribuent au développement de technologies et à la recherche de solutions innovantes visant à améliorer l'efficacité énergétique et à encourager les pratiques durables. Les données ouvertes constituent un atout inestimable pour les chercheurs et les innovateurs, car elles leur permettent d'explorer de nouvelles approches en matière de conservation et de gestion de l'énergie.

51. Les initiatives pour un accès libre aux données permettent à un large éventail de parties prenantes, y compris les chercheurs, les entrepreneurs et le grand public, d'interagir avec les données sur l'énergie, ce qui favorise l'émergence d'une communauté mieux informée et plus impliquée. Cet engagement inclusif est fondamental pour démocratiser l'accès à l'information sur l'énergie et doter les consommateurs des connaissances nécessaires pour prendre des décisions éclairées sur leur consommation d'énergie.

Données commerciales ou données en libre accès

52. Les données commerciales privées, telles que les informations exclusives sur la production d'énergie et la technologie réseau, sont rigoureusement protégées afin de préserver les avantages concurrentiels. Elles constituent la pierre angulaire de la planification stratégique et de la prospérité commerciale des fournisseurs d'énergie privés.

53. Inversement, les données en libre accès servent des intérêts sociétaux plus larges en enrichissant les connaissances du public et en soutenant les travaux de recherche universitaires et commerciaux. Elles favorisent la diffusion à grande échelle des connaissances et encourage une approche collaborative pour relever les défis du secteur de l'énergie.

54. Il est essentiel de s'efforcer de trouver un équilibre entre la préservation des intérêts commerciaux et la promotion de l'accès du public aux données. Un tel équilibre favorise l'innovation tout en respectant les droits de propriété des propriétaires de données, garantissant ainsi de pouvoir en tirer le meilleur parti possible tout en préservant les positions concurrentielles.

Infrastructures critiques et données personnelles

55. La protection des informations relatives aux infrastructures critiques (IIC) et des informations relatives à l'identité des personnes (IIP) est primordiale pour atténuer le risque de violations potentiellement graves et pour protéger la vie privée des personnes. Elle est également essentielle pour préserver la sécurité, la fiabilité et la sûreté des systèmes

énergétiques, ce qui est déterminant pour assurer la continuité des opérations et garantir la confiance des consommateurs.

56. Il est impératif de mettre en place des mesures et des protocoles de sécurité rigoureux pour protéger ces informations sensibles contre les cybermenaces qui ne cessent d'augmenter et les tentatives d'accès non autorisé. En déployant des protocoles de sécurité multicouches, les fournisseurs d'énergie peuvent améliorer la résilience de leurs systèmes énergétiques et assurer une protection efficace contre diverses formes de cyberattaques.

57. Comprendre le paysage complexe des réglementations pose des défis importants aux entreprises qui souhaitent respecter les obligations légales en matière de protection des données, tout en sécurisant efficacement les infrastructures sensibles et les données personnelles. Le respect de ces réglementations à multiples facettes n'est pas seulement essentiel pour se conformer à la législation, mais aussi pour maintenir la stabilité opérationnelle et atténuer les risques.

Volume et qualité des données

58. L'efficacité des modèles d'IA dans la prévision des schémas énergétiques et l'optimisation des opérations du réseau dépend de l'accès à de grands volumes de données de grande qualité. Ces technologies s'appuient sur de vastes ensembles de données pour améliorer la précision et l'efficacité de la gestion énergétique.

59. Le volume et la qualité des données ont un impact direct sur la précision prédictive et la fiabilité des modèles d'IA et d'apprentissage automatique dans le secteur. La garantie de données de grande qualité permet à ces modèles de fonctionner de manière optimale, ce qui se traduit par une amélioration de la prise de décisions et de l'efficacité opérationnelle.

60. Pour acquérir un nombre suffisant de données de bonne qualité il est souvent nécessaire d'investir de manière substantielle dans la technologie et l'infrastructure de saisie, de stockage et de traitement des données. Ces investissements sont essentiels pour renforcer les capacités des applications d'IA et d'apprentissage automatique dans le secteur de l'énergie.

Données synthétiques

61. Les données synthétiques constituent une alternative pratique aux données réelles, en particulier dans les situations où l'utilisation de données authentiques peut compromettre la confidentialité ou la sécurité. Ces données, générées par des algorithmes sophistiqués simulant des modèles de données réels, préservent la confidentialité tout en reproduisant les subtilités des données authentiques.

62. L'adoption de données synthétiques facilite le développement et l'entraînement de modèles d'apprentissage automatique solides sans les risques inhérents à la divulgation d'informations sensibles. Les données synthétiques peuvent être personnalisées pour répondre à des exigences et à des scénarios spécifiques, ce qui constitue un moyen polyvalent et sûr d'entraîner les modèles et de garantir des performances optimales.

63. La génération de données synthétiques permet de relever le défi consistant à concilier le besoin de données multiples à des fins de formation et les réglementations strictes en matière de confidentialité et de sécurité. Elle permet de faire appel à des outils d'analyse de données avancés tout en protégeant la vie privée des utilisateurs et en préservant l'intégrité des données, s'alignant ainsi sur les paradigmes de protection de la vie privée et les cadres réglementaires en constante évolution.

Gouvernance et pratiques courantes

64. Une gouvernance des données ne saurait être efficace sans établir des lignes directrices précises concernant la propriété des données, les droits d'utilisation et les pratiques de traitement des données. Ces lignes directrices servent de boussole, guidant l'utilisation éthique et responsable des données dans le secteur de l'énergie.

65. Il est impératif de respecter les procédures habituelles pour garantir la conformité avec les normes juridiques et promouvoir la transparence dans la gestion des données. Cet engagement en faveur de la transparence suscite non seulement la confiance des consommateurs et des parties prenantes, mais atténue également les risques liés au traitement des données. En adhérant à ces principes, les organisations cultivent une culture de la responsabilité, jetant ainsi les bases d'une gouvernance éthique des données.

66. Comme la technologie continue d'évoluer, les pratiques de gouvernance doivent être affinées en permanence pour s'adapter aux nouveaux types de données et à l'évolution des technologies de gestion des données. Cette capacité d'adaptation est essentielle pour rester à l'avant-garde des défis potentiels et saisir de nouvelles opportunités dans l'utilisation des données. Avec la numérisation en cours du secteur de l'énergie, il devient de plus en plus impératif de comprendre et de gérer l'interaction complexe entre l'utilité des données, la protection de la vie privée, la sécurité et l'efficacité. Des cadres sophistiqués de gouvernance des données et des stratégies innovantes de gestion des données sont indispensables pour libérer le potentiel des données et façonner l'avenir des systèmes énergétiques qui doivent être durables et résilients.

V. Avantages et désavantages potentiels de l'intelligence artificielle

Avantages

67. Les travaux de recherche menés sur le rôle de l'IA dans la réalisation des objectifs de développement durable¹⁸ identifient 134 cibles dont la réalisation peut être stimulée par l'IA et 59 cibles potentielles dont la réalisation peut être entravée par l'IA. Le potentiel de l'IA étant libéré par la production de mégadonnées et l'augmentation de la puissance de traitement, elle pourrait permettre une prise de décisions rapide et intelligente, conduisant à une plus grande souplesse du réseau et à l'intégration de ressources variables à la fois au niveau des opérations et de la planification. Certains des avantages comprennent :

a) Une meilleure analyse : i) les opérations en temps réel reposent sur une grande quantité de données précises et à jour. L'IA peut faciliter et améliorer l'analyse des données lorsqu'il faut traiter une grande quantité de données. Par exemple, en cas d'alarme, l'IA pourrait aider à en analyser la cause première ; ii) les gestionnaires de réseau pourraient optimiser les performances du système et prendre des décisions plus éclairées grâce à des analyses approfondies ; iii) l'IA pourrait analyser les modèles de données pour prévoir les catastrophes naturelles et leur impact sur le réseau, ce qui permettrait de prendre des mesures précoces telles que le réacheminement de l'électricité ou la sécurisation des infrastructures critiques ;

b) Une planification plus efficace : l'IA excelle lorsqu'il s'agit de simuler des scénarios, de prédire des résultats et de prendre en compte davantage de données, ce qui améliorerait la phase de planification. Elle pourrait, par exemple, simuler des scénarios météorologiques plus extrêmes. Elle pourrait renforcer le processus de planification et améliorer l'allocation des ressources et l'optimisation de la production, etc., y compris optimiser la localisation et la construction des infrastructures, les flux d'énergie et potentiellement accélérer des modèles transactionnels tels que le négoce de l'énergie de pair à pair ;

c) Gestion des actifs : i) en utilisant les données des actifs critiques surveillés, l'IA peut détecter les anomalies précoces, les défaillances potentielles et les besoins de maintenance, ce qui permettrait de réaliser une maintenance conditionnelle reposant sur la surveillance en temps réel des actifs au lieu d'une maintenance systématique ; ii) une maintenance effectuée en temps utile aidera à réduire les pannes imprévues et à allonger la durée de vie du bien. L'IA pourrait également contribuer à la gestion des actifs tout au long de leur cycle de vie et permettre d'optimiser les programmes d'entretien ;

¹⁸ Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I. *et al.* The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nat Commun* **11**, 233 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>.

d) Favoriser l'innovation réglementaire : les autorités nationales de réglementation peuvent renforcer leurs cadres réglementaires en tirant parti de la granularité et de la précision accrues des données fournies par les opérateurs qui utilisent des outils avancés de gestion et de traitement des données fondés sur l'IA. En particulier, la capacité accrue des opérateurs à surveiller les composants individuels du réseau peut réduire l'asymétrie d'information à laquelle sont confrontés les régulateurs, en leur fournissant une vue d'ensemble plus complète de la performance des différents actifs du réseau. Ceci peut, à son tour, favoriser le développement de nouveaux systèmes d'incitation pour une gestion proactive du réseau.

Désavantages

68. Si l'IA peut contribuer à gérer la complexité accrue de la planification et de l'exploitation du réseau électrique, de la conception et du fonctionnement du marché, et à créer de la valeur grâce aux données rendues plus accessibles par la numérisation, certaines préoccupations et certains obstacles doivent être levés pour pouvoir en tirer pleinement parti. Voici quelques exemples :

a) Confidentialité et sécurité des données : i) la collecte de données à grande échelle nécessaire à l'apprentissage de l'IA pose des problèmes de confidentialité. Les informations sensibles doivent rester confidentielles ; ii) la cybersécurité devient essentielle lorsque les systèmes d'IA interagissent avec les composants du réseau. Il est indispensable de se protéger contre les violations de données et les accès non autorisés ;

b) Disponibilité des données : i) il est nécessaire de disposer de suffisamment de données historiques et diverses pour concevoir les modèles, lesquelles ne sont peut-être pas toujours toutes disponibles soit parce qu'elles ont été mal conservées soit du fait de l'absence totale ou partielle de partage des données ; ii) des cadres pour le partage de données sensibles (CII et PII) doivent être définis tout en trouvant un équilibre réglementaire entre les industries et en permettant aux forces du marché d'opérer librement ;

c) Infrastructures anciennes : de nombreux réseaux électriques reposent encore sur des infrastructures anciennes. L'intégration de l'IA dans les systèmes existants peut s'avérer difficile et nécessitera des investissements conséquents ;

d) Développement des compétences et travailleurs qualifiés disponibles : il faudra relever le défi posé par la disponibilité de travailleurs formés à l'IA et aux données et ayant une bonne compréhension de l'environnement des réseaux. Les politiques de formation professionnelle sont importantes et il sera essentiel de former du personnel, y compris des opérateurs de réseaux, capable de travailler efficacement avec l'IA pour une intégration réussie ;

e) Manque de transparence : i) les modèles d'IA fonctionnent souvent comme des « boîtes noires », ce qui rend difficile la compréhension de leur processus de prise de décisions. Les médias sociaux et les organes d'information grand public peuvent être des sources de désinformation sur les « dangers » de technologies telles que l'IA ; ii) la recherche a montré que les erreurs d'IA (« hallucinations ») peuvent avoir des effets pervers et compromettre la sécurité et la fiabilité. Les acteurs malveillants qui possèdent une grande expertise dans l'utilisation de technologies avancées telles que l'IA, peuvent l'exploiter pour perturber les systèmes énergétiques et créer des données malveillantes en vue de former des modèles d'IA légitimes.

VI. L'éthique appliquée à l'intelligence artificielle

69. L'intégration de l'IA dans le secteur de l'énergie présente des avantages considérables, mais soulève également d'importantes questions éthiques qui doivent faire l'objet d'une évaluation plus approfondie afin d'en garantir une utilisation responsable et équitable¹⁹. Les principaux aspects de l'éthique dans le domaine de l'IA sont :

¹⁹ <https://spectrum.ieee.org/ai-ethics-governance>.

a) La responsabilité (« assumer la responsabilité de l'influence de l'IA sur les autres ») : i) prévenir et limiter les dommages ou les effets secondaires préjudiciables de l'IA dans le secteur de l'énergie. L'utilisation de l'IA peut entraîner des effets secondaires et il convient donc de les identifier autant que possible afin de prévenir tout dommage ou incidence négative ; ii) empêcher toute utilisation abusive des connaissances générées par l'IA et veiller à ce que les données, les effets mesurés ou les rapports soient clairs pour les utilisateurs visés afin d'éviter tout malentendus au niveau des résultats ;

b) Intégrité (« influencer avec intégrité ») : i) veiller à ce que toutes les décisions générées par l'IA soient fondées sur l'intégrité, de manière indépendante, objective et professionnelle, sans être influencées par des forces extérieures telles que, par exemple, des contrats, des pressions externes ou des relations de pouvoir ; ii) faire preuve de transparence en ce qui concerne les résultats générés par l'IA et le niveau de qualifications, de connaissances, de compétences et de ressources sur lequel elle repose. Indiquez ce que l'IA peut faire ou non à un niveau professionnel ;

c) Respect (« influencer en respectant les autres groupes cibles ») : respect de la vie privée du groupe cible que l'IA peut influencer car si celui-ci est particulièrement vulnérable toute intrusion dans sa vie privée peut modifier son comportement. L'IA doit prendre en compte les effets potentiels de la discrimination ; par conséquent, les décisions générées par l'IA devraient être fondées sur la législation, la réglementation et la morale ;

d) Expertise (« influence fondée sur une expérience suffisante ») : l'utilisateur d'IA doit faire preuve d'un comportement professionnel irréprochable, respecter les limites de ses compétences potentielles et celles de son expertise et utiliser des méthodes pour lesquelles il est compétent en fonction de son éducation, de sa formation ou de son expérience ;

e) Données (« utiliser des données licites, fiables et valides en tenant dûment compte de la protection de la vie privée et de la sécurité des données ») : i) l'IA doit traiter des données obtenues de manière licite et respecter la législation locale telle que le GDPR. Le développement d'une IA doit se faire autant selon la lettre que dans l'esprit de la loi. Par exemple, pour développer une IA il est important de garantir que les autorisations nécessaires seront accordées et ce de manière consciente, autonome, informée et réfléchie ; ii) connaître la fiabilité des données générées et utilisées par l'IA et réagir en conséquence, en indiquant les intervalles de confiance et en faisant preuve de prudence en ce qui concerne les actions ou conclusions qu'elles génèrent et les interventions fondées sur des données à faible nombre. Signaler lorsque les données utilisées par l'IA ne sont pas suffisamment fiables ou valides ; iii) les systèmes d'IA reposent sur d'énormes quantités de données, y compris des informations personnelles et commerciales, et il est donc essentiel de veiller à ce que celles-ci soient collectées, stockées et utilisées conformément au cadre juridique établi et aux principes éthiques en vigueur.

70. Ces principaux aspects de l'éthique doivent être bien compris et strictement respectés lorsque l'IA est utilisée dans le secteur de l'électricité.

71. Les autres observations précédemment formulées par l'Équipe spéciale de la transition numérique dans le domaine de l'énergie concernant l'importance d'utiliser intégralement des mégadonnées pour des analyses complètes et globales²⁰, portent notamment sur :

a) La cybersécurité. Les systèmes d'IA font partie intégrante de l'infrastructure énergétique et constituent une surface d'attaque propice aux cyberattaques. Des mesures de sécurité robustes doivent être mises en place pour protéger les données sensibles et les infrastructures critiques ;

b) La transparence et la responsabilité. Les algorithmes d'IA sont tellement complexes qu'il est difficile de retracer la manière dont les décisions sont prises. Il est donc nécessaire d'évaluer les limites de la responsabilité et de déterminer qui est responsable des

²⁰ https://unece.org/sites/default/files/2022-08/GEEE-9.2022.INF_3-DataAnalytics_rev.pdf, consulté pour la dernière fois le 1^{er} juin 2024.

décisions générées par l'IA, en particulier lorsqu'elles peuvent avoir un impact sur la société et l'environnement ;

c) La partialité et l'équité. Les systèmes d'IA peuvent par inadvertance perpétuer les préjugés présents dans les données ce qui conduit à des résultats injustes, et il faudra procéder à un audit de l'IA pour détecter et gérer ces préjugés éventuels ;

d) L'égalité d'accès. Il est essentiel de veiller à ce que les systèmes d'IA soient inclusifs et intègrent le plus grand nombre et la plus grande diversité de groupes possible, y compris les populations marginalisées ;

e) L'impact sur l'environnement et la durabilité. Le développement et le déploiement des systèmes d'IA nécessitent d'importantes ressources énergétiques, ce qui peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie et des émissions de carbone et il est donc nécessaire de trouver un équilibre entre les avantages de l'IA et ses incidences potentielles sur l'environnement. Elle ne peut être utilisée que si elle est considérée comme durable, afin de ne pas causer de dommages collatéraux à l'environnement ;

f) Le facteur humain. La prise de décisions dans le secteur de l'énergie exige un contrôle humain car il est nécessaire de garantir que les considérations éthiques sont prises en compte. Les humains devraient avoir un rôle décisif dans les décisions clés ;

g) Les conséquences sur l'emploi. Le déploiement de l'IA dans le secteur de l'énergie pourrait entraîner des pertes d'emplois. Des stratégies de transition et de perfectionnement de la main-d'œuvre sont nécessaires pour atténuer les effets négatifs sur l'emploi et assurer une transition équitable ;

h) Résilience et adaptabilité. Le secteur de l'énergie doit être prêt à s'adapter à l'évolution des technologies de l'IA et à leurs conséquences et à continuer de faire preuve de résilience face aux perturbations potentielles.

72. Ces questions éthiques requièrent l'engagement de plusieurs parties prenantes, notamment les décideurs politiques, la société civile, l'industrie et les fournisseurs de technologie. Un dialogue permanent et un engagement en faveur des principes éthiques sont essentiels pour exploiter de manière responsable tout le potentiel de l'IA dans le secteur de l'énergie.

VII. Réduire la consommation d'énergie dans les centres de données grâce à l'intelligence artificielle – résumé d'une étude de cas

73. Les centres de données sont l'épine dorsale du monde numérique, mais ils nécessitent d'énormes quantités d'énergie, en particulier pour les systèmes de refroidissement. Cette demande croissante a incité à se pencher sur le recours à l'IA pour améliorer l'efficacité énergétique. L'apprentissage par renforcement, un type d'IA dans lequel les systèmes apprennent les comportements optimaux par essais et erreurs, s'est révélé très prometteur dans ce domaine. En s'ajustant continuellement sur la base de données en temps réel, l'apprentissage par renforcement permet d'optimiser les opérations afin de réduire la consommation d'énergie sans nuire à la performance.

74. Google DeepMind a mis au point un système d'IA basé sur l'apprentissage par renforcement pour optimiser les processus de refroidissement dans ses centres de données. Ce système recueille des données provenant de milliers de capteurs et utilise des modèles d'apprentissage automatique pour prédire les besoins en refroidissement. En ajustant les paramètres de refroidissement de manière dynamique, Google a réussi à réduire de 40 % l'énergie utilisée pour le refroidissement et à améliorer de 15 % l'efficacité globale du centre de données. Ces améliorations ont non seulement permis de réaliser des économies, mais aussi de réduire considérablement l'empreinte carbone de Google, conformément à ses objectifs en matière de durabilité.

75. De même, Telus et l'Institut Vector se sont associés pour améliorer l'efficacité énergétique des centres de données de Telus à l'aide d'un système d'optimisation énergétique piloté par l'IA (EOS). Ce système, fondé sur l'apprentissage par renforcement basé sur un modèle a été conçu pour affiner les systèmes de CVC, en optimisant le contrôle de la température en fonction des conditions en temps réel et des prévisions météorologiques. Lors d'un essai pilote, le système d'optimisation énergétique a permis de réduire la consommation d'électricité de près de 12 % par an. En outre, en diffusant leur algorithme, Telus et l'Institut Vector ont permis à d'autres organisations d'adopter ces techniques innovantes, favorisant ainsi des économies d'énergie et des avantages environnementaux plus importants.

76. Ces études de cas illustrent le pouvoir de transformation de l'IA pour rendre les centres de données plus durables. En utilisant l'IA pour les ajustements prédictifs et l'optimisation des opérations, les entreprises peuvent réaliser des économies d'énergie substantielles, réduire les coûts opérationnels et contribuer aux efforts mondiaux de réduction des émissions de carbone. Les réussites de Google et la collaboration entre Telus et l'Institut Vector sont des exemples convaincants de la manière dont les technologies avancées peuvent répondre à certains des défis environnementaux les plus urgents à relever pour l'industrie.

VIII. Conclusions et recommandations à l'intention des décideurs

77. La figure I a pour objet de mettre en contexte les domaines qui nécessitent un soutien politique fort pour accélérer les progrès de l'IA, tout en faisant preuve de suffisamment de prudence pour garantir justice et équité à toutes les parties prenantes et à tous les bénéficiaires.

78. Les politiques peuvent soutenir l'intégration rationnelle de l'IA dans le secteur de l'électricité pour les domaines suivants :

- a) L'éducation :
 - i) Dans tous les domaines d'application identifiés dans le présent document, la main-d'œuvre du secteur de l'électricité devra acquérir un certain niveau de compétences pour pouvoir utiliser avec succès les technologies de l'IA, qu'il s'agisse des planificateurs, des administrateurs, des opérateurs de marché et des techniciens de terrain. Des compétences en mathématiques et en informatique sont indispensables pour développer de nouveaux modèles d'IA optimisés. L'intégrité et la moralité sont des notions qui devront être inculquées au fur et à mesure que ces compétences seront enseignées à la prochaine génération de développeurs d'IA et qu'elles seront affinées ;
 - ii) Il est indispensable d'acquérir des compétences d'expert dans les domaines numérique et électrotechnique afin d'aligner efficacement les objectifs stratégiques du réseau électrique sur la mise en œuvre des systèmes d'IA. Cette combinaison de compétences fait actuellement défaut, ce qui oblige les gestionnaires de réseau à faire appel à des services de conseil coûteux, qui gonflent le coût des efforts de numérisation. En outre, il est difficile d'attirer des professionnels du numérique dans le secteur de l'électricité, car nombre d'entre eux préfèrent des postes plus rémunérateurs dans celui des technologies de l'information ;
 - iii) Pour répondre aux inquiétudes concernant les pertes d'emplois dues au déploiement des systèmes d'IA, il faut investir massivement dans la formation continue et le développement d'une main-d'œuvre prête pour l'avenir. Il est essentiel de veiller à ce que le personnel en place puisse s'adapter aux nouvelles technologies et aux nouveaux flux de travail pour que la transition se fasse en douceur et de manière équitable ;

- iv) Pour relever ces défis il est recommandé de :
 - a. Promouvoir des initiatives d'apprentissage tout au long de la vie afin de doter les professionnels des compétences nécessaires pour naviguer dans un paysage technologique en constante évolution ;
 - b. Nouer des partenariats transversaux entre les acteurs du secteur de l'énergie, les fournisseurs de technologies et les universités afin de faciliter le transfert de connaissances et de favoriser le déploiement d'applications d'IA dans le secteur de l'électricité.
- b) Données :
 - i) Dans le nouveau paysage des mégadonnées qui sont toujours plus volumineuses, les possibilités de former des modèles avancés pour comprendre des modèles plus granulaires dans la chaîne de valeur énergétique (par exemple, la consommation d'énergie, le comportement des utilisateurs, les alarmes des infrastructures, les pannes d'équipement) progressent proportionnellement aux facteurs du marché (par exemple, la croissance de l'informatique en nuage, l'amélioration de l'expérience client, l'automatisation des tâches manuelles). Ces progrès doivent être compris pour être pleinement intégrés. Il s'agit notamment d'appliquer des normes, des politiques et des réglementations habilitantes qui donnent la priorité à l'innovation et à l'interopérabilité tout en tenant compte des risques liés à la cybersécurité et à la confidentialité des données. L'identification des applications intersectorielles des données, la garantie de la provenance des données, la protection et la promotion de la démocratisation des données de vérité terrain et de jeux de données d'entraînement propres et complets, et la garantie de la sécurité des données sont autant de facteurs qui peuvent contribuer au succès de l'IA.
- c) Réglementation et incitations économiques :
 - i) L'adoption de l'IA nécessite des investissements importants de la part des opérateurs d'électricité, principalement en raison de la nécessité de relever les défis liés au réseau électrique, tels que l'intégration des sources d'énergie renouvelables. Actuellement, ceux-ci sont souvent relevés à l'aide de stratégies conventionnelles d'expansion de la capacité du réseau plutôt qu'en investissant dans l'infrastructure numérique, qui pourrait accroître la flexibilité du réseau et minimiser les coûts d'expansion. Cette préférence résulte largement de cadres réglementaires qui n'incitent pas suffisamment au développement des réseaux et à l'innovation, ce qui rend les investissements numériques moins attrayants et moins rémunérateurs. Pour y remédier, plusieurs mesures directes et indirectes peuvent être recommandées :
 - a. Mesures directes :
 - i. Accroître le financement de l'innovation : il est essentiel de prévoir des incitations financières plus importantes pour les projets innovants afin de stimuler l'investissement dans les technologies de l'IA. En offrant une meilleure rémunération pour des projets qui portent des solutions innovantes et des avancées technologiques, les régulateurs peuvent inciter les gestionnaires de réseaux électriques à accorder la priorité aux initiatives de numérisation ;
 - ii. Requalifier les dépenses d'infrastructure numérique en dépenses d'investissement : le fait de considérer les investissements numériques comme des dépenses d'investissement plutôt que comme des dépenses d'exploitation permet aux opérateurs de réseaux électriques d'amortir les coûts sur une période plus longue, ce qui rend ces investissements plus viables sur le plan financier. Cette approche aligne les investissements numériques sur les processus traditionnels de

planification des immobilisations et de recouvrement des capitaux, les intégrant ainsi dans les stratégies financières plus larges des gestionnaires de réseau.

b. Mesures indirectes :

i. Élaborer des indicateurs de performance spécifiques : créer des indicateurs de performance pour mesurer les avantages de la numérisation, tels que l'amélioration de l'efficacité de la gestion des flux et la réduction des pertes dans le système. Ces indicateurs peuvent constituer la base d'un système de récompense basé sur la performance, incitant les opérateurs à adopter des technologies numériques et des applications d'IA avancées qui permettent d'améliorer véritablement l'efficacité opérationnelle et la qualité du service ;

ii. Encourager la maintenance prédictive et la surveillance de l'état des équipements, promouvoir l'adoption de pratiques de maintenance prédictive et de surveillance de l'état des équipements, à l'aide de technologies avancées d'analyse de données et de capteurs pour prévoir les défaillances potentielles et évaluer l'état des biens en temps réel. Cette approche proactive permet de prolonger la durée de vie des actifs, d'optimiser les calendriers de maintenance et de réduire les coûts opérationnels. En passant d'une maintenance réactive à une maintenance préventive, les opérateurs peuvent garantir une fiabilité et une efficacité accrues du réseau tout en favorisant l'adoption de technologies numériques innovantes ;

iii. Introduire des systèmes de rémunération pour l'exploitation et la maintenance : la mise en œuvre de systèmes offrant des incitations financières pour l'entretien et la modernisation des actifs au-delà de leur période d'amortissement encourage les opérateurs à privilégier la durabilité et l'efficacité à long terme des éléments d'actif plutôt que leur remplacement prématuré. En offrant des récompenses pour l'allongement de la durée de vie des actifs, les régulateurs peuvent favoriser une meilleure utilisation des actifs et l'optimisation des performances tout en encourageant indirectement les investissements dans les technologies numériques.

d) Avantages et obstacles :

i) Les progrès évoqués précédemment peuvent à la fois favoriser et entraver la bonne application de l'IA. Ils ne constituent pas non plus la seule solution à la transformation numérique et à la transformation des données dans le secteur de l'énergie, car de nombreuses autres solutions sont possibles. Pour ce faire, un ensemble complet d'outils et de techniques ainsi que des politiques pour soutenir leur utilisation seront nécessaires. De nouvelles recherches devront être menées pour identifier et encadrer les domaines dans lesquels les technologies de l'IA peuvent bénéficier davantage au secteur de l'électricité et au secteur de l'énergie en général dans le cadre du Programme de développement durable à l'horizon 2030. Des travaux supplémentaires sont également nécessaires pour s'assurer que les obstacles à une bonne utilisation de l'IA sont identifiés et que des solutions d'atténuation sont possibles et peuvent être mises en œuvre.

79. Inversement, il convient de noter que les technologues peuvent aider les décideurs politiques de la manière suivante :

a) Utilisation du « langage technologique » dans le contexte approprié – Les technologues ont tendance à utiliser un langage court lorsqu'ils parlent de leur domaine

d'expertise avec leurs collègues. En effet, cela est utile lorsque l'on discute d'un sujet complexe entre experts. Il peut être difficile de s'y retrouver pour ceux qui utilisent la technologie pour la première fois. Une meilleure traduction est nécessaire pour s'assurer que les personnes qui ne sont pas des spécialistes de la technologie puissent participer à la conversation de manière équitable. Potentiellement, cela pourrait faire partie du processus d'éducation évoqué plus haut ;

b) Conscience du contexte – L'IA, comme toute autre technologie, n'est pas une solution miracle et ne résoudra pas à elle seule tous les problèmes du secteur de l'énergie. Les technologues peuvent se passionner pour une solution donnée. Comprendre de manière impartiale le contexte dans lequel la technologie est appliquée aidera toutes les parties prenantes dans le cadre des échanges ;

c) Naviguer dans le paysage de la désinformation – Les technologies qui semblent futuristes comme l'IA font l'objet d'une désinformation assez importante. Il peut être utile de comprendre ce qu'est l'IA et ce qu'elle n'est pas. Comprendre cela de manière interactive et concrète peut accélérer l'acceptation de l'IA en tant que technologie pour ceux qui ne sont pas encore convaincus de son applicabilité.
