Deutsch-Französische Energieplattform
Plateforme énergétique franco-allemande

dena
Agence allemande de l'énergie

ANALYSE dena

Intelligence artificielle : du buzz à la réalité dans le secteur de l'énergie

Analyse approfondie des champs d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie

Mentions légales

Éditeur :
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tél. : +49 (0)30 66 777 - 0
Fax : +49 (0)30 66 777 - 699
Mail : info@dena.de
Site Internet : www.dena.de

Auteurs :
Lisa Kratochwill, dena
Philipp Richard, dena (chef de projet)
Linda Babilon, dena
Felix Rehmann, dena
Sara Mamel, dena
Dr Sebastian Fasbender, dena

Experts :
Dr Marian Klobasa, Institut Fraunhofer de recherche sur les systèmes et l'innovation (ISI)
Sabine Pelka, Institut Fraunhofer de recherche sur les systèmes et l'innovation (ISI)
Dr Patrick Plötz, Institut Fraunhofer de recherche sur les systèmes et l'innovation (ISI)
Dr Ludwig Einhellig, Deloitte
Johanna Kappl, Deloitte
Kamila Behrens, Deloitte

Mise en page de la couverture :
Heimrich & Hannot GmbH

Crédit iconographique de la couverture :
Arrière-plan vectoriel créé par Starline – de.freepik.com

Date :
08/2020

Tous droits réservés. Utilisation soumise à l'approbation de la dena.

La présente analyse a été réalisée dans le cadre du projet de la dena « EnerKI – Utilisation de l'intelligence artificielle pour optimiser le système énergétique ». Ce projet est soutenu par le ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie sur décision du Parlement allemand.

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Sommaire

Mentions légales **1**

Sommaire **2**

Avant-propos Hub France IA **4**

Avant-propos dena **6**

Résumé analytique **8**

1 L'engouement pour l'intelligence artificielle **16**

1.1 L'IA figure déjà à l'ordre du jour de la politique européenne 18

1.2 Développer des stratégies de mise en pratique 19

2 Les nombreux défis et opportunités de l'IA dans le secteur de l'énergie **21**

2.1 De nouveaux défis pour le système énergétique d'aujourd'hui 21

2.2 Les neuf champs d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie 21

2.2.1 Prévisions 23

2.2.2 Optimisation de l'exploitation 27

2.2.3 Optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques 30

2.2.4 Maintenance prédictive 33

2.2.5 Maintenance, réparation et démantèlement 35

2.2.6 Mesures de sécurité 36

2.2.7 Participation simplifiée des consommateurs actifs 38

2.2.8 Individualisation de produits et mesures marketing 39

2.2.9 Automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution 41

3 Évaluation des applications de l'IA dans le secteur de l'énergie **45**

3.1 Évaluation technique 46

3.1.1 Évaluation technique générale de tous les champs d'application 47

3.1.2 Particularités techniques des champs d'application 50

3.2 Évaluation économique 61

3.2.1 Évaluation économique générale de tous les champs d'application 63

3.2.2 Particularités économiques des champs d'application 67

3.3 Évaluation réglementaire 80

3.3.1 Évaluation réglementaire générale de tous les champs d'application 84

3.3.2 Particularités réglementaires des champs d'application 93

3.4 Évaluation sociale 118

3.4.1 Évaluation sociopolitique générale de tous les champs d'application 120

3.4.2 Particularités sociales des champs d'application 122

4 Bilan et perspectives 133

4.1 Regroupement de tous les champs d'application 133

4.2 Les prochaines actions à entreprendre pour l'IA dans le secteur de l'énergie 138

4.2.1 Pérennisation de l'IA dans le secteur de l'énergie : une mobilisation nécessaire à tous les niveaux 138

4.2.2 Convertir les défis en opportunités 146

À propos de la plateforme 152

Liste des figures 153

Liste des tableaux 156

Références bibliographiques 157

Abréviations 166

Avant-propos Hub France IA

En lien avec les réflexions développées à l'occasion de la rédaction des études de ce rapport, nous souhaitons mettre l'accent sur les enjeux de l'IA au cœur de cette transition :

- Le secteur de l'énergie est en pleine transformation digitale. Celle-ci devient aujourd'hui une nécessité. Son accélération est vitale pour l'ensemble de l'économie et le recours accru à la donnée et l'IA permet d'en tirer les bénéfices.
- La transition énergétique passe par l'intégration des énergies renouvelables, largement motivée par le développement durable, et impose que l'usage de l'IA soit lui-même durable. Cela passe par une intensification des travaux de recherche et développement axés sur la modélisation des cycles globaux de la production et le pilotage des systèmes de gestion de l'énergie par l'IA, en lien aussi bien avec le hardware, le software, les architectures IT et les organisations fonctionnelles des réseaux d'énergie, afin de bien pouvoir appréhender l'impact environnemental de l'utilisation de l'IA.
- L'application de l'IA au secteur de l'énergie requiert des approches différenciées selon les étapes concernées dans la chaîne de valeur, ainsi que le démontre de manière exemplaire l'approche méthodologique retenue par les études de dena. Ces approches visent à combiner l'expertise métier et la performance technologique. La démarche est critique pour se démarquer des solutions apportées par les acteurs dominants du numérique. Cette approche hybride de l'IA est un véritable enjeu. Elle permet de tendre vers un usage de l'IA qui intègre au plus tôt l'humain dans la conception des systèmes et est un moyen de répondre aux défis de l'évolution des métiers du secteur dès lors que la relation entre l'homme et l'IA devient clé.
- C'est dans ce contexte que l'éthique, posée au niveau européen et des Etats membres, comme condition sine qua non d'une utilisation massive de l'IA, constitue bien le principe fondamental pour penser cette hybridation et ainsi poser un cadre propice à une appropriation accrue en confiance de l'IA par les acteurs des différents secteurs de l'économie.
- Au-delà des cas d'applications croissants de l'IA au secteur de l'énergie, développés par les entreprises du secteur elles-mêmes, l'intensification de l'usage de l'IA passe par une implication forte des pouvoirs publics et des gouvernements pour soutenir l'avènement d'une économie de la donnée. Accès aux données, qualité, conditions du stockage, du partage sécurisé etc. sont autant d'aspects pour lesquels les autorités ont un rôle de régulation, d'arbitrage et d'impulsion à jouer.
- A ce titre le rôle des pouvoirs publics pour soutenir le développement d'infrastructures numériques permettant une utilisation sûre et souveraine de l'IA est décisif. Le sujet de la dépendance de l'Europe face à des infrastructures digitales et dédiées à l'IA est encore plus sensible quand ces infrastructures seront amenées à piloter l'énergie, la ressource même au cœur de toute l'économie productive.
- Enfin, nous retenons que continuité et engagement sont au cœur de la réussite de cette transition intégrée, notamment dans ce contexte d'évolution technologique rapide qui est le nôtre aujourd'hui.

Aussi soutenons-nous l'idée que, entre autres thèmes, la diffusion de bonnes pratiques entre acteurs industriels, l'échange sur le rôle optimum des pouvoirs publics en termes de cadrage stratégique et réglementaire, la coopération sur le partage de données et les conditions pour celui-ci, sont indispensables et doivent être soutenus fermement et régulièrement. La coopération franco-allemande, par le biais d'accords historiques comme celui entre ADEME et dena, est un des moyens forts de valoriser les sujets IA et transition énergétique intégrée au niveau européen. Cette collaboration vivante et renouvelée est une chance pour répondre au rythme requis par la compétition mondiale et le caractère crucial de la ressource énergétique.

En tant que représentant de l'écosystème IA français, le Hub France IA est heureux de pouvoir contribuer activement à cette intégration européenne et nous nous engageons auprès de nos membres et partenaires pour initier, porter, relayer les actions concrètes permettant une intégration rapide et efficace de l'IA au secteur de l'énergie.

Quelques pistes de travail peuvent d'ores et déjà être envisagées dans le cadre de la coopération franco-allemande et l'association d'autres partenaires européens :

- Le soutien aux démarches de mutualisation des données, à l'instar de ce que le ministère de l'économie français a lancé en 2020 avec l'AAP pour la Mutualisation des données, donnant lieu à la naissance de nombreux consortiums sur différents secteurs et technologies (logistique, agriculture, voix …).
- L'étude approfondie des conditions propices à l'industrialisation de premiers cas d'usages et à un retour sur investissement approprié, ainsi que des critères nécessaires à son évaluation,
- La poursuite de travaux engagés sur la modélisation de l'impact environnemental de l'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie,
- L'intensification des travaux sur la sécurité et la certification de l'IA, dans le cadre des jalons importants déjà posés au plan franco-allemand, pour débloquer son application au sein des domaines sensibles du secteur de l'énergie,
- Enfin l'approfondissement des travaux sur la dimension « ressources humaines » et l'évolution des métiers sous l'effet de l'hybridation pour initier un modèle européen alternatif à la concurrence internationale et de confiance, en réaffirmant le principe régulateur d'une IA éthique.

L'intégration de l'IA dans le secteur de l'énergie est la clé de voûte pour permettre à l'Europe tout à la fois de tenir ses objectifs en matière de développement durable et de constituer un écosystème de la donnée et de l'IA souverain.

Gaelle Pinson
Directrice générale (Hub France IA)

Avant-propos dena

Numérisation et intelligence artificielle : de la nécessité à la pérennité

La numérisation du secteur de l'énergie bat déjà son plein. Elle est portée par des débats sur le développement durable et l'efficacité énergétique des technologies numériques, qui touchent et bousculent presque tous les domaines du secteur de l'énergie. Toutefois, il est très important d'examiner les projets de numérisation en général et les projets concernant l'IA en particulier sous deux angles distincts.

D'une part, la numérisation de presque toutes les étapes de la chaîne de valeur du secteur est tout simplement nécessaire. Autrement, comment coordonner à l'avenir des millions de producteurs, de systèmes de stockage et de consommateurs décentralisés pour assurer l'approvisionnement énergétique même dans des structures extrêmement décentralisées ? De même, comment techniquement concevoir un quelconque marché 2.0 qui puisse générer, transmettre et traiter les signaux du marché à la seconde près et mettre en œuvre des systèmes de contrôle réactifs, partiellement ou totalement automatisés, au service de la stabilité du réseau ? Comment encore mettre au point un système énergétique intégré qui relie les secteurs des transports, du gaz, du chauffage et de l'électricité, qui exploite au mieux la production fluctuante d'énergies renouvelables et qui soit étroitement connecté à nos partenaires européens ?

La réponse est claire : sans interconnexion numérique, notamment à l'aide de compteurs intelligents (ou *smart meters*), mais également d'innombrables capteurs, couplés à de puissants centres de calculs, la transformation du système énergétique ne sera pas possible. Par ailleurs, on assiste à l'apparition de nouveaux secteurs qui promettent des marchés attractifs à fort potentiel de croissance pour les produits et services numériques.

D'autre part, nous aurons besoin d'avoir un débat en temps opportun sur la durabilité de la numérisation et de l'intelligence artificielle. Car ce n'est qu'en nous assurant que les principes de base de l'économie circulaire et du développement durable sont respectés, tant pour la fabrication de matériel informatique que pour le développement de logiciels, que nous doterons de bases solides le système énergétique numérique de demain.

L'ordre des mesures est décisif

D'une manière générale – et cela montre que nous sommes sur la bonne voie –, les riches et nombreux débats de ces dix dernières années ont permis de remettre un certain nombre de choses à leur place. Nous avons compris qu'une nouvelle conception du marché est subordonnée aux possibilités techniques des systèmes numériques en arrière-plan. Nous savons désormais qu'un système d'information et de communication pour le secteur de l'énergie peut être mis en place de manière tout aussi sûre que le système énergétique physique lui-même. Par conséquent, il convient également de se concentrer sur ce point. Afin d'asseoir sur des bases solides ce nouvel environnement de procédés, de produits et de services dans le secteur de l'énergie, les responsables politiques et les acteurs du secteur doivent se concentrer davantage sur l'infrastructure numérique. En parallèle, il est essentiel d'ouvrir un débat sur le développement durable en vue de concevoir des logiciels et du matériel informatique à faible consommation en ressources et en énergie. C'est ainsi que la transition énergétique intégrée pourra faire un grand bond en avant vers l'avenir : par le progrès technologique et l'innovation, en proposant un modèle au reste du monde, et par une approche qui considère les individus comme partie intégrante des nouvelles solutions.

La dena, pionnière de la mise en pratique des technologies innovantes

En tant qu'Agence allemande de l'énergie, nous faisons également évoluer en partie notre rôle. Ces dernières années, nous avons réussi à préparer le terrain de la numérisation et, en collaboration avec le monde politique et les acteurs du marché, à dépassionner certains sujets liés au numérique. À présent, c'est à la réussite de la transition énergétique que nous devons œuvrer. À la demande du ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie (BMWi), nous allons tester des technologies telles que la *blockchain* et l'intelligence artificielle sur un groupe élargi d'acteurs au sein du nouveau Future Energy Lab, laboratoire de mise en application des technologies numériques dans le secteur de l'énergie. Le présent rapport d'analyse doit d'ailleurs jouer un rôle décisif. En effet, il analyse le potentiel de l'intelligence artificielle dans le secteur de l'énergie en fournissant des exemples pratiques et des recommandations sur les actions à mener et ouvre la voie à de nombreux projets d'application de cette technologie allant dans le sens du développement durable et de la transition énergétique intégrée. Nous tenons ici à remercier tout particulièrement le BMWi, qui a soutenu activement nos efforts et a permis à ce rapport de voir le jour.

Nous restons engagés et vous souhaitons une lecture inspirante !

Très cordialement,

Andreas Kuhlmann
Président-directeur général
de l'Agence allemande de l'énergie (dena)

Philipp Richard
Chef de l'équipe Systèmes énergétiques et numérisation
de l'Agence allemande de l'énergie (dena)

Résumé analytique

L'intelligence artificielle (IA) a toujours le vent en poupe. En Allemagne, sur la seule année 2019, les ventes de produits et services ayant directement recours à l'IA ont avoisiné les 60 milliards d'euros, tous secteurs confondus (ZEW, 2020). De technologie futuriste presque inaccessible, l'IA se mue inexorablement en réalité technique. En conséquence, les débats sur le sujet sont aujourd'hui davantage axés sur ses applications. Ce changement est important et nécessaire : l'IA a été abordée de manière bien trop générale ces dernières années. D'une part, elle fut considérée à outrance comme une panacée pour de nombreux secteurs. D'autre part, elle fut pointée du doigt comme une technologie à haut risque, supprimant l'influence directe de l'homme dans de nombreux processus décisionnels importants. L'approche qui prévaut actuellement est plus pertinente, car elle se concentre aussi bien sur les avantages que sur les risques dans tous les secteurs concernés et qu'elle évalue au cas par cas aussi bien les perspectives économiques, politiques et sociales que celles relatives à la sécurité. Cette évolution est tout aussi essentielle qu'indispensable. En effet, les différentes formes d'IA couvrent un vaste éventail d'algorithmes statistiques basés sur l'apprentissage automatique et opérant sur des ordinateurs à la puissance de calcul phénoménale. Ces algorithmes peuvent incontestablement avoir une forte influence sur les activités, fonctions et responsabilités des êtres humains dans tous les domaines de la vie.[1]

L'IA occupe une place grandissante dans le secteur de l'énergie, notamment par son concours à la réussite de la transition énergétique intégrée. Le taux de pénétration actuel du secteur est plus élevé que prévu et continuera probablement sa progression dans les années à venir. Un rapport très récent sur le thème de l'IA dans le secteur de l'énergie, publié par la Fédération allemande des secteurs de l'énergie et de l'eau (BDEW), fait le même constat (BDEW, 2020). Toutefois, cette évolution ne se déroule pas de la même manière à tous les niveaux du système énergétique. Ainsi, certains champs d'application (ou cas d'utilisation) adapteront cette nouvelle technologie bien plus rapidement et profondément que d'autres.

Le plus gros potentiel de l'IA réside dans son utilisation pour optimiser des systèmes et processus complexes et ainsi réduire de gros blocs de coûts ou bien augmenter les recettes. Ces avantages reflètent une attente classique vis-à-vis de la numérisation. Ils recèlent à la fois le potentiel de « révolutionner » le secteur de l'énergie, en permettant des avancées technologiques de rupture grâce à l'IA, et de contribuer ainsi à l'accélération et à la réussite de la transformation du système énergétique.

La méthodologie de la présente analyse se base sur le rapport initial publié par la dena en septembre 2019, intitulé « L'intelligence artificielle pour la transition énergétique intégrée : classification du statu quo technologique et structuration des champs d'application dans le secteur de l'énergie ». Le présent rapport évalue les cas d'utilisation qui y sont recensés (neuf champs d'application potentiellement adaptés à l'IA dans le secteur de l'énergie) en termes techniques, économiques, réglementaires et sociaux, et donne une orientation globale en les classant en fonction de leur niveau de développement technique, de leur évaluation économique et de leur contribution à la transition énergétique intégrée. La figure 1, qui découle des analyses effectuées, présente les avantages respectifs des champs d'application étudiés et pointe les domaines où des actions sont à mener en matière sociopolitique et réglementaire.

[1] Cf. dena, 2019.

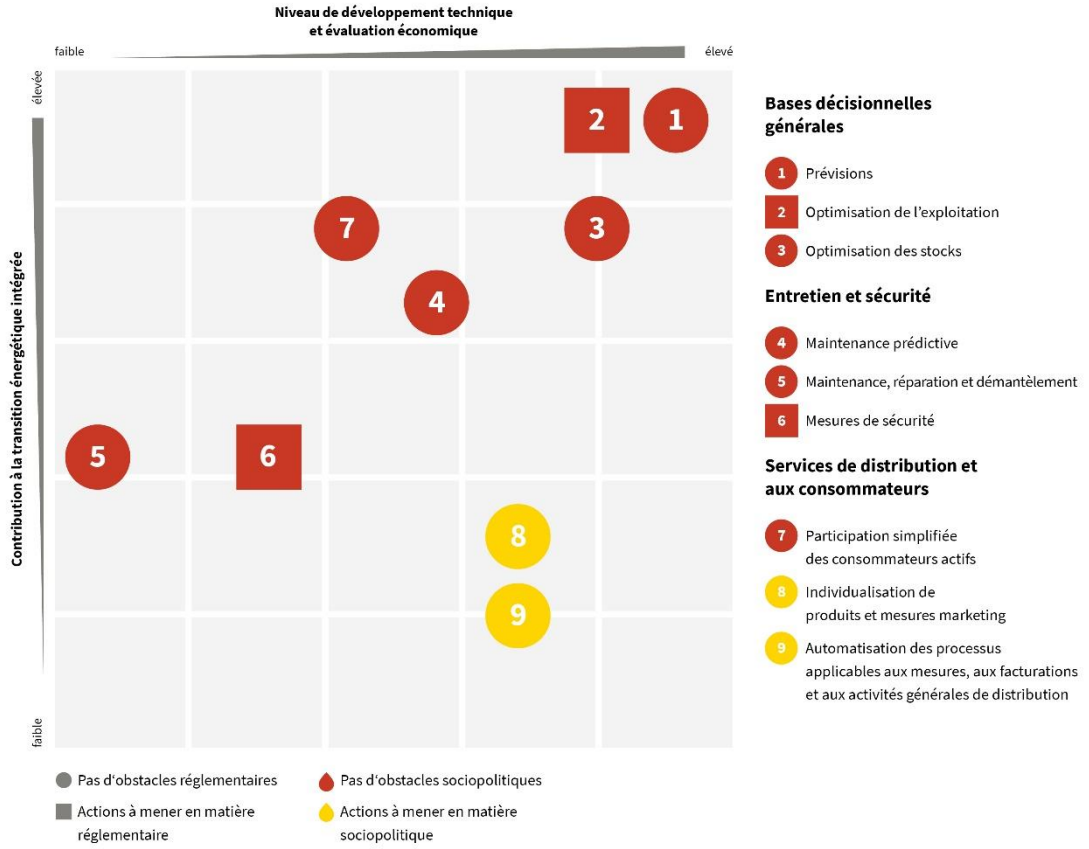

Figure 1 : évaluation générale des champs d'application

Cluster « bases décisionnelles générales »

L'idée d'utiliser l'IA comme base générale d'aide à la décision est aujourd'hui largement répandue. Son application aux différentes étapes de la chaîne de valeur du secteur de l'énergie peut servir à anticiper plus précisément l'utilisation du réseau tout comme à planifier l'alimentation et la production. Un autre objectif vise à obtenir des données permettant d'évaluer les décisions d'investissement prises pour l'optimisation de la consommation et pour l'exploitation des réseaux eux-mêmes. Dans ce *cluster*, les champs d'application concrets de l'IA sont les **prévisions**, l'**optimisation de l'exploitation** ainsi que l'**optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques**. L'IA sert ici de base à de nombreux autres processus du secteur de l'énergie et apporte ainsi une contribution importante à la transition énergétique intégrée. Si l'on interprète les processus de ce *cluster* comme une sorte de service de base pour les champs d'application qui en découlent, on comprend alors l'extrême importance de la fiabilité de leur mise en œuvre en raison de leur fort impact sur les processus ultérieurs. L'actualité, la quantité et la qualité des données jouent par conséquent un rôle capital. Le potentiel technique et économique de ce groupe est globalement très élevé.

Le défi principal réside dans la gestion des infrastructures critiques (p. ex. garantir l'équilibre entre l'offre et la demande au niveau du marché et du réseau, éviter et éliminer les surcharges du réseau dues à des goulots d'étranglement, parer aux attaques informatiques sur le système énergétique), en particulier dans l'exploitation du réseau, où l'on peut s'attendre à une utilisation étendue de l'IA.

En raison de la décentralisation croissante du paysage énergétique (petits producteurs, consommateurs flexibles et systèmes de stockage intégrés), on observe une augmentation de la quantité de données à traiter ainsi que des contraintes imposées au réseau électrique. À cet égard, l'accès à des données à jour sur la situation du réseau sera crucial pour pouvoir exploiter tout le potentiel de l'IA, même si les données nécessaires font aujourd'hui encore largement défaut à certains niveaux du réseau.

La situation est différente aux étapes de production et de négoce de la chaîne de valeur, pour lesquelles les données nécessaires sont très largement disponibles (p. ex. prévision des prix à partir de données primaires telles que des séries chronologiques sur la charge et la production d'énergies renouvelables (EnR) de plusieurs années météorologiques, conclusions relatives aux stratégies d'optimisation du stockage au regard de séries chronologiques des prix estimés). L'utilisation de l'IA à ce niveau peut apporter une contribution considérable à la transition énergétique intégrée tout en générant une plus-value économique pour les entreprises. Ainsi, les applications de ce *cluster* aux étapes de production et de négoce sont aujourd'hui déjà établies.

***Cluster* « entretien et sécurité »**

C'est avant tout aux étapes de production et de transport de la chaîne de valeur que l'utilisation de l'IA dans ce *cluster* peut contribuer à garantir la sécurité de l'exploitation et à réduire les temps de panne des installations de production d'énergie. Le recours aux drones et aux robots dans les champs d'application **maintenance prédictive** et **maintenance, réparation et démantèlement** augmente le niveau de complexité, ce qui nécessite des investissements de départ élevés. Néanmoins, dans la mesure où le coût des robots de maintenance, des systèmes d'assistance intelligents et des drones est appelé à diminuer, les processus de maintenance assistés par l'IA devraient également contribuer à réduire les coûts (p. ex. en évitant les temps de panne et d'arrêt indésirables des installations, en réduisant les risques pour les techniciens de maintenance et en diminuant les coûts d'entretien). En termes de **mesures de sécurité**, ce sont les exigences réglementaires relatives à la sécurité des données qui représentent le plus gros défi. Toutefois, en raison de la nécessité de renforcer la résilience du système énergétique, la mise en œuvre de l'IA à ce niveau constitue une condition préalable importante à son application dans d'autres champs d'application (comme la participation simplifiée des consommateurs actifs ou encore l'exploitation intelligente du réseau avec un grand nombre de producteurs et de consommateurs flexibles).

La question des types de données et des exigences correspondantes en matière de protection des données joue également un rôle déterminant. La plupart des applications de l'IA dans le secteur de l'énergie sont basées sur des données techniques enregistrées par des capteurs et ne sont dans cette mesure pas sensibles en termes de droits des personnes. Cependant, lorsque l'IA a effectivement accès à des données à caractère personnel, il est impératif de garantir un maximum de transparence et d'intelligibilité. D'un point de vue social, la contribution de l'IA à la transition énergétique intégrée dans les champs d'application en question n'a de sens que si les avantages de sa mise en œuvre sont clairement identifiables et que le fonctionnement de l'IA est à la fois transparent et intelligible pour l'utilisateur final.

***Cluster* « services de distribution et aux consommateurs »**

Les applications de l'IA de ce *cluster* visent à améliorer les services aux consommateurs et à renforcer les relations clients. Par conséquent, l'utilisation de données à caractère personnel est plus importante que dans les autres *clusters* et impose par là même de porter une plus grande attention aux questions sociales et réglementaires. Les applications en question comprennent la **participation simplifiée des consommateurs actifs**, l'**individualisation de produits et mesures marketing** ainsi que l'**automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution**.

L'analyse révèle le potentiel élevé du recours à l'IA dans ces champs d'application, notamment pour la participation simplifiée des consommateurs actifs, qui ne serait dans la plupart des cas économiquement pas rentable sans l'IA (p. ex. gestion de l'énergie pour accroître l'autoconsommation des systèmes de batteries photovoltaïques (PV) des particuliers, identification des gains d'efficacité potentiels à petite échelle et traitement automatisé de la vente d'électricité autoproduite). Grâce à l'IA, les processus établis du secteur de l'énergie sont rendus également accessibles aux petits acteurs, ce qui leur permet d'interagir sur le marché de l'énergie.

Les données au centre du débat

Le présent rapport souligne que l'IA est souvent utilisée dans des processus qui, tous *clusters* confondus, pourraient en principe être appliqués sans cette technologie (comme la prévision de la production d'EnR ou encore le calcul des stratégies optimales d'investissement ou de stockage), mais dont le potentiel d'optimisation ainsi que les avantages d'une efficacité accrue et d'un coût par conséquent amoindri justifient l'investissement supplémentaire que suppose le déploiement de l'IA. L'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie permet de traiter plus de données (dans certains cas d'utilisation complexes, les données sont traitées pour la première fois) et ainsi d'obtenir des résultats plus pertinents et de meilleure qualité.

Le débat public entre experts de l'IA est marqué par des questions relatives à l'utilisation et à la disponibilité des données. En effet, la disponibilité des données s'est à ce jour révélée un facteur limitant dans certains domaines. Les dispositifs de mesure nécessaires n'étant que partiellement installés, il existe souvent un manque de données empiriques pour former les modèles. Par ailleurs, les données disponibles ne sont pas toujours d'une qualité suffisante ou bien ne peuvent pas être utilisées en raison de restrictions réglementaires. Et plus la qualité des données est mauvaise, plus il est difficile d'utiliser l'IA dans les champs d'application concernés. Les exigences élevées posées à l'IA, comparables à celles que l'on retrouve par exemple en robotique, entraînent en outre une augmentation des exigences en matière de données et compliquent ainsi sa mise en œuvre.

En ce qui concerne la protection et la sécurité des données, généralement considérées comme principaux freins à l'utilisation de l'IA, cette analyse porte un regard nuancé : dans la majorité des cas étudiés, le cadre réglementaire ne constitue pas un obstacle fondamental à l'utilisation des données. Cependant, dans certains cas, il existe à raison de fortes contraintes réglementaires en matière de protection des données personnelles. Ces contraintes ne représentent pourtant pas un critère d'exclusion pour l'utilisation de l'IA. Ici, il s'agit plutôt de travailler à une approche fondamentalement équitable et transparente, qui responsabilise les entreprises face à leurs obligations, mais également implique la mise en place d'outils permettant de contrôler la bonne utilisation des informations concernant les personnes et les sociétés, au moins de manière aléatoire.

Pérennisation de l'IA dans le secteur de l'énergie : une mobilisation nécessaire à tous les niveaux

L'analyse montre clairement que d'autres actions seront nécessaires afin de pouvoir déployer l'IA de manière adéquate et rentable dans tous les domaines du secteur de l'énergie et ainsi exploiter tout le potentiel de cette technologie au service de la transition énergétique intégrée. À ces fins, une synergie entre économie (É), politique (P) et recherche (R) est nécessaire. Les exemples de bonnes pratiques en usage dans d'autres pays sont également à prendre en compte.

Pour guider l'action des acteurs concernés, il est essentiel d'intégrer la complexité et la durée prévue de la mise en œuvre, tout comme l'estimation de la contribution à la transition énergétique intégrée qui en découle.

La figure 2 présente les recommandations d'action ayant un intérêt général majeur pour le secteur et identifie les principaux acteurs impliqués (cf. chapitre 4.2.1).

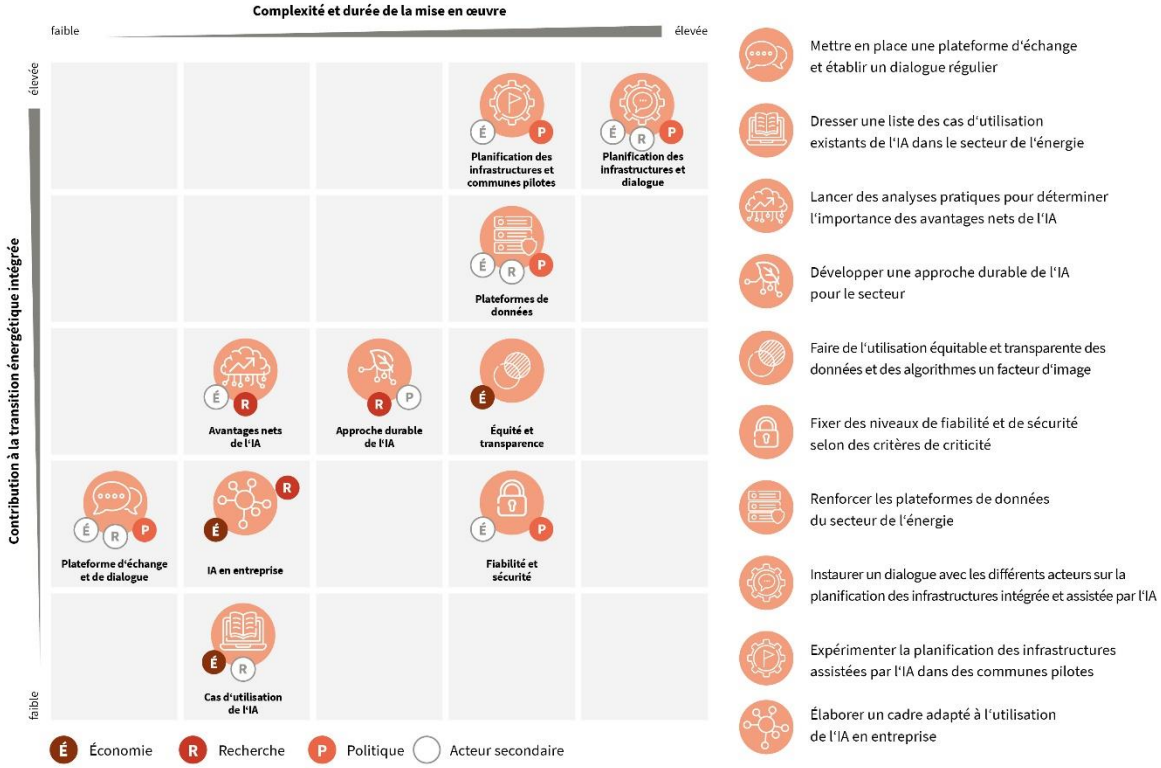

Figure 2 : classification des recommandations d'action générales[2]

- **Mettre en place une plateforme d'échange et établir un dialogue régulier :** Les premiers projets sur l'IA appliquée au domaine de l'énergie montrent que l'interconnexion des secteurs de l'énergie et du numérique est particulièrement décisive pour assurer le déploiement complet de l'intelligence artificielle. Dans cette optique, les acteurs établis du secteur de l'énergie devraient partager leur expérience et les jeunes start-ups, leurs solutions innovantes. Les échanges, à l'occasion de réunions virtuelles régulières, devraient être renforcés.
- **Dresser la liste des cas d'utilisation de l'IA existants dans le secteur de l'énergie :** Le recensement des cas d'utilisation concrets de l'IA existants dans le secteur de l'énergie doit permettre d'inspirer aux acteurs des secteurs de l'énergie et du numérique des applications possibles dans leurs domaines respectifs et de favoriser les échanges avec les acteurs qui ont déjà recours à l'IA sous la forme ou dans le but en question.
- **Réaliser des analyses pratiques pour déterminer l'importance des avantages nets de l'IA :** Sur la base d'une sélection d'exemples de processus concrets en projet ou déjà en place, les avantages nets des applications respectives de l'IA doivent être évalués ou, le cas échéant, calculés.

[2] Seules les parties prenantes directes sont indiquées (les acteurs principaux, en couleur, et les acteurs secondaires, en blanc), bien que d'autres acteurs puissent également être impliqués.

Ainsi, les économies potentielles de CO_2 et autres facteurs d'avantage doivent être comparés à la consommation accrue en ressources et en énergie à l'aide d'un scénario de référence et être analysés en vue d'une classification précoce des avantages nets.

- **Développer une approche durable de l'IA pour le secteur :** En collaboration avec les acteurs des secteurs de l'énergie et du numérique, il est nécessaire de développer une approche durable pour la mise en œuvre de l'IA. À travers des échanges réguliers, un groupe d'experts indépendants doit enrichir le débat de divers sujets liés à l'environnement, l'économie, l'innovation, la réglementation et la société.
- **Faire de l'utilisation équitable et transparente des données et des algorithmes un facteur d'image :** Il est nécessaire de mettre en place des procédés adaptés qui rendent accessible aux non experts en informatique la compréhension des exigences posées aux modèles d'IA en matière d'équité et de transparence. Les activités existantes des acteurs des secteurs de l'énergie et du numérique doivent être activement soutenues dans ce sens.
- **Fixer des niveaux de fiabilité et de sécurité de l'IA selon des critères de criticité :** En raison de leur criticité, les applications de l'IA dans le secteur de l'énergie doivent être évaluées par un organisme central. Sur la base de cette évaluation, des exigences en matière de certification sont à définir en collaboration avec les institutions compétentes.
- **Renforcer les plateformes de données du secteur de l'énergie :** Le développement d'une infrastructure de données performante et compétitive doit être accéléré pour garantir un accès à des données de haute qualité, nécessaires à la mise en œuvre de l'IA, et une utilisation sure et transparente de celles-ci. Par ailleurs, il est nécessaire de rendre possible un échange de données équitable et transparent dans le cadre à la fois concurrentiel et réglementé du secteur de l'énergie.
- **Instaurer un dialogue avec les différents acteurs sur la planification des infrastructures intégrée et assistée par l'IA :** Les conditions de base à la réalisation de projets d'infrastructures complexes à l'aide de l'IA sont une compréhension commune de toutes les parties prenantes et l'échange entre représentants des différents secteurs en collaboration avec des experts de l'IA. Une telle planification requiert une approche intégrée impliquant tous les secteurs d'infrastructure concernés (électricité, bâtiment, mobilité, construction, etc.).
- **Expérimenter la planification des infrastructures assistée par l'IA dans des communes pilotes :** La mise en application réelle des mesures de planification des infrastructures assistée par l'IA doit dans un premier temps être testée dans plusieurs communes pilotes. Les conclusions tirées de ces projets pilotes pourront ensuite servir de base aux recommandations pour la mise en œuvre d'une planification des infrastructures assistée par l'IA optimisée dans toute l'Allemagne.
- **Définir un cadre adapté à l'utilisation de l'IA en entreprise :** Afin d'identifier avec précision les stratégies d'optimisation possibles, il est nécessaire d'analyser les différents processus d'entreprise quant à leur potentiel d'automatisation par l'IA. Les mesures suivantes doivent aider les entreprises du secteur de l'énergie à se préparer aux futurs défis du recours à l'IA :
  - Renforcement des compétences en IA des collaborateurs et de la culture de l'expérimentation
  - Mise au point d'un processus de sélection analytique pour les nouveaux projets liés à l'IA
  - Intervention en entreprise d'ambassadeurs de l'IA pour permettre les transferts de connaissances
  - Regroupement des compétences relatives à l'IA dans un catalogue de mesures devant servir à la prise de décisions stratégiques et à la formation du personnel
  - Mise en place d'un système expert pour l'apprentissage autonome en entreprise

Convertir les défis en opportunités

Figure 3 présente des mesures qui, en complément des recommandations générales, doivent contribuer au bon développement des champs d'application identifiés dans le secteur de l'énergie. Les champs d'application concernés par plusieurs mesures sont associés à chacune d'elles sur le graphique. Celles-ci sont particulièrement axées sur la recherche appliquée.

Figure 3 : classification des recommandations d'action spécifiques à chaque champ d'application[3]

- **Extrapoler les implications des champs d'application de l'IA en usage dans d'autres domaines et secteurs :** À partir des nombreux cas d'utilisation déjà en usage et souvent même largement répandus dans l'industrie, il serait intéressant d'extrapoler les implications de la mise en œuvre de l'IA dans d'autres domaines du secteur de l'énergie et d'autres secteurs dans le cadre d'une série d'ateliers.
- **Renforcer l'utilisation de l'IA pour la maintenance et la sécurité à l'aide de données et de processus d'entraînement issus d'autres secteurs :** Afin de pallier le manque de données permettant d'identifier les situations critiques et les processus défaillants dans ces champs d'applications, notamment pour la formation de l'IA, il convient de s'appuyer sur des secteurs aux processus similaires pour compléter ou bien substituer les données disponibles.

[3] Seuls les champs d'application les plus pertinents sont indiqués, bien que d'autres domaines puissent également être concernés.

- **Identifier des approches alternatives pour la participation simplifiée des consommateurs actifs :** La participation des consommateurs actifs devrait grandement contribuer à la transition énergétique intégrée, bien qu'une hausse de cette participation ne puisse être envisagée qu'à moyen terme en raison du manque actuel de données. En effet, l'infrastructure technique de collecte des données est encore en cours d'installation. La recherche doit aider à identifier des démarches alternatives de collecte des données qui satisfassent aux exigences de fiabilité du secteur de l'énergie.
- **Analyse et évaluation des données de mesure sur l'état du réseau de distribution :** Si la répartition des systèmes de mesure entre consommateurs et producteurs est déjà définie par la loi sur la gestion des points de mesure (MsbG), l'installation de dispositifs de mesure et de capteurs dans le réseau de distribution nécessite une analyse préalable pour identifier les nœuds de réseau pertinents. Les dépenses liées à l'installation de systèmes de mesure sont à mettre en regard des économies découlant notamment du *redispatching* des installations de production et des consommateurs flexibles. À cet égard, il est logique d'inciter les gestionnaires de réseau à installer des dispositifs de mesure pour collecter des données et déterminer l'état du réseau.
- **Utiliser le *shadowing* pour valider des modèles et ainsi renforcer la confiance dans le réseau et accroître la cybersécurité :** Une opération de test temporaire menée en parallèle, appelée *shadowing*, permet de valider en amont des modalités alternatives d'exploitation des réseaux électriques et contribue ainsi à renforcer la confiance des consommateurs. Par l'identification précoce d'états critiques du réseau, le *shadowing* peut en outre servir à éviter les cyberattaques sur les infrastructures sensibles.
- **Accélérer et optimiser l'exploitation du réseau par la mise en place de systèmes prospectifs basés sur des algorithmes :** En matière de pilotage de réseau, les mesures de suivi basées sur l'IA et la gestion de l'injection assistée par l'IA sont confrontées à des obstacles à l'investissement. Malgré tout, une utilisation prospective et prédictive accrue de systèmes basés sur des algorithmes pour exploiter le réseau peut aider à anticiper les goulots d'étranglement.
- **Lancer des projets pilotes d'IA en vue d'un éventuel amendement du règlement sur la régulation incitative (ARegV) :** En ce qui concerne le cadre d'investissement des réseaux de distribution, les projets « vitrines » sont à privilégier. En effet, ces projets pilotes peuvent être utilisés pour déterminer à l'avance si un déploiement plus large de l'IA entraînera par exemple une réduction des coûts pour les gestionnaires de réseau. En se basant sur ces résultats, l'autorité de régulation peut ainsi prendre des décisions au cas par cas plus précises quant à l'homologation des prix dans la régulation des réseaux.

Les résultats de la présente analyse et les possibilités d'action identifiées ne laissent aucun doute sur les avantages d'un **démarrage rapide de projets concrets en phase pilote**. Pour faire progresser la technologie encore très jeune et en même temps déjà complexe de l'IA dans le secteur hautement technique et régulé de l'énergie, le partage des connaissances est indispensable. Dans cette optique, il est donc essentiel de former des équipes interdisciplinaires composées d'experts issus de divers domaines des secteurs du numérique et de l'énergie. Ainsi, chaque secteur pourra exploiter les connaissances de l'autre et des projets coopératifs pourront voir le jour. Ce n'est que de cette manière que **le secteur de l'énergie pourra exploiter tout le potentiel de l'IA** et ainsi **jouer un rôle important dans la transition énergétique intégrée**.

1 L'engouement pour l'intelligence artificielle

L'engouement pour l'intelligence artificielle (IA) dans le secteur de la technologie ne date pas d'hier. De grosses entreprises telles que Google, Amazon ou Baidu cherchent depuis des années à se positionner en leaders du secteur de l'IA. En effet, les quatre géants américains de la technologie Google, Apple, Facebook et Amazon ont à eux seuls racheté près de 40 start-ups travaillant sur l'IA entre 2010 et 2018, dont DeepMind, une start-up de l'IA dont l'objectif général et de comprendre l'intelligence (« *solve intelligence* ») et dont Google a fait l'acquisition en 2016 pour la modique somme de 400 millions de dollars – c'est à ce jour le plus gros rachat d'entreprise en Europe. L'équivalent chinois de Google, Baidu, exploite deux laboratoires de recherche et développement, situés dans la Silicon Valley aux États-Unis, qui se concentrent sur l'IA et les centres de données. Par ailleurs, de nombreux pays ont rendu publiques leurs stratégies nationales respectives en matière d'IA ces dernières années (dena, 2020).

Une chose est certaine : **l'intelligence artificielle est à la mode**. Même le ministre allemand de l'Économie Peter Altmaier s'exprimait déjà en ces termes en nombre 2018 au sujet de l'IA : « C'est une vraie mode à Berlin ! On ne peut pas échapper à ce sujet. » On se pose manifestement peu la question de savoir si l'IA n'est finalement pas qu'une mode qui, à l'instar de bien d'autres technologies, tombera bientôt dans l'oubli. Au contraire, la vitesse de développement de cette technologie et sa mise en place accaparent toute l'attention. Quand et à quelle vitesse l'IA se répandra-t-elle sur les différents marchés, quelles conditions lui seront imposées et quel degré de liberté lui sera accordé pour remplacer l'intelligence humaine dans les futurs domaines d'activités de tous les secteurs ? Le secteur de l'énergie doit tout particulièrement se poser ces questions.

L'IA transforme le secteur de l'énergie

Petit retour en arrière : en décembre 2018, le journal Die Welt titrait déjà « L'intelligence artificielle est le moteur de la transition numérique » (Die Welt, 2018). Elle est sans aucun doute l'un des piliers majeurs de la numérisation et est indispensable au secteur de l'énergie et sa transformation numérique. Dans un article publié sur son blog « Gates Notes », Bill Gates, fondateur de Microsoft, lançait déjà en 2017 un appel aux jeunes diplômés du monde entier : *« Si les choses étaient à refaire aujourd'hui et que je cherchais à nouveau la possibilité d'accomplir quelque chose de grand, il y a trois domaines que j'envisagerais. Le premier, c'est l'intelligence artificielle […]. Le deuxième, c'est l'énergie, car il est indispensable de la rendre propre, abordable et fiable pour lutter contre la pauvreté et le réchauffement climatique* » (Gates, 2017)[4].

Selon les estimations de Kerstin Andreae, experte du secteur et directrice générale de la Fédération allemande des secteurs de l'énergie et de l'eau (BDEW), l'introduction de l'IA va entraîner des changements profonds, sinon fondamentaux, dans le secteur de l'énergie : « *La mise en œuvre de l'intelligence artificielle va modifier de nombreux secteurs dans un avenir prévisible de manière similaire à l'apparition de l'ordinateur et d'Internet. Dans cette mesure, il ne s'agit pas d'une mode, mais d'un réel tournant que le secteur de l'énergie ne pourra pas ignorer.* »

[4] Outre l'IA et l'énergie, Bill Gates considère également qu'il est important de s'intéresser aux sciences du vivant.

De nombreux indicateurs du secteur signalent que la numérisation du secteur de l'énergie est justement en train de monter en puissance, ce qui semble répondre à la question du « quand », à savoir dès maintenant. En effet, dans le cadre de la lutte globale pour la protection du climat, et plus récemment en raison de la crise de la COVID-19, de plus en plus d'activités professionnelles opèrent leur mue numérique, et cela à une vitesse inédite. Cette évolution semblant irréversible, le secteur de l'énergie doit se faire à l'idée : **la numérisation est là pour rester !**

Mais est-il vraiment possible de transposer au secteur de l'énergie les résultats de la recherche et développement internationale en IA, qui avance actuellement plus vite dans d'autres secteurs ? Dans quels cas d'utilisation cette technologie pourrait-elle arriver sur le marché ? D'autre part, existe-t-il des restrictions spécifiques au secteur ou aux champs d'application qui en retarderaient la mise en œuvre, voire même qui la remettrait complètement en cause – notamment en lien avec la délicate responsabilité du traitement des données utilisateurs ou bien la nécessité d'une sécurisation accrue des systèmes numériques pour contrôler les réseaux énergétiques de demain ?

Les données sont une condition préalable à l'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie

Posez la question à plusieurs experts de l'IA, la plupart seront unanimes : le potentiel d'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie est extrêmement élevé. En effet, rares sont les secteurs où les données dominent à ce point les futurs segments de marché ; d'autre part, la numérisation bat son plein. Le spectre des applications possibles couvre toute la chaîne de valeur numérique[5], de la production de données (par exemple, volume de données en fonction de la météo et des millions d'installations de production d'EnR) à leur exploitation (par exemple, données de consommation pour la domotique et la compréhension du comportement des consommateurs) en passant par leur distribution ou leur échange (par exemple, données pour le contrôle du réseau et la communication marketing) et leur commercialisation (par exemple, échange de données prévisionnelles pour l'amélioration des mécanismes commerciaux).

Ainsi, il semble indispensable d'envisager les domaines de l'IA et de l'énergie dans leur relation symbiotique. Les avancées technologiques des dernières décennies en matière de numérisation et la volonté grandissante et globalement justifiée de « décarbonisation » du système énergétique, à laquelle concourent les applications de l'IA (cf. partie 2.2), ont conduit à une très forte augmentation des données à exploiter pour les acteurs du secteur de l'énergie. En outre, ces données doivent être traitées de plus en plus rapidement et précisément (anticipation du traitement en temps réel de l'information dans les différentes branches du secteur de l'énergie). Les défis émergents en matière de traitement des données seront probablement surmontés par le recours à l'intelligence artificielle.

IA et énergie : malédiction ou bénédiction ?

Malgré toutes les retombées visiblement positives que génère ou pourrait générer cette technologie dans le secteur de l'énergie, des voix critiques se font également entendre. « Pourquoi nous ne devons pas faire confiance à l'IA », titrait en novembre 2019 la Frankfurter Allgemeine Zeitung, qui détaillait sous cette affirmation les dangers de déléguer à l'IA le contrôle d'infrastructures critiques telles que les réseaux d'approvisionnement en énergie et en eau et ainsi de laisser la porte ouverte aux failles de sécurité et aux cyberattaques. Toujours d'après le même article, l'IA doit apprendre à partir de données existantes et peut ainsi se faire manipuler facilement au moyen de données falsifiées (Anderl, 2019).

[5] D'une manière générale, il y a lieu de faire une analogie entre la chaîne de valeur classique du secteur de l'énergie (production, distribution, commercialisation et consommation d'énergie) et le système numérique qui croît en parallèle.

Lorsque l'on aborde l'IA en termes de sécurité, la question de la protection des données est inévitable. En effet, les données peuvent d'une part être sensibles en termes de sécurité du système énergétique (notamment les données liées aux entreprises et aux réseaux), et d'autre part en raison d'exigences sociales (données à caractère personnel). La tension qui entoure la question des données à caractère personnel a conduit en juin 2018 à la création de la commission d'enquête « Intelligence artificielle : responsabilité sociale et potentiel économique, social et écologique », composée de membres du Parlement allemand et d'experts du secteur de l'IA. Lors d'une réunion de la commission en janvier 2020, Ulrich Kelber, commissaire fédéral à la protection des données et à la liberté de l'information, a déclaré que si la loi sur la protection des données est un « mécanisme de protection absolument nécessaire », elle ne représente pas nécessairement une entrave à la recherche et au développement de l'IA. La protection des données devrait plutôt être vue comme une occasion de se démarquer, par exemple des États-Unis et de la Chine, leaders établis de l'IA, avec une intelligence artificielle *made in Europe* (Kelber, 2020).

Le problème de la protection des données et des failles de sécurité est à opposer à l'énorme contribution que les systèmes basés sur l'IA peuvent potentiellement apporter à la transition énergétique intégrée. Néanmoins, même les débats portant sur la consommation de l'IA en énergie et en ressources sont inévitablement liés à l'utilisation et au stockage des données nécessaires à l'entraînement des algorithmes d'IA. En effet, seule pourrait contribuer à la transition énergétique intégrée une application de l'IA qui garantisse une consommation énergétique « verte » (cf. éco-TIC) ou permette d'économiser directement ou indirectement plus d'énergie ou de ressources qu'elle n'en consomme lors des phases d'entraînement et d'exploitation. Il n'est donc pas surprenant que le sujet de la consommation en électricité de cette technologie soit abordé dans de nombreux projets de recherche ou d'entreprise et que des approches différentes soient adoptées pour résoudre cette question. Par exemple, Google teste une première version de plateforme informatique intelligente en matière de carbone pour réduire la consommation en ressources de ses centres de données pour des performances identiques voire accrues. Au sein d'un centre de données, les tâches doivent ainsi être effectuées en priorité aux heures de la journée où l'offre en EnR est plus élevée. Ana Radovanovic, chercheuse scientifique chez Google, explique : « Il est également possible de faire basculer des tâches flexibles d'un centre de données à un autre, de sorte que plus de travail soit fourni au moment et à l'endroit où c'est le plus écologique. » (dpa, 2020)

1.1 L'IA figure déjà à l'ordre du jour de la politique européenne

La définition d'un cadre réglementaire d'utilisation de l'IA est actuellement déjà débattue au niveau de l'UE et des différents États membres et des propositions et stratégies sont élaborées pour s'assurer que l'IA présente un avantage concret dans les différents secteurs de l'économie et plus largement pour la société tout entière. Ainsi, la Commission européenne (CE) a conçu des mesures visant à soutenir le développement et la mise en œuvre de l'IA dans le prochain cadre financier pluriannuel de l'UE (2021 – 2027), par exemple pour renforcer la recherche sur l'efficacité des données et l'efficacité énergétique de l'IA. L'échange de données et le développement du cadre réglementaire (notamment soutenu par des « bacs à sable réglementaires ») doivent également être encouragés aussi bien au niveau national qu'européen. La mise en place d'un centre d'assistance devrait permettre de faciliter le développement des applications de l'IA pour les entreprises et le secteur public.

La méthode allemande

Les possibilités d'amélioration de la mise en œuvre et de la régulation de l'IA sont également débattues au niveau national en Allemagne. L'un des principaux objectifs de la stratégie allemande en matière d'IA est de faire du « *made in Germany* » un label de qualité mondialement reconnu et, argument clé, de mettre en évidence les avantages qu'offre aux citoyens l'intelligence artificielle, technologie déployée exclusivement au service de la société, de l'environnement, de l'économie et de l'État.[6] « *L'intelligence artificielle est évidemment une technologie clé qui recèle un énorme potentiel pour l'économie allemande. Mais nous avons besoin de normes fiables pour continuer à faire progresser l'IA* made in Germany », expliquait Ulrich Nussbaum, secrétaire d'État au ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (cf. Nussbaum, 2019). Toutefois, pour la professeure Katharina Zweig (2020), cheffe de l'Algorithm Accountabity Lab à l'université technique de Kaiserlautern, une régulation est seulement nécessaire pour une petite partie des systèmes de prise de décision algorithmique (ADM), à savoir les systèmes dont les composants d'apprentissage prennent des décisions concernant des humains. Selon Oliver Süme, président du conseil d'administration de la Fédération allemande du secteur de l'Internet (eco), l'évaluation prévue du règlement général sur la protection des données (RGPD) devrait servir à poser les jalons de la mise en œuvre de l'IA. Disposer d'un cadre juridique adapté qui « laisse une marge de manœuvre et favorise l'innovation » est absolument crucial pour réduire l'écart dans la course mondiale à l'IA et à la numérisation. « *L'un des principaux objectifs est d'augmenter de manière significative la quantité de données de qualité pouvant servir à la recherche et développement et aux applications en entreprise et dans la société civile, et en même temps de protéger les valeurs européennes ancrées dans la constitution, telles que les droits fondamentaux – ce qui inclut les droits individuels et le droit à l'autodétermination en matière d'information – et les principes d'État de droit, d'État providence et de démocratie* » (Süme, 2020).

1.2 Développer des stratégies de mise en pratique

De manière générale, il sera à l'avenir essentiel que tous les secteurs fassent de l'utilisation efficace de l'énergie dans leurs processus numériques un argument de vente, lequel influera positivement sur l'image de marque de l'entreprise et pénalisera celles qui ne fourniront pas d'efforts dans ce sens. En outre, un débat sur le sens fondamental des processus de calcul fondés sur l'IA doit être lancé. Le passé a montré à de nombreuses reprises que les évolutions entraînées par le seul marché relèguent bien trop souvent les motifs écologiques au second plan. Avec l'avancée de la numérisation en général et de l'IA en particulier, de telles évolutions pourraient bien tristement se répéter si l'on ne met pas en place assez tôt un cadre réglementaire et une culture d'entreprise qui permettent de faire une distinction et une évaluation claires des différentes applications.

Dans le contexte actuel de frénésie qui entoure l'IA, l'objectif du présent rapport est de classer les champs d'application les plus prometteurs de l'IA dans le secteur de l'énergie d'un point de vue technique, économique, réglementaire et social et d'en effectuer une première évaluation. Ce rapport constitue un approfondissement de l'analyse publiée par la dena en septembre 2019, intitulée « L'intelligence artificielle pour la transition énergétique intégrée : classification du statu quo technologique et structuration des champs d'application dans le secteur de l'énergie ». Cette précédente analyse a identifié neuf champs d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie pour fournir une base au développement des connaissances sur le sujet dans les milieux politiques et économiques ainsi que parmi la population.

[6] Cf. www.ki-strategie-deutschland.de/home.html

L'analyse publiée par la dena en mars 2020, intitulée « Tendances générales de l'intelligence artificielle et implications pour le secteur de l'énergie », offre une vision générale de la question. Elle s'intéresse avant tout aux évolutions actuelles dans le domaine de l'IA aux États-Unis, en Chine, en Israël et en Europe ainsi qu'à leurs implications pour les secteurs allemand et européen de l'énergie.

Sur cette base, le présent rapport examine les opportunités et les défis de chacun des différents champs d'application et classe les recommandations d'action qui en découlent en fonction de leur complexité et de leur contribution potentielle à la transition énergétique. Cette analyse offre ainsi une base aux décideurs des secteurs de l'énergie et du numérique, mais aussi du monde de la recherche et de la sphère politique, pour le développement stratégique de cette technologie importante pour le futur système énergétique. Afin d'obtenir un aperçu le plus large possible, des acteurs du secteur de l'énergie tout comme des spécialistes de l'IA ont été consultés. Nous les remercions tout particulièrement, ainsi que Deloitte pour son accompagnement scientifique et l'Institut Fraunhofer de recherche sur les systèmes et l'innovation.

Nos remerciements vont en particulier aux personnes suivantes : Elie-Lukas Limbacher (BDEW), Lukas Klingholz et Robert Spanheimer (Bitkom), Alassane Ndiaye (DFKI), Klaus Frank et Rainer Hoffmann (EnBW), Christian Schröder (E.ON), Hauke Thaden (EWE), Adrian Beyertt (Fresh Energy), Daniel Trabold (Fraunhofer IAIS), Marc Peters (IBM), Oliver Warweg (Fraunhofer IOSB), Frederik vom Scheidt (KIT), Emma Leibfried, Jesco Renner et Mario Gnädig (Netze BW), Tobias Romberg (Next Kraftwerke), Christoph Mayer et Eric Veith (OFFIS), Fabian Karl et Marilen Ronczka (PPC), Jonas Danzeisen (Venios).

2 Les nombreux défis et opportunités de l'IA dans le secteur de l'énergie

2.1 De nouveaux défis pour le système énergétique d'aujourd'hui

Conséquence des efforts effectués pour attendre les objectifs de protection du climat, principalement grâce aux énergies renouvelables, la décentralisation du système énergétique confère à la numérisation un rôle central dans la réussite globale de la transition énergétique. Un système énergétique moderne a avant tout besoin de flexibilité pour satisfaire aux nombreuses exigences des systèmes de plus en plus complexes. Face à l'exigence de synchroniser des producteurs, des consommateurs et des systèmes de stockage de taille et de type extrêmement variés, les logiciels et le matériel informatique seront des interfaces indispensables à la coordination technique du système énergétique de demain. De son côté, l'IA peut permettre d'extraire des informations à partir d'une grande quantité de données, établir des corrélations, exploiter des potentiels d'efficacité et mettre en application des mesures ciblées – et cela en grande partie de manière automatisée.

L'IA, outil de lutte contre le changement climatique

Au cours des dernières années, le développement de l'IA a réalisé de gros progrès : de plus en plus de domaines y ont en effet recours. Le déploiement de l'IA devrait apporter une contribution majeure à la transition énergétique intégrée. Sur la base des conclusions du précédent rapport et de l'identification de champs d'application pertinents, la suite de la présente analyse s'intéresse à la manière dont cette contribution pourrait avoir lieu (dena, 2019). Un groupe international d'ingénieurs et de scientifiques éminents connu sous le nom de Climate Change IA, qui vise notamment à augmenter la contribution de l'IA à la limitation du changement climatique, décrit la situation en ces termes : « *Même si ce n'est pas une solution miracle, l'apprentissage automatique peut être un outil précieux pour lutter contre le changement climatique à travers toute une gamme d'applications et de techniques* » (Climate Change AI, 2020).Et pour pouvoir faire passer cet outil précieux de la théorie à la pratique, ses cas d'utilisation doivent être clairement définis.

2.2 Les neuf champs d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie

Dans le précédent rapport, neuf champs d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie ont été identifiés (cf. Figure 4). Dans la présente analyse, ceux-ci sont classés en fonction de critères techniques, économiques, réglementaires et sociaux. Ils se divisent en trois groupes : « **bases décisionnelles générales** », « **entretien et sécurité** » et « **distribution et services aux consommateurs** ».

On distingue quatre types d'IA en fonction de leur utilisation. De nombreuses applications utilisent des données techniques sur la production et la consommation, des données économiques sur les prix et les coûts, des données géographiques tout comme des données sur les conditions météorologiques. Ces applications de l'IA sont regroupées sous l'intitulé « données générales ». Deux autres types d'IA se basent respectivement sur la reconnaissance des sons et de la parole et sur la reconnaissance des images et des visages. Le quatrième type englobe les applications complexes de l'IA à la robotique et aux systèmes d'assistance. Tous les types d'IA sont mis en application dans le secteur de l'énergie.

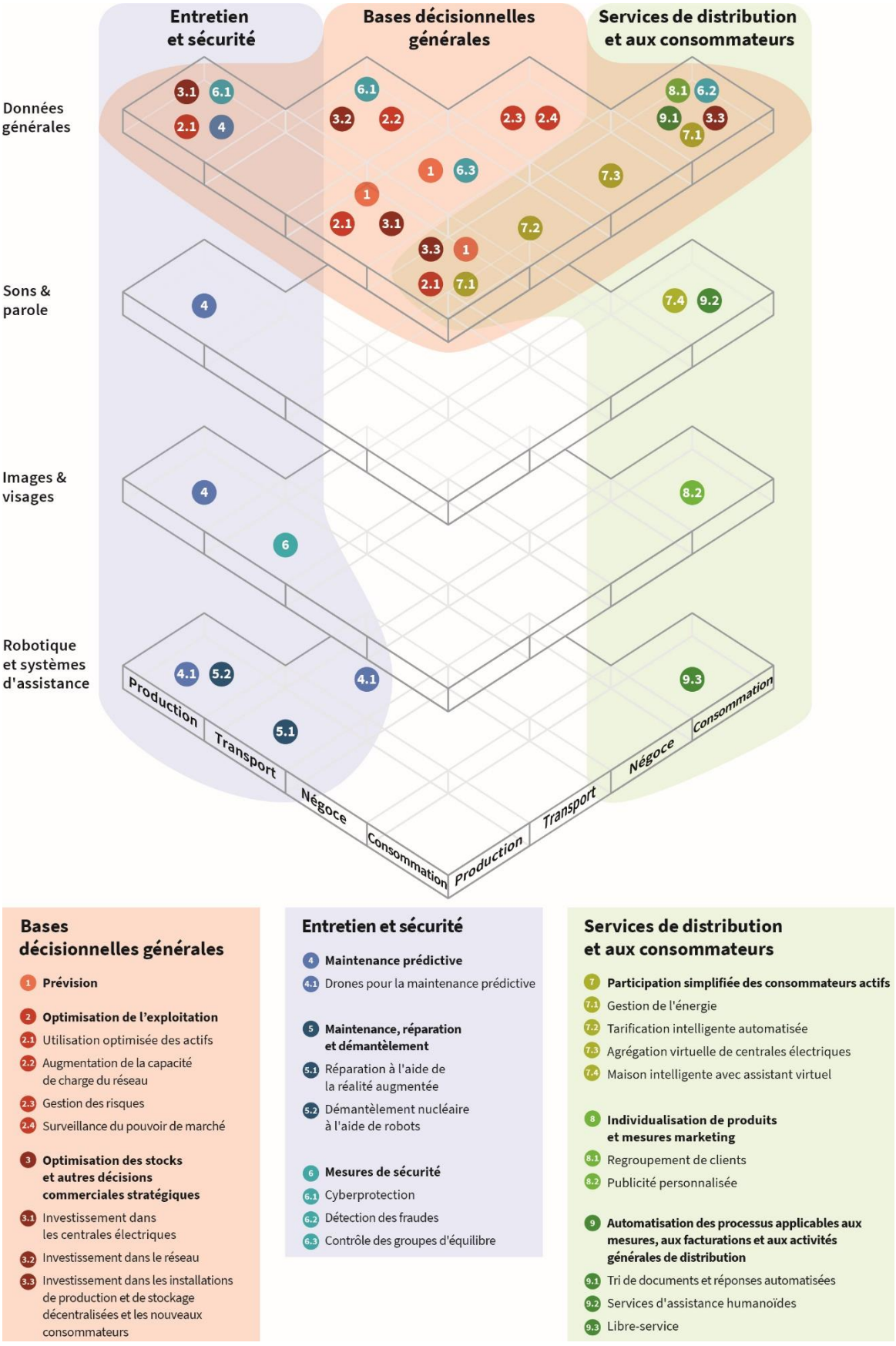

Figure 4 : les neuf champs d'application de l'IA dans le réseau de valeur du secteur de l'énergie

Afin de pouvoir analyser les champs d'application, il est nécessaire de comprendre les caractéristiques spécifiques de l'IA et du secteur de l'énergie. La classification en parallèle des étapes existantes de la chaîne de valeur du secteur de l'énergie sert de base à l'évaluation économique. Les acteurs impliqués et le cadre juridique sont particulièrement importants en matière réglementaire et sociale. Les caractéristiques spécifiques de l'IA, comme son type d'utilisation (sons et parole, images et visages, robotique et systèmes d'assistance ainsi que données générales), servent de base à l'évaluation technique. La description des différents champs d'application s'appuie sur des exemples de processus représentatifs, divisés entre phase préparatoire (investissement et collecte des données) et phases de l'IA selon Hammond[7] (*reconnaissance et traitement de l'information, déduction et conclusion, action*).

L'évaluation des champs d'application a lieu à leur niveau d'abstraction respectif et peut prendre différentes formes en fonction de l'étape de la chaîne de valeur. En raison de la disparité attendue des résultats d'évaluation étant donné la diversité des champs d'application du groupe « **bases décisionnelles générales** », une distinction est faite entre les applications pour les réseaux, d'une part, et celles pour la production et le négoce, d'autre part. L'exploitation réglementée du réseau constitue un cas particulier, notamment pour l'évaluation réglementaire, qui doit être pris en compte de manière spécifique. Par ailleurs, les différents champs d'applications sont difficiles à délimiter complètement les uns par rapport aux autres. Par exemple, les prévisions peuvent servir de base à un grand nombre d'applications. Le champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement » se concentre sur la mise en œuvre des mesures à l'aide de l'IA, alors que cette technologie peut aussi bien être utilisée pour la planification de ces mesures.[8] Une optimisation de la maintenance du point de vue de la rentabilité pourrait également servir à optimiser l'exploitation ou encore appartenir au champ d'application « maintenance prédictive ».

2.2.1 Prévisions

Grâce à l'intelligence artificielle, il est possible d'améliorer les prévisions pour la production et le négoce (cf. Tableau 1, Figure 5) et pour les réseaux (Tableau 2, Figure 6).

- À l'aide de prévisions assistées par l'IA, les fluctuations de la production et la demande d'EnR peuvent être anticipées plus tôt et de manière plus précise et ainsi améliorer la commercialisation de ces énergies.
- Les prévisions assistées par l'IA peuvent également améliorer le calcul de la charge locale des réseaux et ainsi identifier plus tôt les états critiques. Ces prévisions concernent aussi bien l'injection d'électricité (notamment à partir de sources d'EnR décentralisées et fluctuantes) que le soutirage d'électricité, ce qui permet une estimation étendue de la charge du réseau (notamment en appliquant les prévisions aux angles morts du réseau de type similaire). Les informations sur l'état du réseau extraites grâce à l'IA servent de base à des applications plus complexes à la phase « action » de l'IA.

Dans ce champ d'application, les méthodes statistiques d'apprentissage automatique (AA) tout comme le recours aux réseaux de neurones artificiels (RNA) sont établies depuis déjà longtemps. Les contraintes de coordination de la production et de la consommation font des prévisions un élément essentiel à plusieurs étapes de la chaîne de valeur du secteur de l'énergie (production-négoce, transport-négoce, production-consommation).

[7] Le tableau périodique de l'IA selon Hammond (2016) est expliqué dans la précédente étude.
[8] Ces aspects sont en partie abordés dans le champ d'application **maintenance prédictive** et dans le *cluster* **bases décisionnelles générales**.

Champ d'application de l'IA

Prévisions (production et négoce)

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales – prévision quantitative concernant des événements ou des états futurs	**Acteurs concernés** Exploitants d'installations, négociants, fournisseurs d'énergie	**Cadre juridique du champ d'application** Loi relative au secteur de l'énergie (EnWG), loi sur la gestion des compteurs (MsbG), loi sur les énergies renouvelables (EEG) loi sur le couplage chaleur-force (KWKG), règlement sur le registre de données de référence du marché (MaStRV), règlement général sur la protection des données (RGPD), loi fédérale sur la protection des données (BDSG), directive PSI
Méthodes d'apprentissage Régression, RNA, classification, regroupement	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Production, négoce	**Exemples d'entreprises** energy meteo systems GmbH, IS Predict GmbH, Enercast GmbH, 4Cast GmbH, Consolinno Energy GmbH, Data Revenue GmbH
Base de données Séries chronologiques de production historiques, données de capteurs, données externes (données météorologiques, géographiques, etc.)	**Outils du secteur de l'énergie concerné** Utilisation de centrales électriques, création d'offres, approvisionnement en électricité, tarification des ventes, établissement de bilans	

Tableau 1 : présentation du champ d'application « prévisions » (production et négoce)

Prévisions (production et négoce) : l'exemple de la prévision des prix

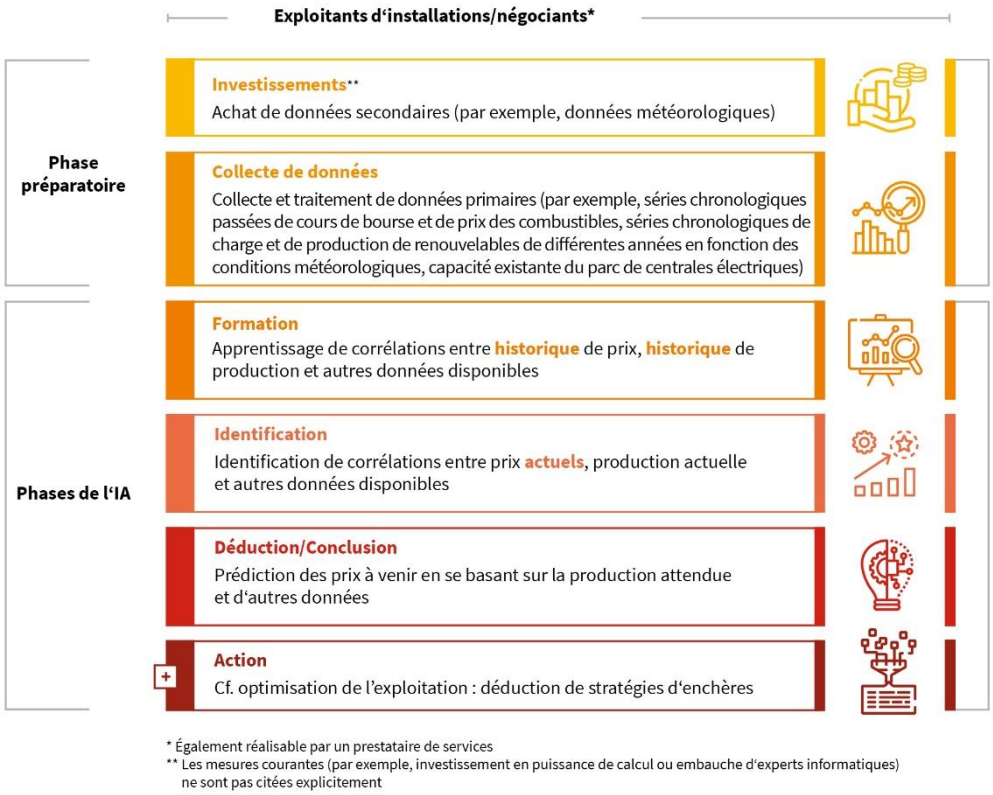

Figure 5 : exemple de processus du champ d'application « prévisions » (production et négoce)

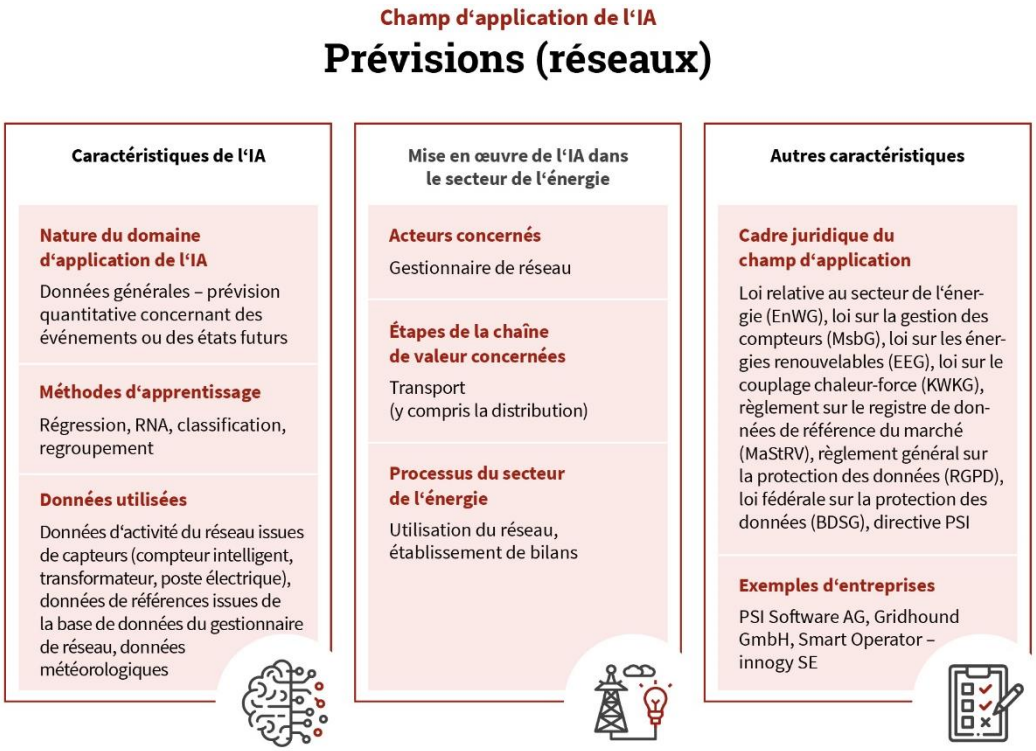

Tableau 2 : présentation du champ d'application « prévisions » (réseaux)

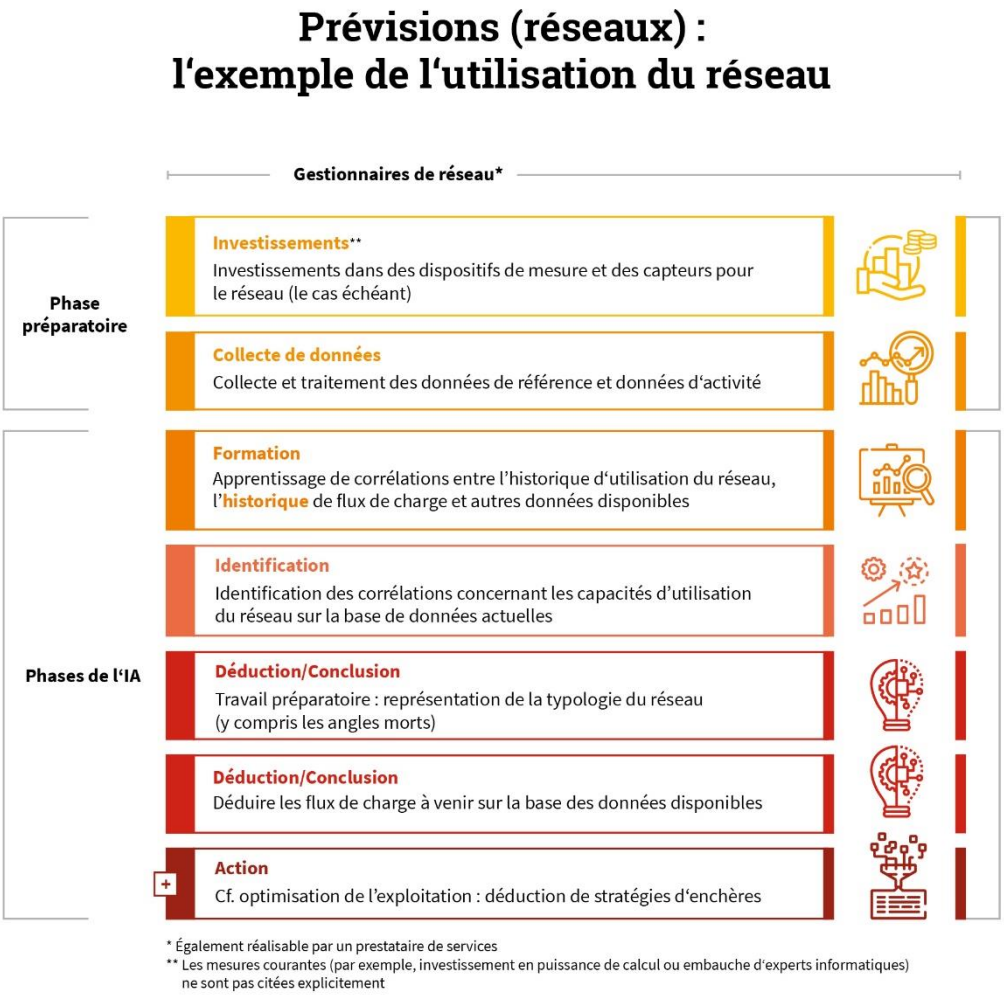

Figure 6 : exemple de processus du champ d'application « prévisions » (réseaux)

2.2.2 Optimisation de l'exploitation

Dans le champ d'application « optimisation de l'exploitation », l'IA est utilisée pour optimiser et améliorer les stratégies d'exploitation. En termes de faisabilité, le plus gros potentiel réside sans doute dans les applications destinées à optimiser la planification opérationnelle des installations de production (cf.

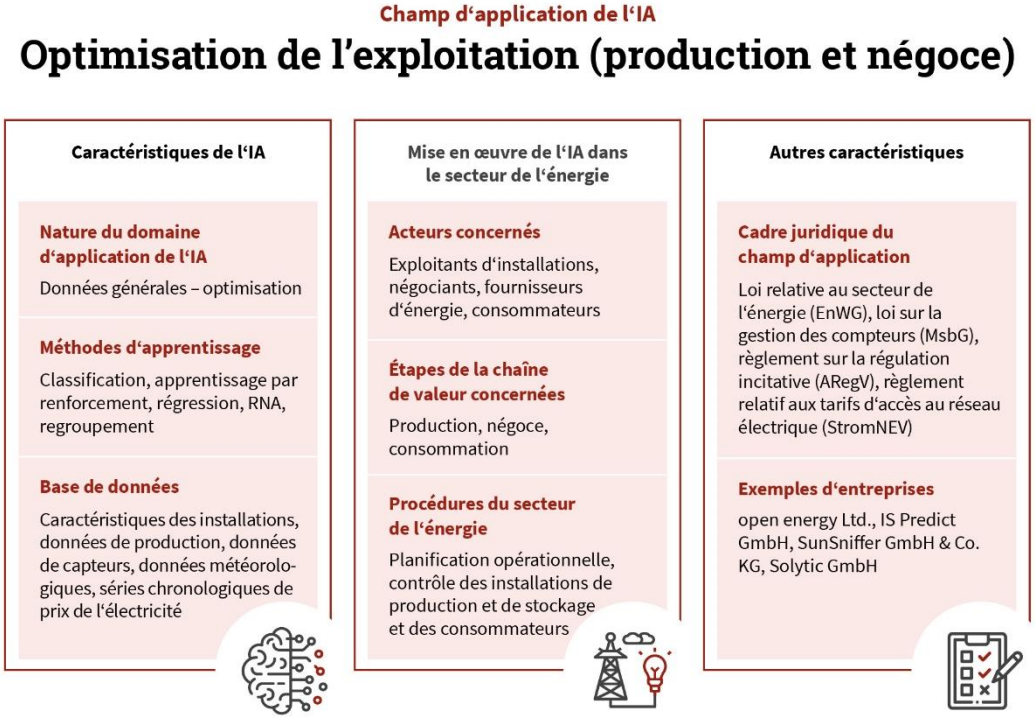

Tableau **3**, Figure 7) et l'exploitation du réseau (cf. Tableau 4, Figure 8).

- **Optimisation de la planification opérationnelle des installations de production** :
  - optimisation de la production dépendante des conditions extérieures, notamment en modifiant l'orientation des éoliennes et des installations photovoltaïques en fonction du vent ou de l'ensoleillement, ou bien en réagissant aux prix spot (p. ex. en interrompant la production en cas de prix négatifs de l'électricité) ;
  - optimisation de la production non dépendante des conditions extérieures, notamment en planifiant l'exploitation des centrales conventionnelles en prenant en compte des aspects techniques (p. ex. temps de démarrage, fonctionnement en charge partielle) et d'autres facteurs (prix de l'électricité).
- **Optimisation de l'exploitation du réseau** : contrôle de la charge du réseau, gestion de la congestion par report des charges contrôlables d'une période d'excédent à une période de déficit.

Champ d'application de l'IA

Optimisation de l'exploitation (production et négoce)

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales – optimisation	**Acteurs concernés** Exploitants d'installations, négociants, fournisseurs d'énergie, consommateurs	**Cadre juridique du champ d'application** Loi relative au secteur de l'énergie (EnWG), loi sur la gestion des compteurs (MsbG), règlement sur la régulation incitative (ARegV), règlement relatif aux tarifs d'accès au réseau électrique (StromNEV)
Méthodes d'apprentissage Classification, apprentissage par renforcement, régression, RNA, regroupement	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Production, négoce, consommation	**Exemples d'entreprises** open energy Ltd., IS Predict GmbH, SunSniffer GmbH & Co. KG, Solytic GmbH
Base de données Caractéristiques des installations, données de production, données de capteurs, données météorologiques, séries chronologiques de prix de l'électricité	**Procédures du secteur de l'énergie** Planification opérationnelle, contrôle des installations de production et de stockage et des consommateurs	

Tableau 3 : présentation du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (production et négoce)

Optimisation de l'exploitation (production et négoce) : l'exemple de l'exploitation d'une grande installation de stockage

Figure 7 : exemple de processus du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (production et négoce)

Champ d'application de l'IA

Optimisation de l'exploitation (réseaux)

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales – optimisation, images et visages	**Acteurs concernés** Gestionnaire de réseau	**Cadre juridique du champ d'application** Loi relative au secteur de l'énergie (EnWG), loi sur la gestion des compteurs (MsbG), loi sur les énergies renouvelables (EEG), règlement sur la régulation incitative (ARegV), règlement relatif aux tarifs d'accès au réseau électrique (StromNEV)
Méthodes d'apprentissage Classification, apprentissage par renforcement, régression, RNA, regroupement	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Transport (y compris la distribution)	**Exemples d'entreprises** Venios GmbH, Gridhound GmbH, Institut Fraunhofer d'optronique, d'ingénierie des systèmes et d'analyse d'images
Base de données Données d'activité du réseau issues de capteurs (compteur intelligent, transformateur, poste électrique), données de références issues de la base de données du gestionnaire de réseau, données météorologiques	**Procédés du secteur de l'énergie** Utilisation du réseau, établissement de bilans, maintien de la tension, contrôle de la puissance réactive, contrôle de la fréquence, identification des perturbations de la qualité de l'électricité	

Tableau 4 : présentation du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (réseaux)

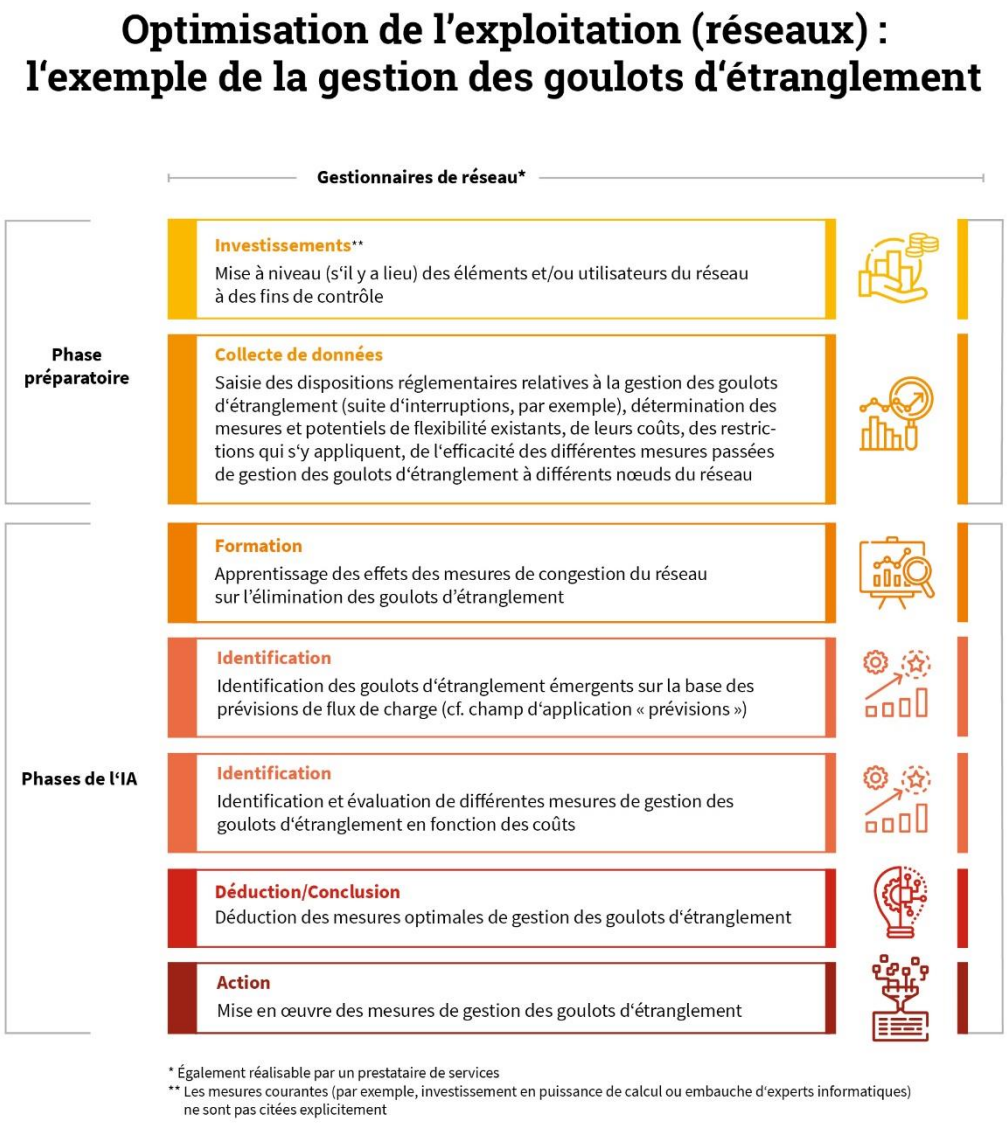

Figure 8 : exemple de processus du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (réseaux)

2.2.3 Optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques

Le recours à l'IA offre une aide à la prise de décisions en matière d'optimisation des stocks, caractérisée par des mesures de long terme très coûteuses. La plus-value de l'IA pour l'optimisation réside ici dans la prise en compte essentielle d'une multitude de données et de contraintes. Dans ce champ d'application, les données de systèmes d'information géographique (données SIG) forment une base solide qui peut être utilisée et intégrée à la planification d'installations de manière plus complète grâce à l'IA. L'optimisation des stocks pour la production et le négoce (cf. Tableau 5, Figure 9) concernent des installations de production qui ne sont pas soumises à régulation. En revanche, l'optimisation des stocks sur le réseau (cf. Tableau 6, Figure 10) est concernée par la régulation incitative et doit donc être considérée comme un domaine d'application à part.

- **Planification des installations de production** : identification et comparaison des possibilités de rendement à long terme (prix de l'électricité, notamment) et des coûts (investissements, coûts d'exploitation et de maintenance).

- **Planification de l'infrastructure du réseau :** analyse de l'utilisation du réseau sur le long terme et identification des possibilités d'augmentation de la capacité du réseau (extension du réseau, exploitation intelligente).

Le principal objectif du recours à l'IA dans ce champ d'application est l'optimisation des documents de planification. L'IA apprend à intégrer à l'analyse un grand nombre de données (préférences des utilisateurs, données SIG, etc.) et à suggérer des décisions d'investissement sur cette base. En règle générale, l'IA n'effectue ici pas d'actions autonomes, mais formule des recommandations d'actions.

Dans ce champ d'application, le domaine des réseaux utilise des « jumeaux numériques » de la portion de réseau considérée pour produire une réplique exacte du réseau physique sur la base de données en temps réel. On utilise cette technique pour prendre des décisions virtuelles d'investissement dans les moyens d'exploitation du réseau et sur cette base définir une stratégie optimale de développement.

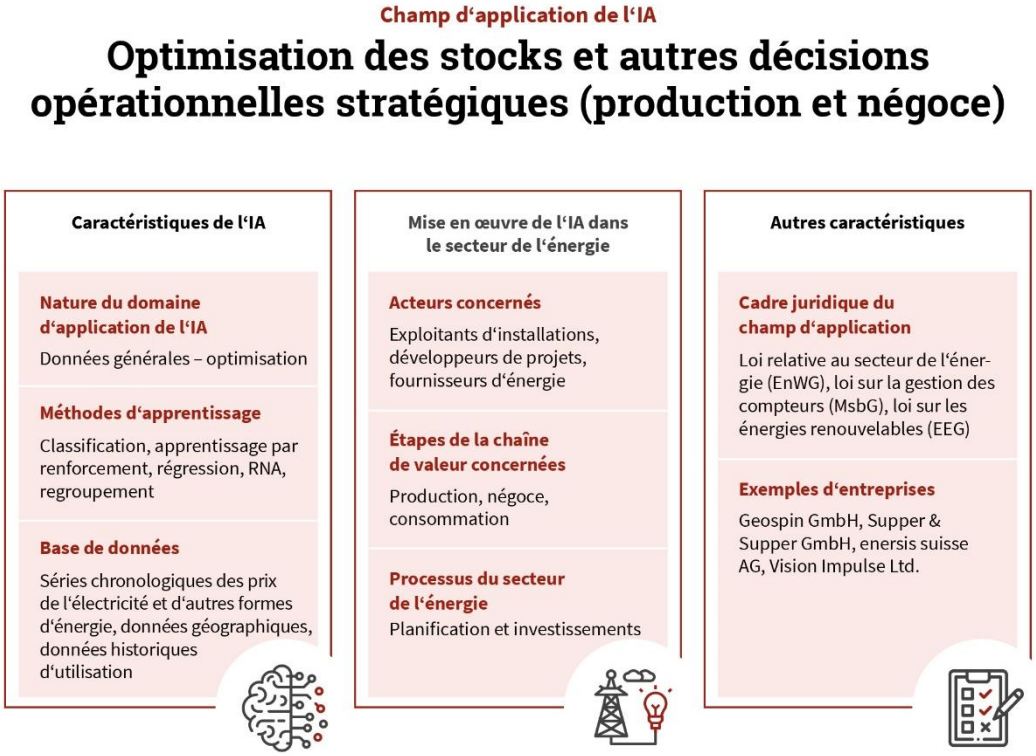

Tableau 5 : présentation du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (production et négoce)

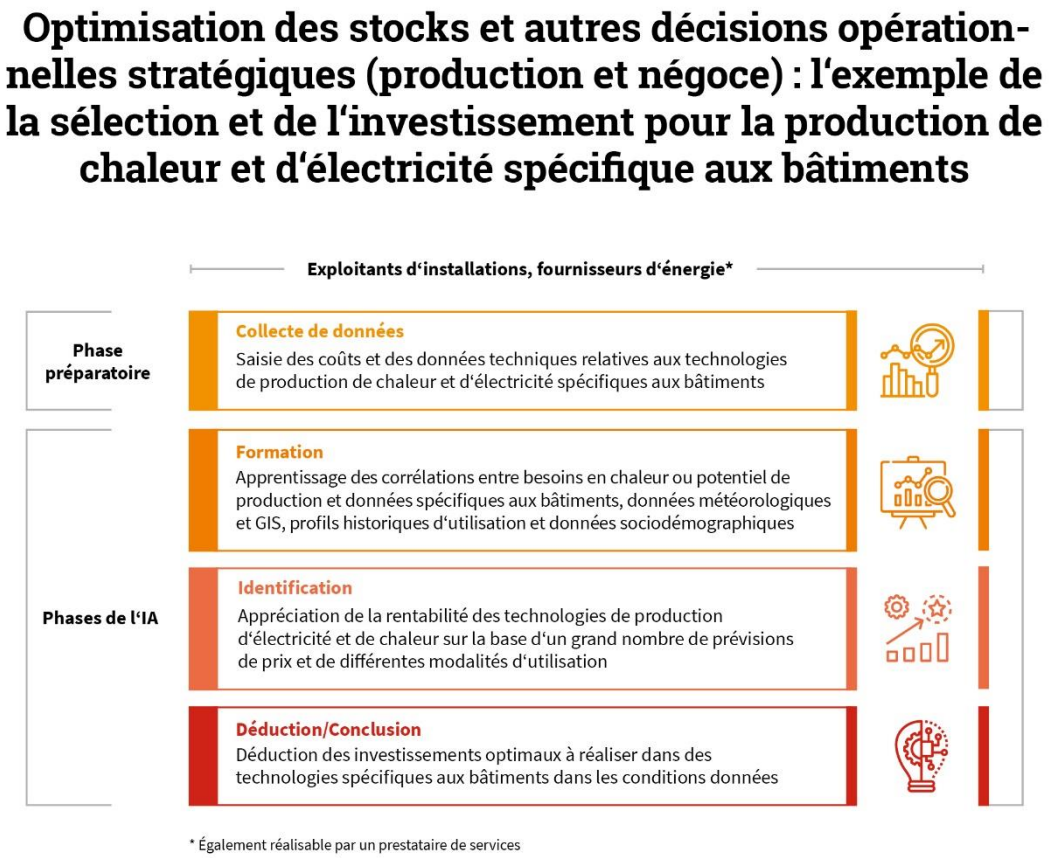

Figure 9 : exemple de processus du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (production et négoce)

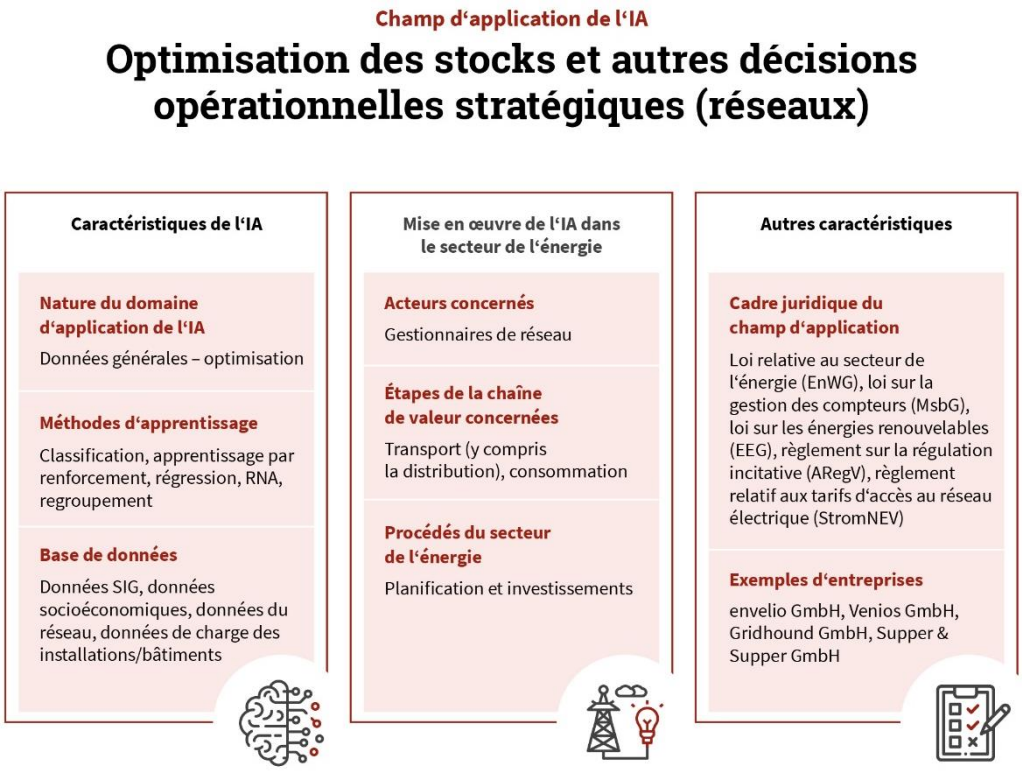

Tableau 6 : présentation du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (réseaux)

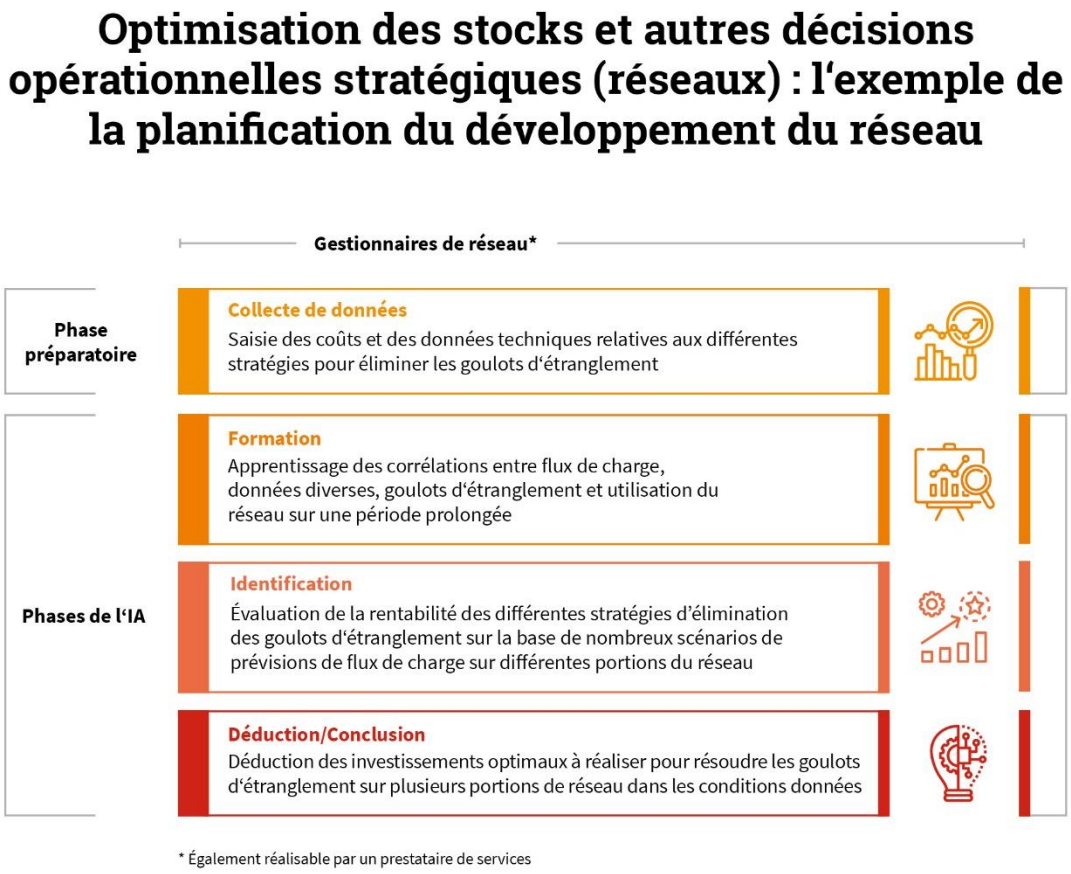

Figure 10 : exemple de processus du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (réseaux)

2.2.4 Maintenance prédictive

L'objectif de ce champ d'application est la planification des opérations de maintenance et d'entretien en fonction des besoins en se basant sur des données collectées par des capteurs (cf. Tableau 7). Des méthodes d'IA complexes sont également utilisées, comme en cas de recours à des drones pour identifier les parties défaillantes de l'infrastructure du réseau à l'aide de la reconnaissance d'images basée sur l'IA. La maintenance prédictive recèle également un potentiel élevé pour la maintenance d'installations de production difficilement accessibles comme par les éoliennes *offshore* (cf. Figure 11).

Les installations techniques sont surveillées à partir d'un grand nombre de données de mesure et de contrôle qui peuvent servir de base aux applications de l'IA. La première étape consiste à former l'IA à identifier des corrélations entre les données de mesure et les défaillances ou signes d'usure des installations. Dans un second temps, l'IA établit des recommandations d'actions à partir des conclusions tirées. Dans ce champ d'application, l'IA n'effectue pas d'actions autonomes.

Champ d'application de l'IA

Maintenance prédictive

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales, sons et parole, images et visages, robotique et systèmes d'assistance	**Acteurs concernés** Gestionnaires de réseau, exploitants d'installations, prestataires de services de maintenance	**Cadre juridique du champ d'application** Règlement général sur la protection des données (RGPD), loi sur la sécurité des données satellites (SatDSiG)
Méthodes d'apprentissage Classification, régression, RNA	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Production, transport (y compris la distribution)	**Exemples d'entreprises** IS Predict GmbH, NEXT Data Service AG, OnCare.Accoustic – Voith GmbH & Co. KGaA, HELJO Industries, Hessen-drohne – Terra Active Networks GmbH, Schleswig-Holstein Netz AG, PipePredict GmbH
Base de données Données relatives à la production et aux installations (dont données audio et image), données de charge, données météorologiques, données géographiques, données de maintenance	**Procédés du secteur de l'énergie** Prévision des besoins en maintenance, détermination des intervalles de maintenance, achat de pièces de rechange	

Tableau 7 : présentation du champ d'application « maintenance prédictive »

Maintenance prédictive : l'exemple des éoliennes en haute mer

* Également réalisable par un prestataire de services
** Les mesures courantes (par exemple, investissement en puissance de calcul ou embauche d'experts informatiques) ne sont pas citées explicitement

Figure 11 : exemple de processus du champ d'application « maintenance prédictive »

2.2.5 Maintenance, réparation et démantèlement

Ce champ d'application vise à assister la réparation d'installations en diagnostiquant des problèmes et en mettant à disposition des informations (assistance virtuelle) ainsi qu'à réaliser des travaux par l'intermédiaire de drones et/ou de robots (assistance physique). Les systèmes d'assistance basés sur l'IA évaluent l'état des installations sur place grâce à la réalité augmentée et assistent le technicien dans ses réparations. Les robots basés sur l'IA peuvent assurer des réparations et des démantèlements dans des environnements hostiles à la vie ou dangereux d'accès pour les humains (cf. Tableau 8). Dans ce champ d'application, les processus d'IA apprennent à identifier des dysfonctionnements ou des dommages dans les installations et à en tirer des conclusions (cf. Figure 12).

Différentes formes d'IA, exploitant données de capteur, sons et parole et/ou images et visages, sont utilisées pour identifier d'éventuels besoins de maintenance ou de réparation, proposer des solutions ou même intervenir directement par l'intermédiaire d'un robot.

Champ d'application de l'IA

Maintenance, réparation et démantèlement

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales, sons et parole, images et visages, robotique et systèmes d'assistance	**Acteurs concernés** Exploitants d'installations, prestataires de services de maintenance	**Cadre juridique du champ d'application** Règlement général sur la protection des données (RGPD), loi sur les économies d'énergie (EnEG), règlement sur les économies d'énergie (EnEV), règlement sur le trafic aérien (Luft-VO)
Méthodes d'apprentissage Classification, RNA	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Production, transport (y compris la distribution)	**Exemples d'entreprises** Centre de compétences ROBDEKON, robot escaladeur du projet SMART, Siemens AG
Base de données Données de capteurs, données audio et image issues d'installations	**Procédés du secteur de l'énergie** Opérations de maintenance, réparation, démantèlement	

Tableau 8 : présentation du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »

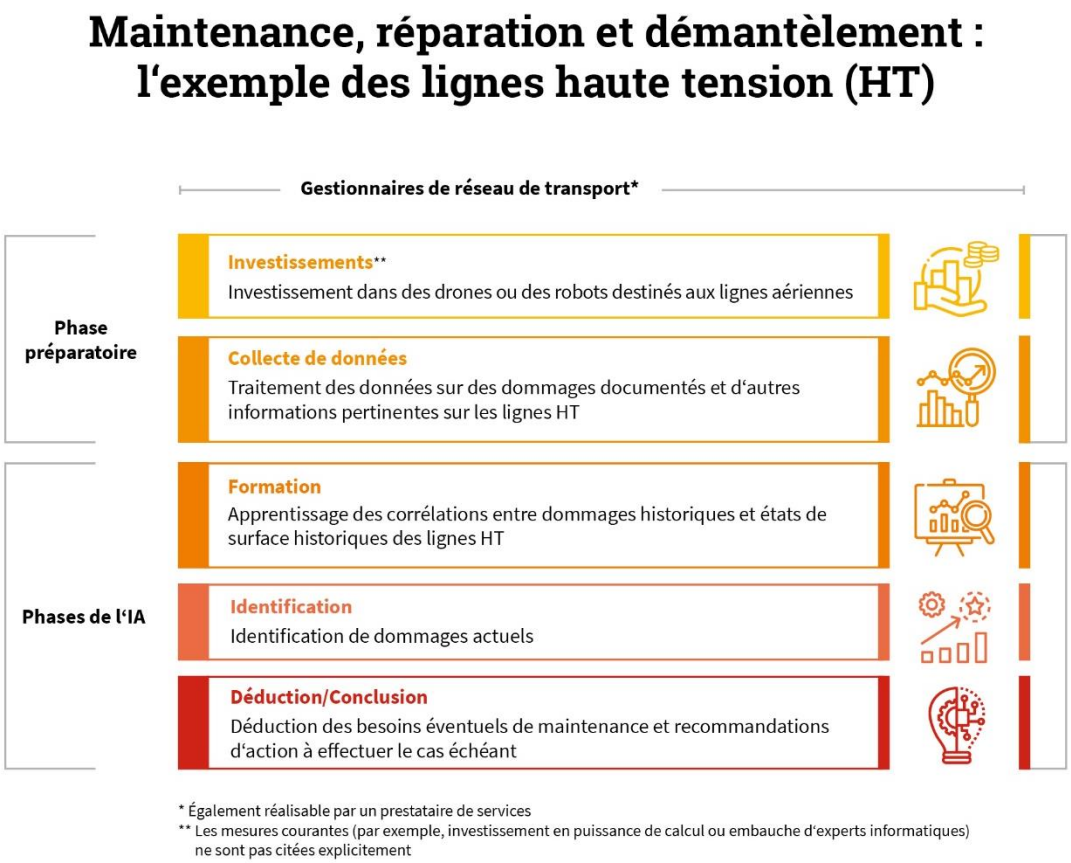

Figure 12 : exemple de processus du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »

2.2.6 Mesures de sécurité

Le champ d'application « mesures de sécurité » comprend l'identification d'actions hostiles et la défense contre ces dernières, d'une part dans le monde physique (par exemple en exploitant la vidéosurveillance), et d'autre part dans le monde virtuel (cybersécurité). Il se concentre sur les infrastructures critiques d'importance systémique, notamment sur le réseau ou dans de grosses installations de production (cf. Tableau 9).[9] La phase préparatoire implique la récupération et le traitement de l'historique des données relatives aux processus réguliers de l'actif (*asset*) et aux irrégularités (p. ex. interventions non autorisées). Sur cette base, l'IA peut alors identifier les irrégularités actuelles, avertir les unités touchées et prendre des contre-mesures (cf. Figure 13). Ce champ d'application a recours à des méthodes d'IA complexes, qui peuvent réaliser des actions même de manière autonome pour éviter les dommages aux systèmes énergétiques et améliorer la résilience de ces derniers.

[9] Ces mesures visent en particulier les attaques à dimension politique et/ou aux implications financières importantes.

Champ d'application de l'IA

Mesures de sécurité

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales, sons et parole, images et visages	**Acteurs concernés** Exploitants d'installations, gestionnaires de réseau	**Cadre juridique du champ d'application** Règlement général sur la protection des données (RGPD), droit à la sécurité des données (par exemple, règlement sur la définition des infrastructures critiques (Kritis-VO), exigences de sécurité telles qu'exprimées par l'Agence allemande des réseaux)
Méthodes d'apprentissage Classification, RNA	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Réseau, production	**Exemples d'entreprises** Safeplaces – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, zeroBS GmbH
Base de données Sphère virtuelle : données de processus internes ; sphère physique : base de données concernant le personnel ayant des droits d'accès (par exemple)	**Procédés du secteur de l'énergie** Évaluation d'actions virtuelles et physiques indésirables, mise en place de mesures de protection adaptées	

Tableau 9 : présentation du champ d'application « mesures de sécurité »

Mesures de sécurité : l'exemple des cyberattaques sur des installations de production d'importance systémique

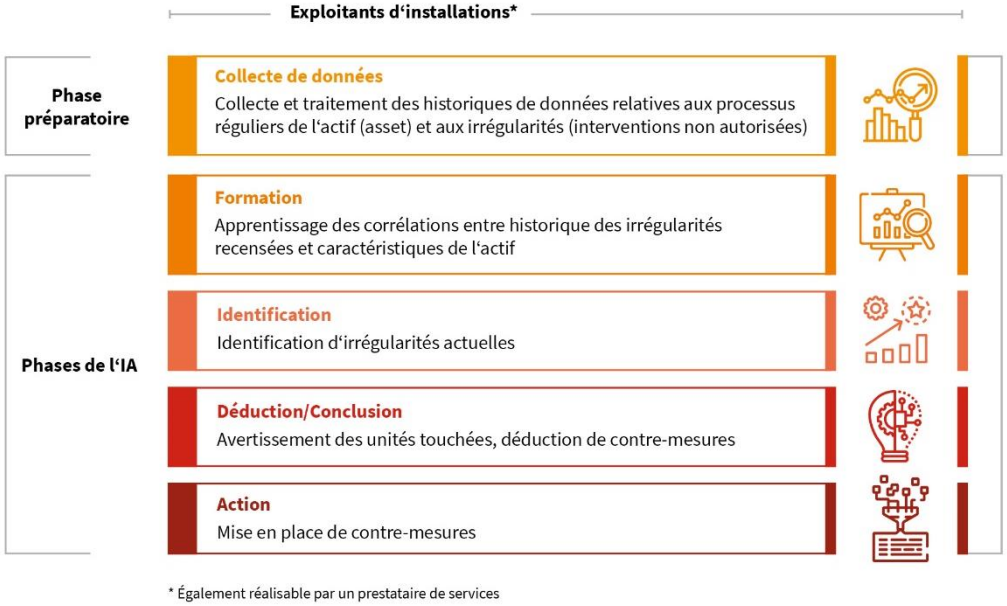

Figure 13 : exemple de processus du champ d'application « mesures de sécurité »

2.2.7 Participation simplifiée des consommateurs actifs

L'utilisation de l'IA peut aider les prosommateurs[10] et autres consommateurs actifs à augmenter leur auto-approvisionnement ou bien à dégager plus de bénéfices en interagissant avec le réseau et le marché. On retrouve ici les mêmes applications que dans le *cluster* **bases décisionnelles générales**. Les objectifs principaux sont l'adaptation du comportement des consommateurs par l'identification de potentiels d'efficacité à petite échelle ainsi que l'application de mesures de flexibilité comme le report de charges. En outre, l'IA peut contribuer à l'augmentation du taux d'autoconsommation ainsi qu'à l'optimisation des décisions d'investissement concernant de nouveaux appareils électroménagers, des installations de production décentralisées ou des batteries. La particularité de ce champ d'application réside dans la possibilité donnée aux consommateurs d'optimiser l'exploitation et les stocks en prenant en compte leurs propres préférences à travers un haut degré d'automatisation grâce à l'IA (cf. Tableau 10). À ces fins, l'IA utilise l'historique du comportement de consommation pour fournir au consommateur des recommandations sur mesure (cf. Figure 14).

Champ d'application de l'IA

Participation simplifiée des consommateurs actifs

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales	**Acteurs concernés** Consommateurs, agrégateurs, prestataires de services énergétiques	**Cadre juridique du champ d'application** Règlement général sur la protection des données (RGPD), règlement ePrivacy (ePR), loi sur les énergies renouvelables (EEG)
Méthodes d'apprentissage Régression, classification, apprentissage par renforcement, RNA	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Production, vente, transport (y compris la distribution)	**Exemples d'entreprises** Kieback&Peter GmbH & Co. KG, ENER-IQ GmbH, Recognizer Group GmbH, Fresh Energy GmbH, Shine – GreenCom Networks AG, Sonnen GmbH, GridSense – Alpiq Holding AG
Base de données Données de compteurs intelligents, données météorologiques, séries de prix de l'électricité	**Procédé du secteur de l'énergie** Gestion de charge, établissement de bilans, planification, investissements	

Tableau 10 : présentation du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »

[10] Prosommateur : *consommateur* qui dispose d'installations de production, et est donc également *producteur*.

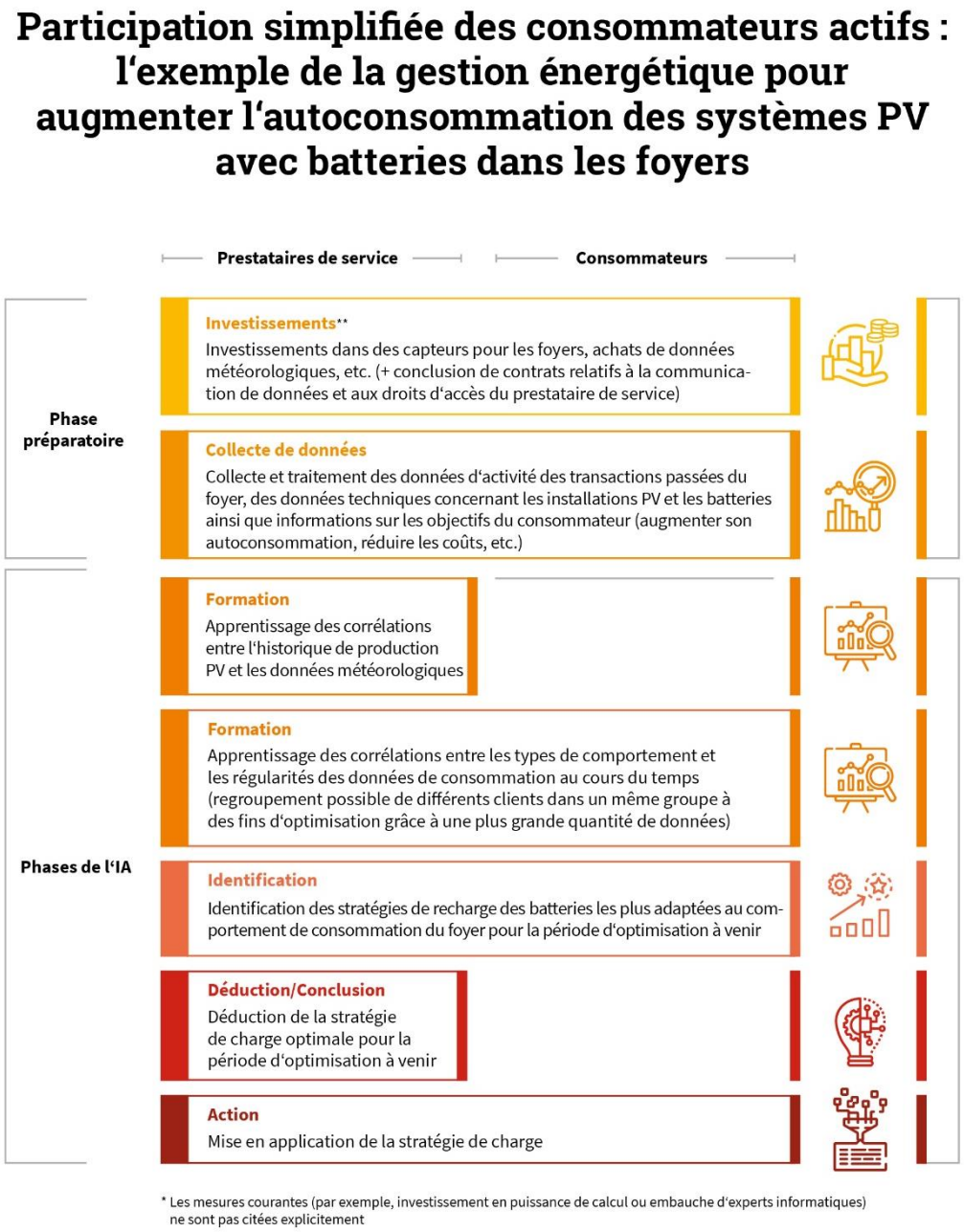

Figure 14 : exemple de processus du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »

2.2.8 Individualisation de produits et mesures marketing

Ce champ d'application vise à développer des actions commerciales et des produits spécialement adaptés à un client ou groupe de clients dans le but d'augmenter le rendement ou de réduire les coûts. L'IA permet à cette fin de former des groupes de clients dont les préférences sont identifiées avant d'être appliquées à des mesures marketing ou des produits. L'optimisation des produits et la monétisation des données clients sont des applications importantes.

Par exemple, des processus intelligents peuvent analyser de manière optimale les interactions avec les clients et déterminer leur type de comportement. L'IA peut par ailleurs identifier des usages particulièrement consommateurs d'énergie et suggérer un produit énergétique plus adapté (p. ex. une installation PV) ou des usages plus efficaces. Sur cette base, il est possible d'établir des prévisions de vente et des offres personnalisées et de proposer au client des mesures adaptées, par exemple pour accroître l'efficacité énergétique des bâtiments (cf. Tableau 11). Les données clients, longtemps considérées comme inutiles, peuvent ainsi servir de nouvelle source de rendement (cf. figure 13). De plus, les méthodes d'analyse de l'attrition dotées de l'IA permettent de prédire les comportements de résiliation et de défection des clients (Klar, 2019). Dans ce champ d'application, l'IA est par ailleurs utilisée pour réaliser des actions concrètes.

Champ d'application de l'IA

Individualisation de produits et mesures marketing

Caractéristiques de l'IA	Mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie	Autres caractéristiques
Nature du domaine d'application de l'IA Données générales, sons et parole, images et visages	**Acteurs concernés** Services commerciaux, prestataires de service, consommateurs	**Cadre juridique du champ d'application** Règlement général sur la protection des données (RGPD)
Méthodes d'apprentissage Regroupement, classification	**Étapes de la chaîne de valeur concernées** Fourniture d'énergie	**Exemples d'entreprises** COSMO CONSULT AG, QlikTech GmbH, ORAYLIS GmbH Business Intelligence
Base de données Données clients, données sociographiques (milieux Sinus, segments de clients, etc.), données structurelles, données de consommation, données issues de demandes des clients	**Procédés du secteur de l'énergie** Développement d'actions et de stratégies commerciales ciblées sur un groupe	

Tableau 11 : présentation du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »

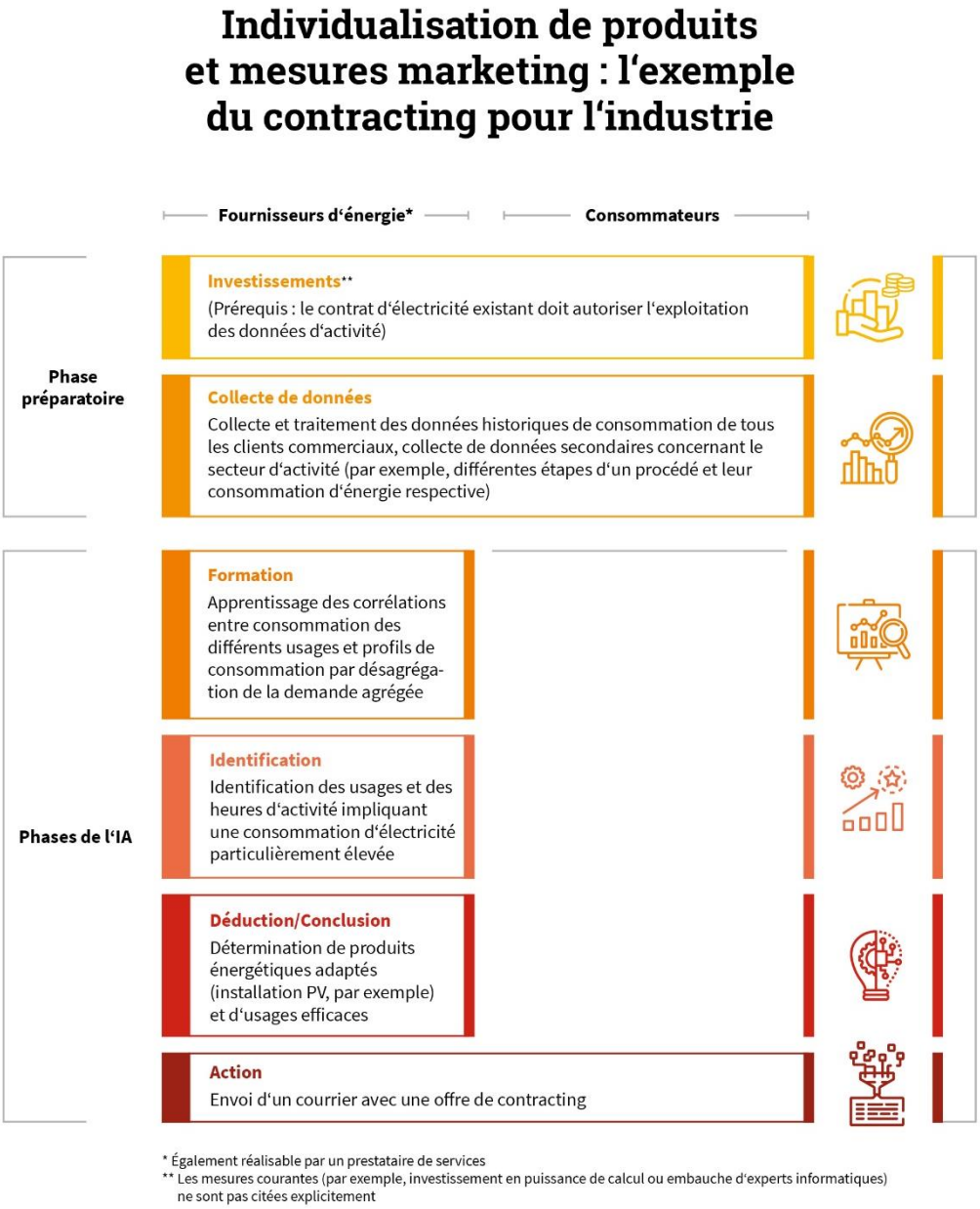

Figure 15 : exemple de processus du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »

2.2.9 Automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution

Dans ce champ d'application, l'IA permet aux services commerciaux et/ou gestionnaires de compteurs de traiter de manière automatisée et rentable le nombre croissant de transactions du secteur de la fourniture d'énergie (p. ex. en cas de nouveaux usages comme la charge de véhicules électriques, l'adoption d'une consommation flexible à petite échelle ou la gestion optimisée des systèmes de stockage des foyers). Ainsi, l'automatisation des processus peut augmenter l'efficacité (en termes de coûts ou de temps) de la gestion des compteurs

et des activités de distribution (cf.

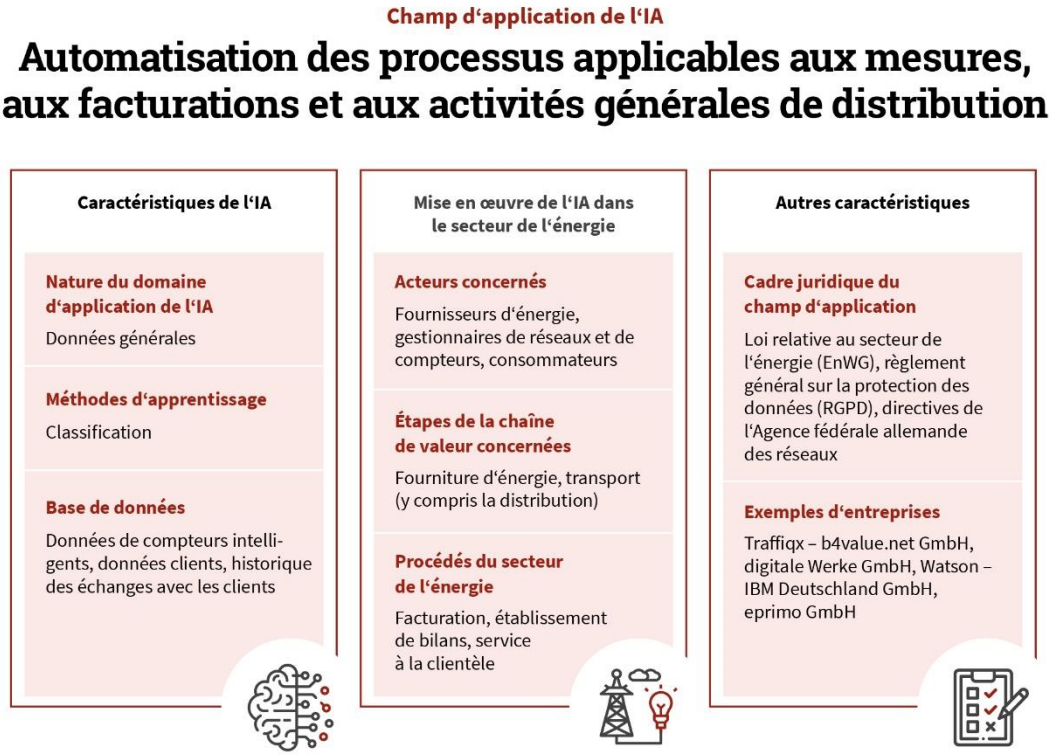

Tableau 12).

À l'aide de l'IA, il est par exemple possible d'automatiser le tri des documents entrants, d'enregistrer et d'évaluer les données de mesure ou de renforcer l'automatisation des processus de facturation et de conclusion de contrats. Ce champ d'application requiert une phase préparatoire de collecte et de traitement des données clients. Lors de la phase de formation, l'IA apprend à identifier des types de comportements et à regrouper les clients (cf. Figure 16).

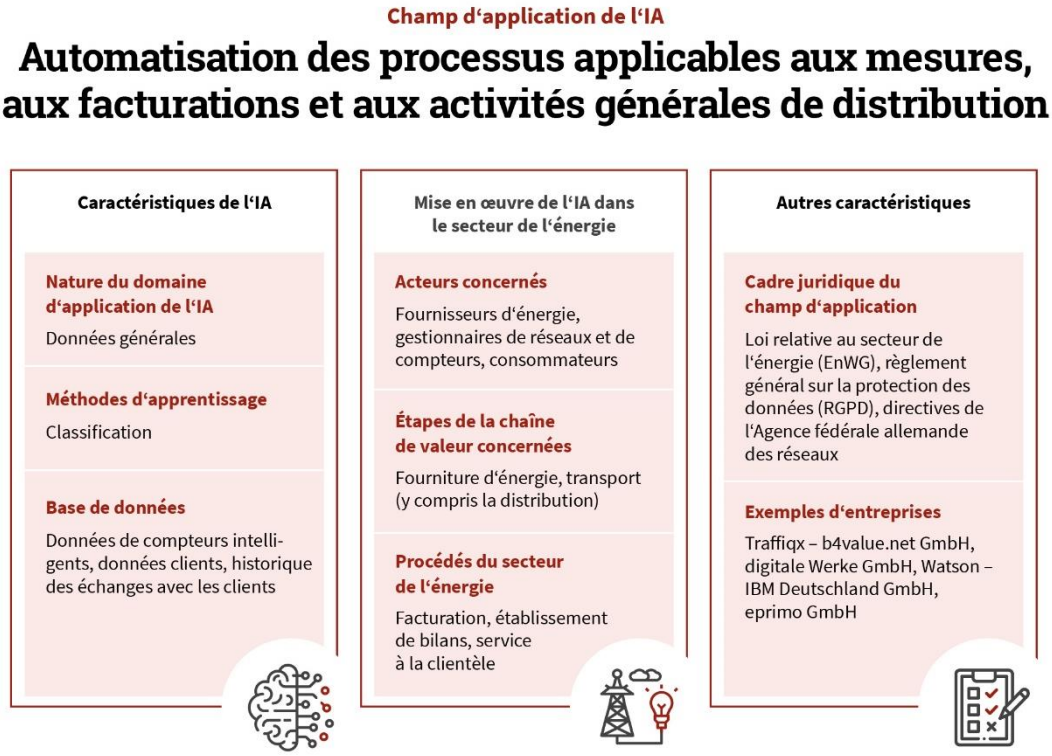

Tableau 12 : présentation du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »

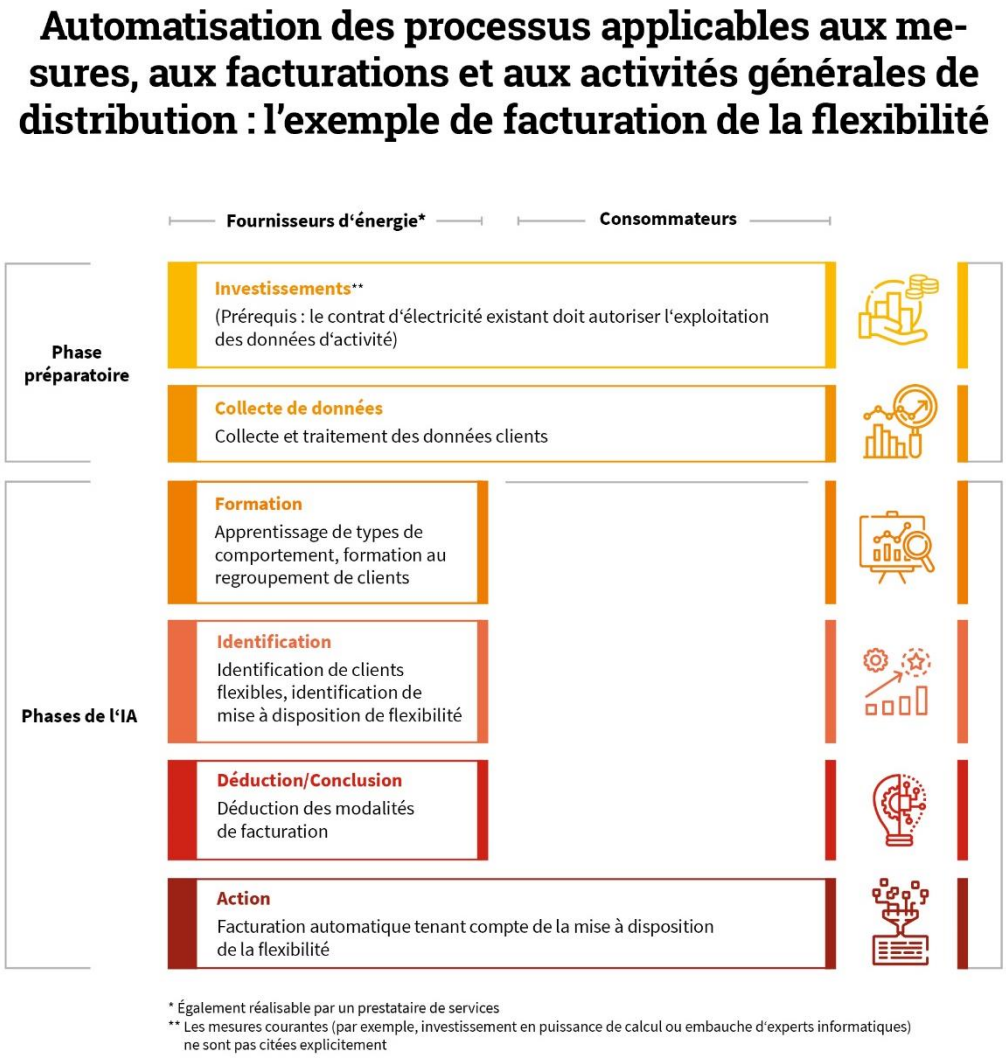

Figure 16 : exemple de processus du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »

Dans les champs d'application du secteur de l'énergie, les méthodes d'IA les plus répandues sont des méthodes d'analyse de données générales. Les exemples de recours à l'IA pour la reconnaissance des sons/de la parole ou des images/visages sont pour leur part encore peu nombreux. Les systèmes d'IA complexes comme les robots et les systèmes d'assistance ne sont pour l'instant utilisés que dans des cas bien précis (p. ex. drones pour la maintenance ou robots pour le démantèlement d'installations nucléaires). Les applications de l'IA pour le traitement des données générales mettent en œuvre une « IA faible », qui ne peut trouver des solutions que dans un cadre bien défini. Des méthodes d'IA plus complexes, qui tendent vers une « IA forte », commencent à s'esquisser, mais sont encore peu répandues. On les retrouve dans les champs d'application qui exécutent des actions même de manière autonome.

3 Évaluation des applications de l'IA dans le secteur de l'énergie

L'évaluation qui suit étudie séparément les dimensions technique, économique, réglementaire et sociale. Pour chacune de ces quatre dimensions, des critères sont tout d'abord définis. Ils servent d'indicateurs qui, réunis, constituent la base de l'évaluation. L'évaluation est d'une part qualitative, sous forme de texte, et d'autre part semi-quantitative, à savoir qu'une échelle ordinale détermine dans quelle mesure il est possible de répondre par l'affirmative aux questions clés ou bien dans quelle mesure les critères sont remplis. Ainsi, l'échelle va de 1 (« pas du tout ») à 5 (« très fortement »). L'évaluation des différents champs d'application suivant les indicateurs retenus se base sur la littérature disponible, des exemples d'application existants, tels que décrits dans la partie 2.2, et sur les discussions menées avec des experts des secteurs du numérique et de l'énergie sur ces évaluations. L'objectif est de rendre possible la comparaison entre les champs d'application. Les différents indicateurs sont détaillés dans les sous-parties concernées. Ils sont évalués individuellement pour chaque champ d'application et concourent à l'évaluation globale de chacun d'entre eux. Cette évaluation inclut également des indicateurs critiques (critères d'exclusion) suivant lesquels certains exemples d'application semblent difficiles voire impossibles à mettre en œuvre et qui conduisent par là même à une évaluation faible du champ d'application.

3.1 Évaluation technique

Afin de s'assurer de l'utilisabilité des applications de l'IA dans le secteur de l'énergie, certains prérequis doivent être remplis, comme la disponibilité suffisante des données, une puissance de calcul et des algorithmes permettant leur traitement ou encore la possibilité de faire une utilisation sûre des méthodes d'IA dans les champs d'application concernés. Même si ces conditions sont remplies, il n'est en revanche pas garanti que la mise en œuvre des méthodes envisagées puisse par ailleurs contribuer à la transition énergétique intégrée.

Dans les pages qui suivent, une évaluation détermine pour chaque champ d'application si les conditions sont remplies pour un déploiement réussi de l'IA dans le secteur de l'énergie et en outre si une contribution à la transition énergétique peut être apportée. L'évaluation se divise en deux catégories reposant sur plusieurs indicateurs. Le premier groupe d'indicateurs permet d'**évaluer le niveau de développement technique** et les éventuels défis que la mise en œuvre pourrait poser sur le plan de la technique ou des données. Le second groupe permet d'évaluer le potentiel de réduction des émissions de CO_2 et donc la **contribution à la transition énergétique intégrée**. Les indicateurs de ces deux catégories ainsi que l'évaluation des champs d'application à l'aune des questions soulevées sont décrits plus en détail dans les paragraphes suivants.

En tout, quatre indicateurs ayant une influence sur le niveau de développement technique de l'IA et sur la faisabilité de sa mise en œuvre dans le secteur de l'énergie ont été identifiés :

- **Maturité technique**
- **Diffusion**
- **Disponibilité et qualité des données**
- **Sécurité du système énergétique**

L'évaluation se base notamment sur plusieurs questions clés : peut-on affirmer que le niveau de développement technique ou la maturité technologique de l'IA est élevé dans ce champ d'application ? L'application opérationnelle de l'IA dépend-elle éventuellement d'un niveau de développement technologique plus avancé ? Par exemple, peut-être que la puissance de calcul nécessaire n'est aujourd'hui pas disponible ? Comment la diffusion actuelle et anticipée de l'IA dans ce champ d'application est-elle considérée ? Si l'IA est déjà largement répandue dans le champ d'application étudié, on peut alors conclure que les conditions techniques de sa mise en œuvre sont suffisamment remplies. La pertinence du recours à l'IA dépend toutefois aussi de la disponibilité et de la qualité suffisantes des données. En effet, seule une quantité de données d'entraînement suffisante permet la mise en œuvre de l'IA. Un autre aspect à prendre en compte dans la réalisation technique de projets d'IA dans le secteur de l'énergie est la garantie que celle-ci ne présente aucun danger pour la sécurité du système énergétique (notamment sécurité des données clients et cybersécurité des infrastructures critiques). Ce dernier point est à considérer comme un critère technique dans la mesure où la sécurité représente une exigence de plus à satisfaire.

La contribution à la transition énergétique intégrée est évaluée à la lumière des indicateurs suivants :

- **Diffusion et intégration des EnR**
- **Amélioration de l'exploitation du système**
- **Diminution des émissions de CO_2**

Sont évaluées d'une part les conséquences de l'utilisation de l'IA pour la transition énergétique intégrée en termes d'intégration des EnR, et notamment des EnR fluctuantes dans les services auxiliaires. Il est d'autre part évalué si le recours à l'IA permet d'améliorer l'exploitation de certaines parties du système énergétique de sorte que, par exemple, des centrales électriques conventionnelles puissent être arrêtées sans mettre en péril la sécurité d'approvisionnement, ou que des installations aux coûts moindres puissent être exploitées. Enfin, une analyse détermine si l'utilisation de l'IA entraîne une diminution des émissions de CO_2 du système énergétique, par exemple à travers une plus forte intégration des EnR, et, le cas échéant, quelles pourraient en être les conséquences négatives, comme une consommation d'énergie plus élevée.

En raison de la complexité du sujet, les différentes dimensions de l'évaluation se chevauchent souvent, par exemple en ce qui concerne la robustesse technique des processus, laquelle influe sur la circulation des données en Europe : La Commission européenne considère qu'une approche ouverte, mais affirmée des flux de données doit constituer le fondement de la réponse aux exigences de la société envers la stratégie européenne pour les données (CE, 2020).

3.1.1 Évaluation technique générale de tous les champs d'application

Maturité technique

Presque tous les champs d'application étudiés ici comportent déjà des exemples de mise en œuvre de l'IA dans la littérature tout comme dans un certain nombre d'applications commerciales, ce qui suppose dans plusieurs champs d'application une maturité technique déjà suffisante pour avoir recours à l'IA. Dans certains domaines, un niveau de développement plus avancé est pourtant nécessaire, comme pour la prévision à haute résolution spatiale de l'injection d'EnR, l'analyse de grandes quantités de données vidéo en temps réel ou la mise en place de solutions *big data* (> 100 Go de données par jour). L'utilisation croissante de modèles de calcul hybrides, qui combinent souvent plusieurs procédés à l'aide de calculs complexes, montre que la puissance de calcul ne constitue pas un facteur limitant pour la très grande majorité des champs d'application.[11] Ces modèles hybrides combinent souvent des modèles d'IA aux connaissances spécialisées disponibles. Dans la pratique, il convient néanmoins de noter que l'entraînement et la comparaison de plusieurs modèles peuvent être très chronophages, ce qui peut poser problème pour des processus à temps critique. Une amélioration considérable de la puissance de calcul rendrait certes possible l'utilisation de modèles plus complexes ou une mise à jour plus fréquente, mais ne changerait pas fondamentalement la mise en œuvre des solutions actuelles.

Les applications examinées ici semblent en principe suffisamment développées pour pouvoir être mises en œuvre dans le secteur de l'énergie de manière étendue. La robotique fait toutefois exception, notamment pour le démantèlement automatisé d'installations. En effet, les robots autonomes, qui pourraient servir à ce genre de tâches, sont encore en phase précoce de développement. Par conséquent, il faudra sûrement attendre encore plusieurs années avant leur utilisation commerciale. En outre, il est nécessaire de développer la technologie des systèmes hybrides, qui intègrent des connaissances spécialisées à des modèles d'IA et pourraient également se révéler exploitables dans le secteur de l'énergie (Fraunhofer, 2018).

[11] La part des modèles hybrides décrits dans la littérature scientifique traitant de l'IA dans le secteur de l'énergie a ainsi plus de doublé depuis 2000 (cf. Scheidt *et al.*, 2020, fig. 6).

Diffusion

Les champs d'application se distinguent généralement les uns des autres par leur degré de spécialisation en termes d'utilisation dans le secteur de l'énergie. Dans certains champs d'application, les techniques d'IA doivent être fortement adaptées aux particularités du secteur de l'énergie pour être mises en œuvre, par exemple pour l'optimisation des réseaux, la maintenance, la réparation et le démantèlement. Dans d'autres domaines comme l'automatisation des processus et la prévision de l'injection, de la charge ou des prix, les méthodes d'IA existantes sont en revanche généralement applicables et peuvent être utilisées pour le secteur de l'énergie sans adaptations notables. D'autres applications, notamment dans le domaine des réseaux de distribution et de transport, se basent beaucoup sur l'infrastructure physique du système énergétique, et ont donc besoin de données spécifiques qui ne peuvent pas être importées à partir d'autres domaines du secteur de l'énergie.

Maturité technique de l'IA, données de qualité en quantité suffisante pour l'entraînement des modèles requis et possibilité de réaliser des bénéfices sont autant de facteurs conduisant à une diffusion rapide des méthodes d'IA dans leurs champs d'application respectifs. Pour les prévisions ainsi que l'optimisation des stocks et de l'exploitation, ces conditions sont dans de nombreux cas déjà bien remplies, si bien qu'une diffusion rapide peut être escomptée. Le nombre considérablement d'offres commerciales déjà existantes confirme cette tendance. Ne sont néanmoins pas concernées les applications pour lesquelles du matériel, comme des compteurs intelligents ou des dispositifs d'enregistrement de l'état du réseau, doit être installé. Au regard du rythme de développement élevé attendu, les réseaux font ainsi figure d'exceptions en raison de la disponibilité encore trop faible des données dans ce domaine.

Disponibilité et qualité des données

Dans l'ensemble, les applications dont les données requises sont généralement disponibles ou peuvent être collectées sans grande difficulté sont à ce jour techniquement très développées et souvent déjà commercialisées dans le secteur de l'énergie. Par exemple, de longues séries chronologiques de données météorologiques à haute résolution spatiale et temporelle sont disponibles. De même, de longues séries chronologiques de prix et d'injections d'installations EnR sont disponibles en haute qualité pour l'entraînement de modèles (Scheidt *et al.*, 2020). Ces données sont avant tout utilisées pour les prévisions ainsi que l'optimisation de l'exploitation et des stocks pour la production et le négoce.

La disponibilité des données n'est pas aussi élevée dans le domaine des réseaux, car les données relatives à l'état des différents éléments d'un réseau ne sont pas encore disponibles dans la même résolution spatiale et temporelle comme c'est par exemple le cas avec les données météorologiques. Avec la diffusion croissante des systèmes de mesure nécessaires, la disponibilité de ces données augmentera et des processus d'IA aussi complexes que ceux décrits précédemment pourront également être mis en œuvre à plus grande échelle. Aux fins de personnalisation de la relation client et de traitement automatique des interactions avec les clients, les acteurs du secteur de l'énergie peuvent et même doivent collecter des données et acquérir de l'expérience eux-mêmes. Ces informations ne peuvent pas être fournies par des tiers avec une qualité identique à celles des données météorologiques ou des séries chronologiques de prix.

Sécurité du système énergétique

De manière générale, les applications de l'IA pour la transition énergétique intégrée ne présentent, aujourd'hui comme dans un futur proche, pas de danger en matière de sécurité du système énergétique. Cela s'explique d'une part par l'organisation globalement décentralisée de la transition énergétique, qui empêche que le sabotage d'installations isolées ne conduise à de grosses perturbations du système.

D'autre part, l'IA sert dans bien des cas surtout à améliorer des processus existants. L'exploitation d'installations énergétiques n'est donc normalement pas placée sous la responsabilité de l'IA. En général, seuls les processus servant d'assistance sont utilisés dans ce domaine. Malgré tout, il est envisageable que des processus d'IA puissent être développés et entraînés spécifiquement pour attaquer le système énergétique. Le présent rapport s'intéresse toutefois en priorité aux applications de l'IA pouvant fournir une contribution active à la transition énergétique intégrée.

L'optimisation par l'IA de grandes parties voire de tout le système énergétique – production, transport et consommation inclus – recèle un plus gros potentiel économique que l'optimisation de systèmes individuels. Parallèlement, une attaque extérieure pourrait alors causer de plus gros dégâts. Afin de se prémunir contre de telles attaques, des mesures de sécurité adaptées doivent donc être mises en place.

Diffusion et intégration des EnR

Par ses conséquences positives sur l'intégration des EnR et l'aide qu'elle apporte dans la résolution des goulots d'étranglement, l'utilisation de l'IA ne peut que contribuer à la transition énergétique. La mise en œuvre de l'IA pour améliorer les prévisions et optimiser l'exploitation et les stocks offre la possibilité d'obtenir un meilleur rendement avec le même parc d'installations. Ce gain peut être obtenu en optimisant l'exploitation des installations, par exemple en améliorant l'orientation des éoliennes pour augmenter leur rendement ou en contrôlant intelligemment les systèmes de chauffage pour diminuer la consommation d'énergie. Ces deux approches impliquent en outre une réduction des émissions de CO_2 due à la moindre utilisation de sources d'énergie conventionnelles grâce à des améliorations de l'exploitation.

Amélioration de l'exploitation du système

La sécurité de l'approvisionnement augmente avant tout avec la capacité à prévoir les fluctuations de production et de consommation ainsi que les pannes des installations. Dans le but d'améliorer l'exploitation du système, le recours à l'IA apparaît donc surtout pertinent dans les domaines des prévisions et de l'optimisation pour la production, le transport et la consommation.

Réduction des émissions de CO_2

Dans de nombreuses applications, la réduction directe des émissions de CO_2 par l'IA n'est pas quantifiable, car il est difficile d'esquisser un scénario de référence plausible pour calculer cette réduction. Cela est dû à la grande complexité et à la variabilité temporelle du système énergétique. Une comparaison serait par exemple possible si la réduction des émissions de CO_2, résultant d'une exploitation rendue plus efficace par l'IA, notamment à l'aide d'algorithmes de régulation intelligents pour le contrôle des bâtiments, pouvait être calculée directement à partir de la quantité de chaleur économisée. Le calcul de la réduction indirecte des émissions de CO_2, obtenue par substitution d'énergies fossiles grâce à la production d'EnR optimisée par l'IA, est tout aussi complexe que le calcul de la réduction directe.

3.1.2 Particularités techniques des champs d'application

Afin d'approfondir les aspects généraux de l'évaluation technique, cette partie s'intéresse aux particularités propres à chaque champ d'application.

Prévisions

Dans le domaine des prévisions, l'usage commercial de l'IA est aujourd'hui très répandu, surtout pour la production d'EnR, et dans une moindre mesure dans le négoce. La littérature scientifique sur le sujet le confirme : selon Scheidt *et al.*, environ 60 % des publications scientifiques portant sur les prévisions basées sur l'IA dans le secteur de l'énergie s'intéressent à la prévision de la production PV et environ un tiers à celle des éoliennes (Scheidt *et al.*, 2020). Dans ce domaine, les données pertinentes disponibles sont de bonne qualité et disponibles en quantité suffisante, et les prévisions améliorées par l'IA peuvent être exploitées directement en entreprise. Un certain nombre de sociétés propose déjà des systèmes capables de telles prévisions sous forme de service aux entreprises (cf. *software as a service*)[12]. L'utilisation de l'IA est également possible pour la prévision de l'état des réseaux de transport et de distribution, mais n'est pas encore commercialement établie par manque de données à haute résolution spatiale et temporelle. Dans ce domaine, l'IA n'est actuellement utilisée que dans le cadre de projets de recherche.

Exemple pratique : enercast – réseaux neuronaux pour une prévision précise des performances

Avec ses produits d'apprentissage automatique pour la prévision précise des performances des installations éoliennes et solaires, enercast rend possible l'intégration des EnR dans les réseaux d'électricité et sur les marchés de l'énergie. Contrairement à un système modélisé devant être actualisé manuellement, les réseaux neuronaux d'enercast se développent en s'adaptant aux conditions extérieures. Comme les installations EnR se trouvent dans des environnements naturels et non en laboratoire, le recours aux réseaux neuronaux peut s'avérer particulièrement rentable. Au début d'un processus de prévision, les données relatives aux installations, comme la puissance nominale ou la localisation, sont saisies dans le système. D'autres installations similaires servent par ailleurs de références. Pour des résultats encore plus précis, les prévisions futures peuvent être calibrées en se basant sur les données historiques de performance. Les réseaux neuronaux sont entraînés à partir des corrélations historiques entre données météorologiques et données de performance. Plus les réseaux neuronaux reçoivent de données, plus ils rendent compte de la réalité avec détail et précision.[13]

En améliorant l'intégration des EnR et en optimisant les prévisions d'injection d'EnR et de charge attendue, l'IA apporte ici une contribution incontestable à la transition énergétique intégrée. Dans le domaine des réseaux, une réduction des surcharges est ainsi possible. En ce qui concerne la production et le négoce, l'utilisation de l'IA conduit déjà à une diminution des besoins en énergie de réglage. Il convient de faire la distinction entre des processus plus simples comme les modèles de régression et des processus plus complexes d'AA comme les RNA. Les premiers sont utilisés depuis bien plus longtemps et ont besoin de relativement peu de données d'entraînement. Les seconds ont pris de l'importance ces dernières années grâce à l'augmentation de la disponibilité des données. Dans l'ensemble, les modèles hybrides occupent également une place de plus en plus importante (Scheidt *et al.*, 2020). La complexité des algorithmes utilisés varie selon les applications.

En raison de la diversité des applications de l'IA déjà exploitées commercialement et de l'optimisation de l'injection d'EnR qui s'ensuit, la viabilité technique de ce champ d'application est considérée comme élevée.

[12] Cf. p. ex. www.pwc.de/de/energiewirtschaft/evaluation-automatisierter-energiehande-intraday-markt.pdf. L'étendue et la qualité du service dépendent d'une multitude de facteurs, mais des données historiques ainsi que des interfaces avec les données les plus récentes sont nécessaires dans tous les cas.
[13] Plus d'informations sur www.enercast.de

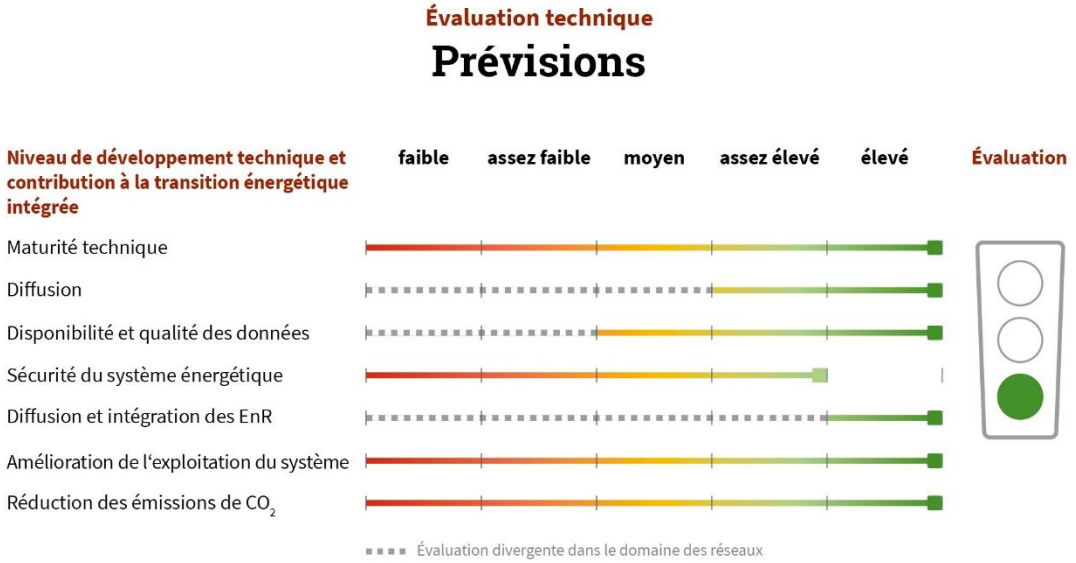

Figure 17 : évaluation technique du champ d'application « prévisions »

Optimisation de l'exploitation

L'optimisation d'un parc d'installations de production s'avère en général plus complexe que l'optimisation d'un bâtiment ou d'appareils individuels. Il devrait donc encore s'écouler un certain temps avant une utilisation commerciale de l'IA dans ce domaine. Pour l'optimisation de l'infrastructure réseau à grande échelle, ce sont les données qui font particulièrement défaut en raison de la faible diffusion des compteurs en temps réel permettant leur collecte. Les compteurs intelligents permettront d'avoir accès à davantage de données de consommation, ce qui rendra possible l'optimisation de l'exploitation à plus grande échelle pour une vaste partie du système énergétique. Par rapport aux stratégies à petite échelle, le potentiel d'optimisation est ici plus important. Aussi, les travaux de recherches à ce sujet sur l'exploitation du réseau se concentrent en particulier sur l'exploitation en temps réel et le contrôle intelligent du réseau (*Scheidt et al.*, 2020).

Exemple pratique : Gridhound – un jumeau du réseau de distribution pour un suivi de l'état du réseau plus efficace

La simulation du réseau de Gridhound permet un suivi efficace de l'état du réseau. Afin d'appréhender les angles morts du réseau de distribution, Gridhound détermine l'emplacement optimal des points de mesure par analyse de sensibilité et simule l'utilisation du réseau de distribution en se basant sur les données de mesure disponibles. Ce positionnement optimal permet de réduire les besoins en dispositifs de mesure, passant ainsi de 33 % en moyenne à 5 % des nœuds du réseau. Grâce à la possibilité de suivre le réseau en temps réel, une analyse menée sur une période suffisamment longue peut aboutir à des recommandations d'action pour utiliser la capacité actuelle du réseau de manière plus efficace et renforcer celui-ci en fonction des besoins sur la base des mesures réalisées. Cette approche a été testée entre autres par Bayernwerk-Netz avec une concentration d'installations PV supérieure à la moyenne allemande. Seules 8,5 microsecondes de calcul ont été nécessaires aux RNA pour déterminer l'état du réseau, avec un taux d'erreur moyen d'à peine 0,7 %.[14]

[14] Plus d'informations sur www.gridhound.de

En ce qui concerne la sécurité de ce champ d'application en matière de réseaux, il est imaginable qu'un pirate informatique manipule la situation du réseau telle que la voient les gestionnaires en saisissant des données erronées et provoque ainsi une surcharge due à un mauvais contrôle du réseau. Si ce scénario est certes envisageable, le risque qu'il se réalise semble pourtant assez faible compte tenu des méthodes existantes d'identification des données erronées (cf. « mesures de sécurité »). Si de telles attaques se limitaient à des portions de réseaux isolées, par exemple une partie du réseau de distribution, les dégâts engendrés seraient également limités, car seule une petite partie du réseau serait touchée.

L'amélioration de la planification opérationnelle et l'augmentation du rendement des installations EnR impliquent une moindre production d'énergie conventionnelle et assurent ainsi une contribution non négligeable à la transition énergétique intégrée en réduisant les émissions de CO_2 qui en découlent. Certaines méthodes d'IA, telles que les RNA pour la prévision quantitative d'événements futurs, servent d'aide à la gestion du réseau électrique pour le contrôle, la coordination des tâches de maintenance ou encore l'optimisation des moyens d'exploitation. Les données prévisionnelles sur l'état du réseau servent également de base à un grand nombre d'autres applications de l'IA (dena, 2019). La décentralisation grandissante de la production d'énergie augmente la complexité du réseau d'électricité et ces données gagnent donc en importance (cf. *smart grids*).

Bien que la maturité technique en matière de réseaux soit plus faible que pour la production et le négoce, on peut s'attendre à une amélioration future grâce à l'augmentation de la disponibilité des données. L'optimisation de l'exploitation des infrastructures contribue de manière significative à la transition énergétique intégrée et ce champ d'application est dans l'ensemble évalué comme élevé du point de vue technique.

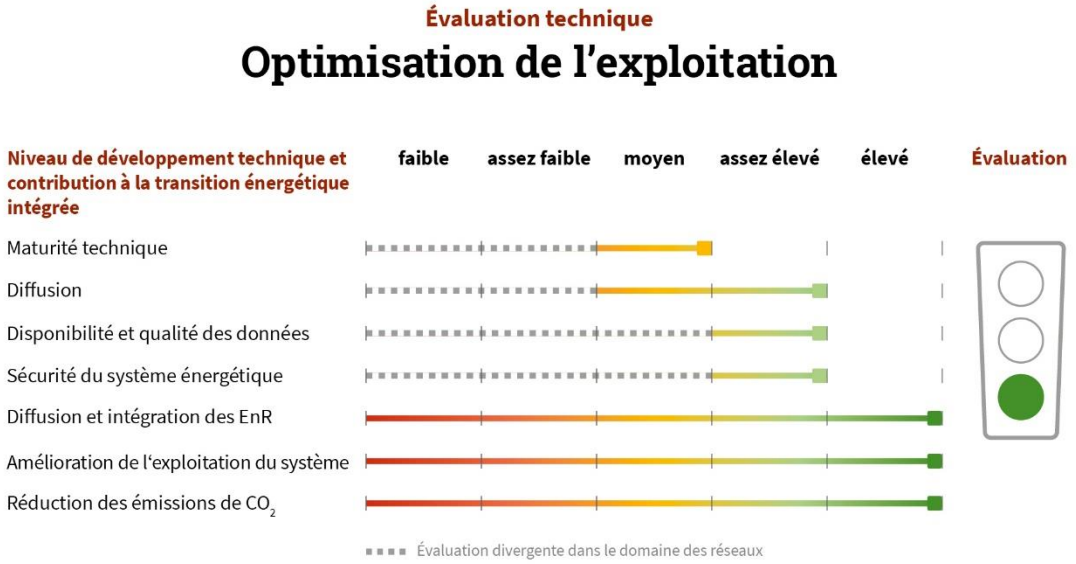

Figure 18 : évaluation technique du champ d'application « optimisation de l'exploitation »

Optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques

Un certain nombre d'applications de l'IA déjà disponibles sur le marché, notamment pour la construction d'installations de production d'EnR ou d'infrastructures de charge pour véhicules électriques, démontrent le haut degré de maturité technique dans ce domaine. Ainsi, en particulier pour la planification des sites, de nombreuses données géoréférencées sont disponibles (données météorologiques, trafic, etc.).

Celles-ci peuvent en général être traitées très rapidement et donc permettre de nombreuses applications de l'IA. Cependant, la quantité de données à haute résolution spatiale et temporelle est encore insuffisante. Ces données pourraient servir à de nombreuses applications de l'IA pour l'optimisation des stocks.

La planification de l'infrastructure du réseau peut elle aussi être améliorée par l'IA. En se basant sur les données disponibles, cette dernière aide à anticiper l'utilisation du réseau sur le long terme et à prendre des décisions concernant d'éventuelles augmentations à prévoir de la capacité du réseau (mise en place de composants intelligents, par exemple en cas de renforcement du réseau). L'IA permet donc une extension du réseau adaptée aux besoins ainsi qu'une utilisation optimale des moyens d'exploitation du réseau.

En revanche, pour la planification de centrales conventionnelles ou de l'exploitation conventionnelle d'un système, le recours à l'IA ne présente pas d'avantage direct. Toutefois, une planification plus réaliste de l'exploitation de telles installations peut présenter des avantages indirects. Ainsi, il est par exemple possible de mieux anticiper les pics de charge et de production à l'aide de l'IA et de prévoir les capacités nécessaires. Parallèlement, la durée de vie est un facteur particulièrement déterminant pour la planification de nombreuses installations conventionnelles de production et de distribution d'énergie.

L'IA peut assister la planification de mesures coûteuses de long terme en fournissant une aide à la prise de décision. Son avantage réside dans la prise en compte d'un grand nombre de données disponibles comme les préférences utilisateurs, les données SIG ou les prix historiques. Ainsi, les jumeaux numériques peuvent par exemple assister la planification et la mise en exploitation de bâtiments ou encore déclencher automatiquement le remplacement de composants en cas de besoin (Groß *et al.*, 2020). Dans ce domaine, les méthodes d'apprentissage typiques sont la classification, l'apprentissage par renforcement, la régression, les RNA et le regroupement.

Étant donné que les goulots d'étranglement peuvent être éliminés par une planification active des investissements, ce champ d'application contribue entre autres à l'intégration des EnR. L'IA étant également déjà utilisée pour la gestion d'actifs, la viabilité technique de ce champ d'application est considérée comme globalement bonne.

Figure 19 : évaluation technique du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques »

Maintenance prédictive

Les champs d'application « maintenance prédictive » et « maintenance, réparation et démantèlement » ont tous deux pour but de réduire les efforts de maintenance et de réparation et ainsi de soulager le personnel. Tandis que le champ « maintenance, réparation et démantèlement » concerne la mise en œuvre des mesures et qu'elle implique le concours de collaborateurs spécialisés et expérimentés, la maintenance prédictive se concentre sur la planification des mesures. Autrement dit, il est possible de l'anticiper. Néanmoins, les deux champs d'application partagent certains objectifs et applications, comme la minimisation des risques pour les collaborateurs. Sans l'IA, il est impossible d'exploiter pleinement les données servant de base à la maintenance prédictive.

La disponibilité des données et la maturité technique de l'IA pour la maintenance prédictive sont déjà très élevées en ce qui concerne les installations de production, comme l'atteste un certain nombre d'applications commerciales (inspection d'éoliennes par des drones, test acoustique de centrales hydroélectriques, etc.). Selon IDC Energy Insights, déjà 13 % des fournisseurs d'énergie européens ont recours à l'IA pour la maintenance prédictive et 12 % envisagent d'y avoir recours dans ce domaine (IDC, 2019). On peut en conclure que l'utilisation de l'IA dans le domaine de la maintenance prédictive des installations de production sera bientôt la norme dans le secteur de l'énergie.

À ce jour, il existe peu d'exemples d'utilisation commerciale de l'IA pour la maintenance prédictive des réseaux électriques (cf. exemple pratique dans la partie 3.2.2) étant donné que les données d'état du réseau ne sont pas uniquement collectées par mesure directe dans ou à proximité des installations. Le recours à la maintenance prédictive ne se limite pas aux installations de grande taille et difficiles d'accès. En parallèle de méthodes complexes telles que l'utilisation de drones, des méthodes relativement simples, comme l'installation de capteurs (supplémentaires), sont également employées. Par rapprochement de données historiques, l'IA établit des corrélations entre signes d'usure et défaillances des installations, qui permettent par suite d'identifier des anomalies. Dans ce domaine, on utilise typiquement la classification, la régression et les RNA. En pratique, de telles applications sont mises en place dans les postes de transformation, par exemple grâce à la technologie de l'Internet des objets (IdO) LoRaWAN.[15]

Autre forme d'application de l'IA intéressante, quoiqu'insuffisamment développée, les systèmes experts hybrides associent des connaissances spécialisées à des informations extraites de données et à l'AA. Une telle utilisation de l'IA serait particulièrement intéressante pour les réseaux, car la disponibilité limitée des données dans ce domaine pourrait alors être en partie contournée. Toutefois, les modèles de ce type ont encore besoin d'être développés sur le plan technique (Fraunhofer, 2018).

La maintenance prédictive n'entraîne pas d'économies directes de CO_2, mais peut réduire les coûts et ainsi rendre l'exploitation du système plus rentable pour le gestionnaire, ce qui peut conduire à une utilisation plus importante des EnR.

Compte tenu du grand nombre d'applications actuellement utilisées, la contribution apportée ici à la sécurité du système énergétique est par conséquent élevée. Néanmoins, en l'absence de réduction directe des émissions de CO_2, la contribution à la transition énergétique intégrée est considérée comme moyenne. Par là même, ce champ d'application est dans l'ensemble évalué comme moyen du point de vue technique.

[15] Cf. www.stadt-und-werk.de/meldung_26015_Den+Spagat+hinbekommen.html/druck/meldung_29002_Trafostation+im+Internet+der+Dinge.html

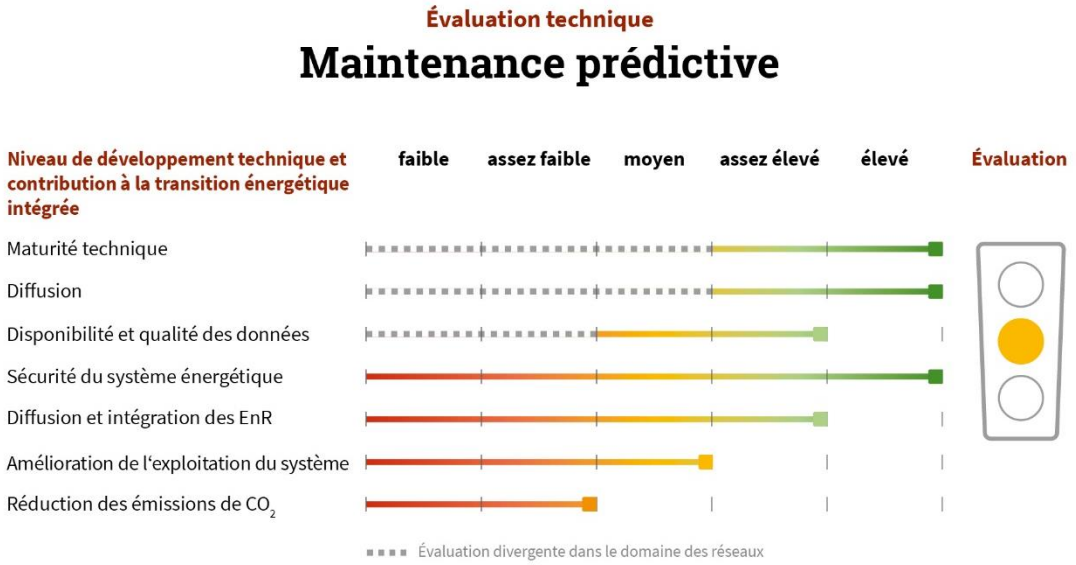

Figure 20 : évaluation technique du champ d'application « maintenance prédictive »

Maintenance, réparation et démantèlement

Bien que le champ « maintenance, réparation et démantèlement » comprenne de multiples applications, le recours aux robots pour le démantèlement d'installations dangereuses ou difficiles d'accès est l'un des principaux cas d'utilisation. Toutefois, les robots autonomes nécessaires à un tel usage sont encore en phase précoce de développement. Cela est dû avant tout à la grande complexité des tâches très variables à accomplir ainsi qu'aux coûts de développement, à l'entraînement et à la recherche sur les robots qui en découlent. Aussi, il n'existe à ce jour que peu d'offres commerciales et les applications sont en grande majorité toujours au stade de la recherche. Le robot escaladeur du projet SMART (*Scanning, Monitoring, Analysing, Repair and Transportation*) est un exemple d'application toujours en phase de développement. Ce robot sert de nacelle pour l'entretien des éoliennes.[16]

Une autre application vise à améliorer la planification des processus de démantèlement longs et complexes du secteur de l'énergie. En principe, l'IA pourrait ici être utile, mais il manque encore les données d'entraînement nécessaires à la concrétisation d'une éventuelle application. À l'avenir, la base de données disponibles pourra être renforcée en documentant les problèmes survenus de manière détaillée et standardisée. Cette application de l'IA n'entraîne pas d'économies directes de CO_2, mais peut conduire à une réduction des coûts dans les domaines de la maintenance, de la réparation et du démantèlement. Ainsi, dès que cette application sera commercialement disponible, l'exploitation du système devrait devenir plus rentable.

Dans l'ensemble, ce champ d'application contribue à la sécurité du système énergétique, mais on manque encore de données fiables et en quantité suffisante. Comme pour la maintenance prédictive, les réductions d'émissions de CO_2 ne sont pas directement chiffrables. Ainsi, ce champ d'application est évalué comme faible du point de vue technique.

[16] Cf. https://www.fh-aachen.de/fachbereiche/maschinenbau-und-mechatronik/forschung-projekte/forschungsprojekte/smart-kletterroboter/

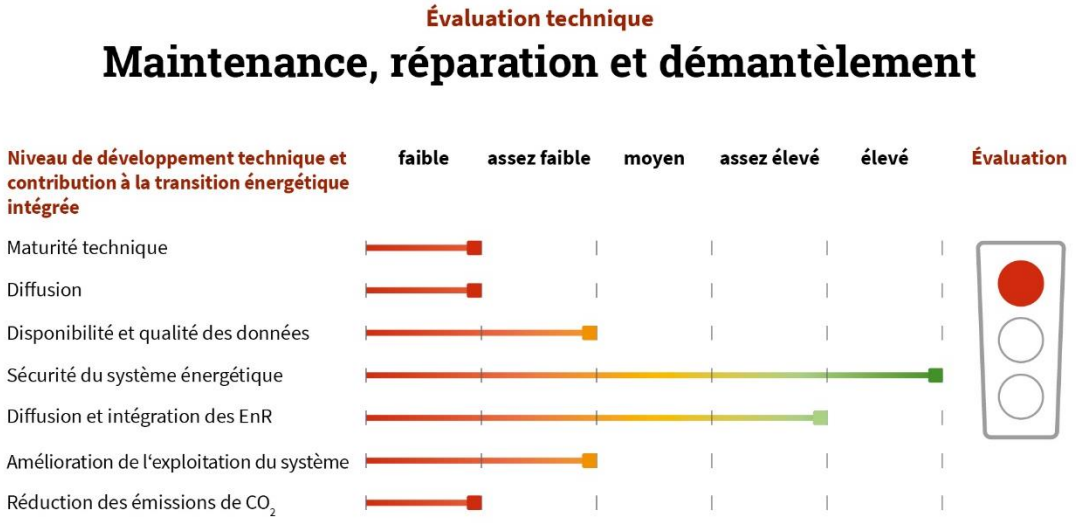

Figure 21 : évaluation technique du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »

Mesures de sécurité

Les cyberattaques sur les infrastructures critiques peuvent compromettre la sécurité de l'approvisionnement (Berman *et al.*, 2019). Dans le domaine de la sécurité informatique, l'IA peut aider à identifier à l'aide de capteurs les attaques par déni de service (*denial of service*) ou injection de données erronées (*false data injection*).[17] En utilisant des jumeaux numériques, il est possible d'identifier plus tôt les états critiques du réseau. Le comportement abusif de certains acteurs du marché peut également être détecté en identifiant des anomalies systématiques dans les périmètres d'équilibre. Pour ce faire, l'analyse des données relatives aux processus normaux et aux irrégularités est un prérequis indispensable. Ainsi, la quantité limitée de données d'entraînement en matière de cyberattaques, également due au faible nombre des événements en question, constitue un obstacle au développement des modèles. En outre, le manque d'intelligibilité des algorithmes relativement complexes et des outils d'aide à la décision qu'ils générèrent peut s'avérer problématique pour les utilisateurs (Bakovic *et al.*, 2020).

Dans le monde physique, l'IA peut par exemple être utilisée dans la reconnaissance d'images de vidéosurveillance pour détecter les situations dangereuses (EnBW, 2018). Selon IDC Energy Insights, 5 % des fournisseurs d'énergie européens ont recours à l'IA en matière de sécurité et 15 % envisagent d'y avoir recours dans ce domaine (IDC, 2019). Outre le manque de données, la maturité technique actuelle de l'IA pour les mesures de sécurité n'est pas encore élevée. Afin d'obtenir les données d'entraînement nécessaires, une approche possible consiste à élaborer et simuler des scénarios pertinents.[18]

Il n'est pas possible de déterminer si ce champ d'application apporte une contribution notable à la transition énergétique intégrée, car il n'entraîne pas de réduction directe des émissions de CO_2, ne contribue pas à l'intégration des EnR ni n'améliore l'exploitation du système de manière significative.

[17] Une attaque par déni de service (*denial-of-service attack*) est une sollicitation excessive d'un site web qui entraîne la surcharge du serveur et rend par conséquent le site indisponible. L'injection de données erronées (*false data injection*) désigne une attaque au cours de la laquelle des données erronées sont présentées à des capteurs sous forme de signaux (He *et al.*, 2018).
[18] Ainsi, un projet du laboratoire national d'Argonne (États-Unis) entraîne l'IA à l'aide de scénarios résolus (simulés) à l'avance dans le but d'augmenter la vitesse de calcul en cas d'application réelle. Pour plus d'informations, consulter : www.anl.gov/article/artificial-intelligence-can-make-the-us-electric-grid-smarter.

L'IA pourra probablement contribuer à améliorer la sécurité des réseaux électriques intelligents (*smart grids*), mais les données nécessaires à cet objectif ne sont pas encore disponibles, ni quantitativement ni qualitativement. D'une manière générale, ce champ d'application est donc évalué comme faible du point de vue technique.

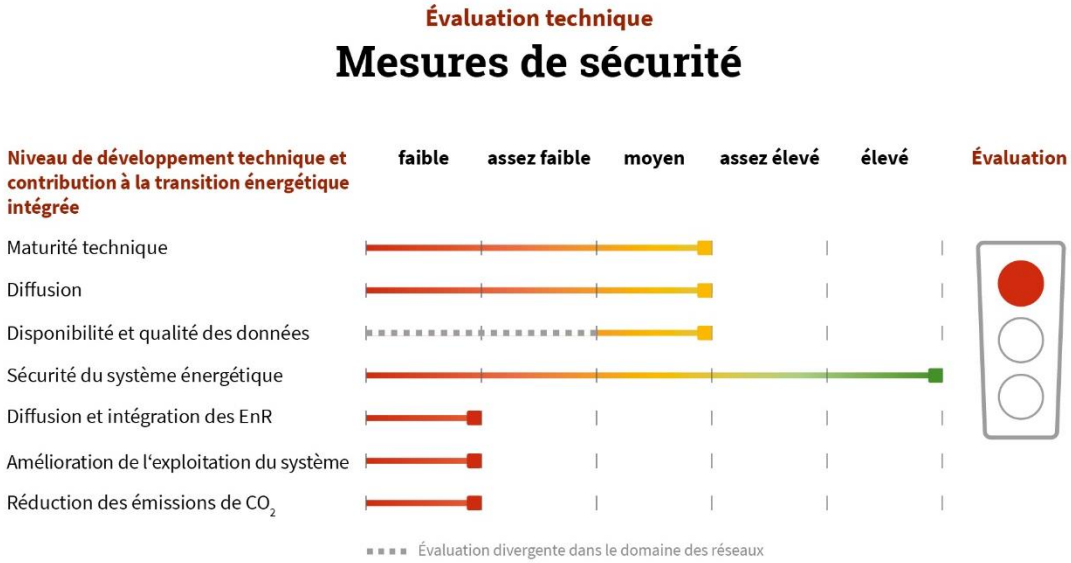

Figure 22 : évaluation technique du champ d'application « mesures de sécurité »

Participation simplifiée des consommateurs actifs

En ce qui concerne la participation simplifiée des consommateurs actifs sur le marché de l'énergie, l'IA est déjà utilisée commercialement et son application technique est bonne. Grâce aux processus d'apprentissage de l'IA utilisés (régression, classification, apprentissage par renforcement et RNA), les exigences de ce champ d'application en termes de puissance de calcul sont peu élevées. Toutefois, en raison de la lenteur de diffusion des appareils contrôlables chez les particuliers, le déploiement du plein potentiel de ce champ d'application se trouve retardé. Avec la disponibilité croissante des compteurs intelligents, ce déficit pourrait à l'avenir être comblé. L'intégration du PV chez les particuliers, déjà très avancée, constitue une exception. Dans l'industrie, le commerce et les services, la diffusion des appareils contrôlables pourrait se dérouler un peu plus rapidement.

L'application de l'IA à la régulation de plusieurs consommateurs ou charges peut induire une perturbation locale du système énergétique. Dans le cas de maisons individuelles et de bâtiments isolés, les répercussions sont uniquement locales et ne créent donc pas de faille de sécurité pour l'ensemble du système énergétique.

En optimisant le rapport entre production et consommation, ce champ d'application peut fournir une contribution à la transition énergétique, entre autres à travers un contrôle efficace du chauffage (notamment par la mise en évidence de comportements de chauffage inefficaces – par exemple, une pièce est chauffée tandis que la pièce attenante est climatisée) ou un alignement de la consommation sur les données météorologiques et la production PV attendue. Il est ainsi possible d'économiser les énergies fossiles et réduire les émissions de CO_2.

Compte tenu de la diffusion effectivement lente des appareils contrôlables chez les particuliers et du potentiel de réduction des émissions de CO_2 en revanche assez élevé, ce champ d'application est évalué comme moyen du point de vue technique.

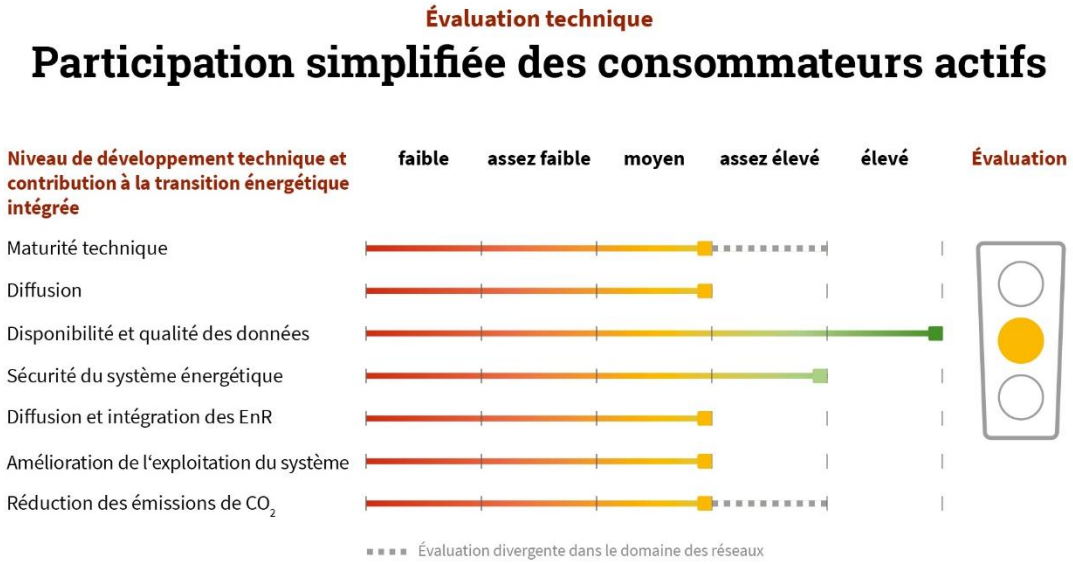

Figure 23 : évaluation technique du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »

Individualisation de produits et mesures marketing

La personnalisation des produits est déjà en partie répandue dans le secteur. Néanmoins, une plus large diffusion dans les entreprises demandera encore quelques années, car les processus nécessaires doivent être mis en place et que la question de la protection des données doit être résolue au cas par cas pour chaque société. En ce qui concerne les entreprises, diverses sources de données doivent tout d'abord être réunies afin de pouvoir proposer, sur cette base, des produits et mesures les plus adaptés possibles. Ce regroupement de diverses données clients telles que l'adresse ou les données de consommation présente de possibles défis en matière de réglementation (cf. partie 3.3). Selon IDC Energy Insights, 5 % des fournisseurs d'énergie européens ont actuellement recours à l'IA pour obtenir des recommandations en matière de vente et 18 % envisagent d'y avoir recours dans ce domaine (IDC, 2019). Une rapide augmentation de l'utilisation et de la commercialisation est donc à prévoir.

Les répercussions de ce champ d'application sur la transition énergétique intégrée sont assez faibles. Toutefois, un marketing ciblé peut augmenter l'attractivité des produits EnR et ainsi favoriser une plus rapide diffusion des énergies renouvelables. Il n'est par contre pas possible d'en mesurer directement les retombées en termes d'émissions de CO_2. Tout au plus, ces actions sont des mesures d'accompagnement.

Si la personnalisation des produits est aujourd'hui en partie répandue, sa contribution à la transition énergétique intégrée est toutefois faible. Aussi, ce champ d'application est évalué comme moyen du point de vue technique.

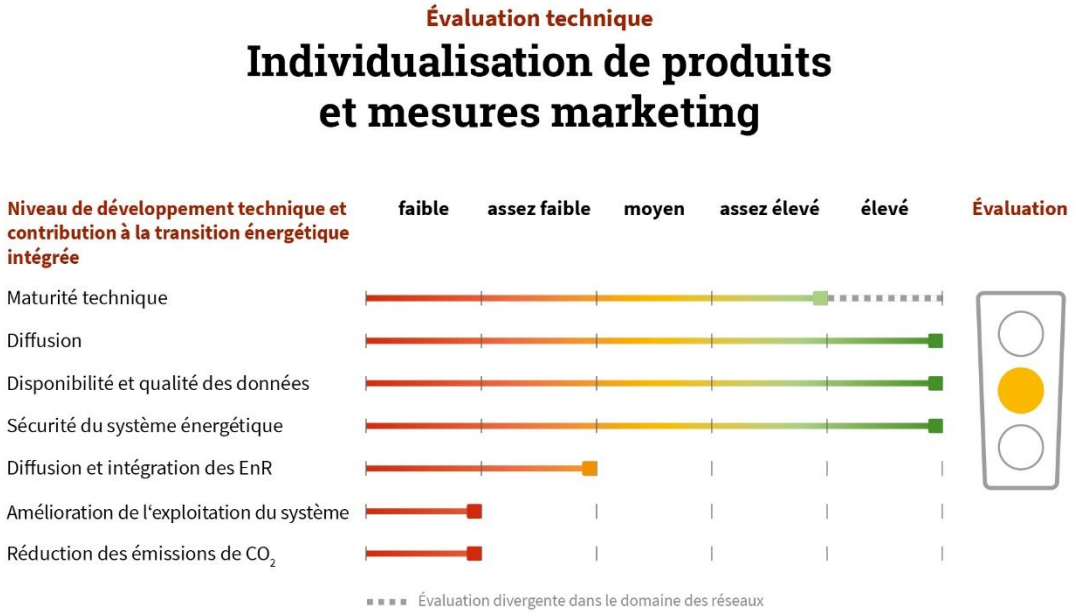

Figure 24 : évaluation technique du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »

Automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution

L'automatisation des processus peut augmenter l'efficience (en termes de coûts ou de temps) de la gestion des compteurs et des activités de distribution. Les processus standards de communication avec les clients – en particulier les programmes automatisant la facturation et autres services comparables, qui disposent de données suffisantes en termes quantitatifs et qualitatifs – sont déjà commercialement utilisés. Déjà 10 % des fournisseurs d'énergie européens ont automatisé leur service client et 13 % envisagent d'utiliser l'IA dans ce domaine (IDC, 2019). Afin de répondre aux exigences en matière de protection des données, les données clients doivent à cet égard être protégées contre la consultation par des personnes extérieures.

L'enregistrement et l'analyse automatisés par l'IA des échanges avec les clients, en particulier les communications téléphoniques, peuvent servir à identifier et classer les besoins des clients.[19] Cette démarche peut accroître la qualité du traitement des données disponibles des clients et permettre une meilleure compréhension des problèmes et besoins de ces derniers. Les processus, produits et actions commerciales en amont et en aval peuvent ainsi être personnalisés et améliorés.

La contribution de l'automatisation des mesures, des facturations et des activités de distribution à la transition énergétique intégrée ne peut pas être établie, notamment car il n'existe pas de différence entre EnR et énergies fossiles en termes de potentiel d'optimisation.

Puisqu'aucune contribution à l'intégration des EnR n'est à prévoir, mais que les méthodes de ce champ d'application sont déjà largement utilisées, ce dernier est évalué comme moyen du point de vue technique.

[19] Pour cela, des méthodes de traitement du langage naturel (TLN) sont utilisées. Consulter par exemple : https://medium.com/syncedreview/natural-language-processing-in-call-centres-b572da4da5dc.

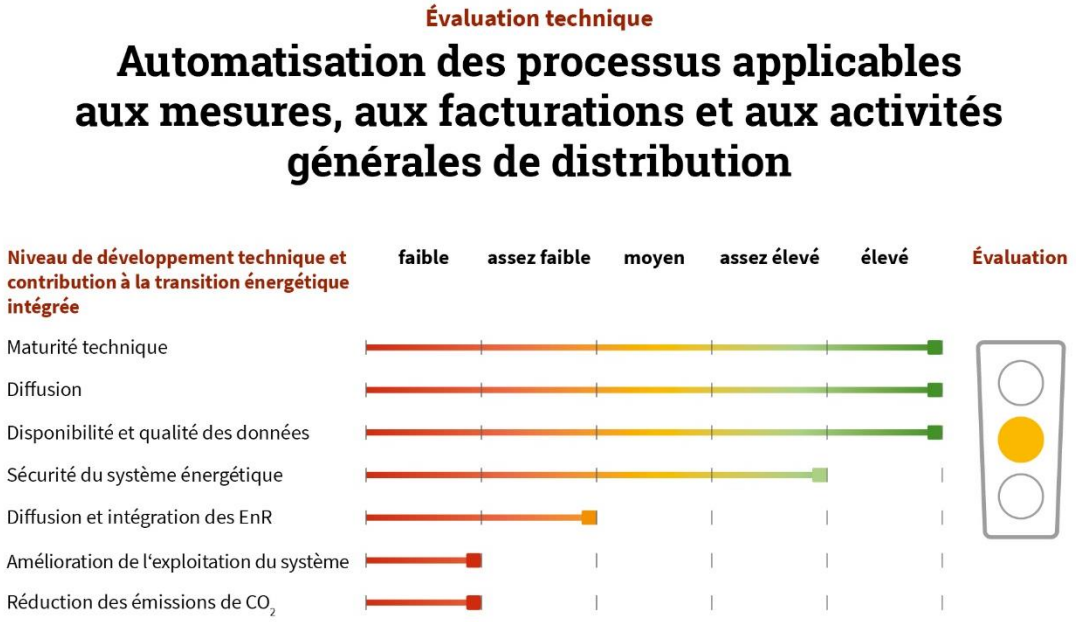

Figure 25 : évaluation technique du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »

Synthèse de l'évaluation technique

D'une manière générale, peu d'obstacles techniques s'opposent à l'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie. Dans les différents champs d'application, certains domaines (en particulier en ce qui concerne les réseaux) manquent toutefois encore de données suffisantes pour que leur potentiel soit mieux exploité. Néanmoins, la maturité technique en elle-même semble n'être que rarement un problème.

C'est avant tout dans les champs **prévisions**, **optimisation des stocks** et **optimisation de l'exploitation** que l'IA peut contribuer à l'intégration des EnR et à la réduction des émissions de CO_2. Dans d'autres applications, l'IA accroît principalement l'efficacité, indépendamment du type de production d'énergie (conventionnelle ou renouvelable). La contribution à la transition énergétique est assez faible dans les champs d'application suivants : **mesures de sécurité**, **participation simplifiée des consommateurs actifs**, **individualisation de produits et mesures marketing** et **automatisation des processus**.

Le niveau de maturité technique est particulièrement élevé dans les champs d'application **prévisions**, **individualisation de produits et mesures marketing** et **automatisation des processus**. D'un point de vue technique, les champs d'application les moins avancés sont **maintenance, réparation et démantèlement** et **mesures de sécurité**. Dans ces domaines, soit le stade de l'utilisation commerciale de l'IA est encore loin, soit la contribution de celle-ci à l'intégration des énergies renouvelables et à la réduction des émissions de CO2 est très faible.

3.2 Évaluation économique

Les acteurs du secteur ont recours à l'IA pour diverses raisons. Ils peuvent vouloir augmenter l'exploitation de leurs actifs, fixer des prix plus élevés, accroître leurs ventes ou encore minimiser les temps d'arrêt superflus de leurs installations. Mais les avantages escomptés s'accompagnent toujours de coûts. Ainsi, un investissement initial, par exemple en puissance de calcul et dans l'installation de capteurs, s'avère nécessaire. Le rapport entre les coûts et les avantages détermine la rentabilité des différents champs d'application. Toutefois, en raison de sa contribution particulière à la transition énergétique intégrée, un champ d'application peut également être digne de financement sans présenter de rentabilité initiale. En principe, les coûts et les avantages doivent donc être appréciés dans leurs dimensions temporelle et économique. Tandis que les coûts interviennent la plupart du temps dès le commencement de l'utilisation (investissements en puissance de calcul, drones, etc.), les avantages attendus peuvent très bien ne se manifester qu'à long terme (fidélisation des clients améliorée par un contact personnalisé, réduction des temps d'arrêt, etc.).

Parallèlement aux retombées microéconomiques individuelles (p. ex. rendement accru par des prévisions précises basées sur l'IA) pour les différents acteurs du secteur de l'énergie (producteurs, négociants, gestionnaires de réseaux, consommateurs, etc.), l'utilisation de l'IA implique également des conséquences pour la société tout entière, c'est-à-dire au niveau macroéconomique. Par exemple, les mesures de sécurité améliorent la sécurité générale de l'approvisionnement dans les mondes physique et virtuel et contribuent ainsi à la qualité de vie élevée et à l'attractivité de l'Allemagne en tant qu'espace économique. Une exploitation du réseau rendue plus efficace et plus sûre par l'IA profite aux consommateurs, qui jouissent ainsi d'une qualité d'approvisionnement élevée à de faibles tarifs d'accès au réseau. En outre, le recours à des outils basés sur l'IA permet au consommateur d'optimiser son auto-approvisionnement et de participer activement aux processus du secteur de l'énergie (cf. démocratisation de l'énergie). Ces possibilités peuvent conduire à une meilleure compréhension des enjeux du secteur de l'énergie ainsi qu'à un consensus plus large en matière de protection du climat.

Le classement chronologique et économique des champs d'application est présenté dans la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**. Les applications de l'IA dans les domaines des réseaux et des mesures de sécurité augmentent la sécurité de l'approvisionnement et sont donc de dimension macroéconomique. Les prévisions, l'optimisation de l'exploitation et des stocks pour la production et le négoce, la maintenance prédictive ainsi que l'automatisation des processus et la personnalisation de la fourniture augmentent quant à eux la rentabilité des entreprises et sont donc de dimension microéconomique. Les possibilités de participation offertes aux consommateurs augmentent l'attractivité de la transition énergétique au niveau individuel et peuvent dans le même temps améliorer leur acceptation par la société dans son ensemble. C'est pourquoi ce champ d'application se situe à cheval entre les deux dimensions économiques. Le classement chronologique suit le niveau de développement technico-économique (cf. parties 3.1.2 et 3.2.2).

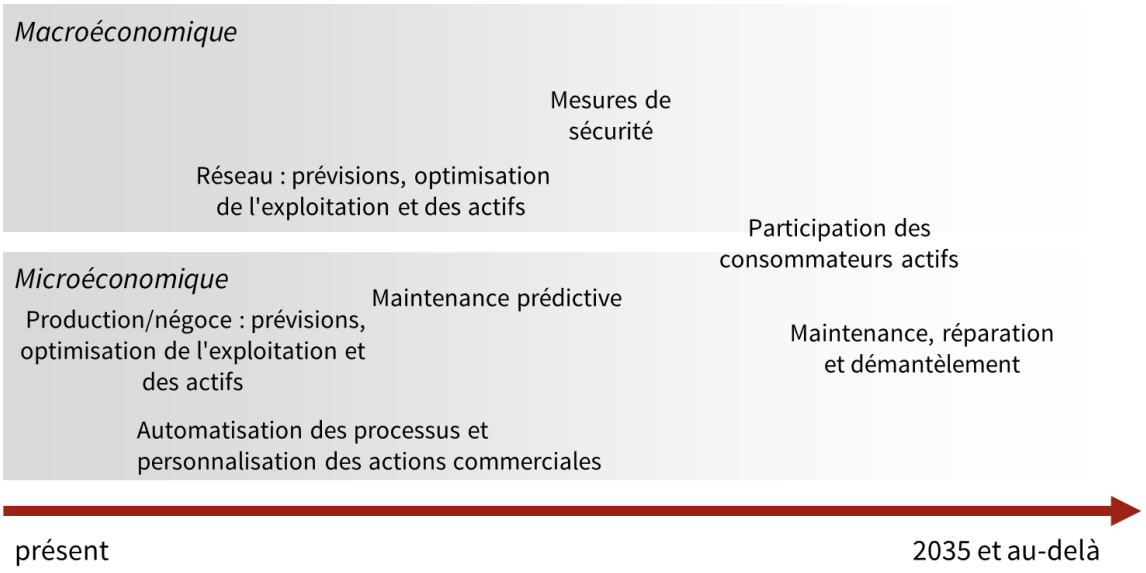

Figure 26 : classification chronologique et économique des champs d'application

L'évaluation économique se base sur des indicateurs liés aux coûts ou aux avantages. Les coûts d'un champ d'application sont engendrés soit par des investissements, soit par le développement de processus, structures et compétences. Les indicateurs suivants sont issus de ce constat :

- **Investissements en puissance de calcul ou en installations sur site**
- **Acquisition de compétences en IA**
- **Accès aux données**
- **Adaptation des processus**

Contrairement aux avantages, la plupart des coûts sont valables pour tous les champs d'application. De ce fait, l'évaluation des coûts est menée principalement dans l'évaluation générale qui suit, tandis que la partie 3.2.2 met en lumière les particularités propres à chaque champ d'application.

Les avantages économiques d'un champ d'application donné sont déterminés par l'augmentation de l'efficience et des revenus. Au sein de ces deux catégories, on distingue les indicateurs suivants :

Augmentation de l'efficience

- **Exploitation accrue ou plus ciblée des actifs**
- **Réduction des dépenses inutiles et investissement dans les actifs plus ciblé**
- **Diminution des arrêts inutiles des actifs**
- **Soulagement des utilisateurs**

Augmentation des revenus

- **Augmentation des prix**
- **Création de débouchés supplémentaires et accès à de nouvelles ressources**

Ces aspects peuvent jouer un rôle direct ou stratégique pour l'utilisateur. Ainsi, l'utilisation de l'IA peut renforcer l'attractivité de l'entreprise (p. ex. grâce à une numérisation plus avancée due à la modernisation de la structure de l'entreprise) et de ce fait fournir un avantage décisif, par exemple lors de l'octroi de concessions pour les gestionnaires de réseaux. Autre exemple, l'IA peut faciliter l'ouverture d'un nouveau marché en tant que pionnier en permettant de proposer une offre de gestion de la recharge à l'aide d'une centrale virtuelle, et cela même si la masse critique de véhicules électriques n'est atteinte que des années plus tard. En outre, un meilleur accès aux clients engendre souvent des opportunités de ventes croisées pour d'autres produits. Comme tous les points précités ne s'appliquent pas à tous les champs d'application, la partie 3.2.1 indique les champs concernés par les différents indicateurs de coûts présentés.

3.2.1 Évaluation économique générale de tous les champs d'application

Investissements en puissance de calcul ou en installations

On distingue deux types d'investissements. D'une part, les utilisateurs investissent dans des logiciels et du matériel informatique pour pouvoir exploiter les modèles d'IA. La disponibilité d'une puissance de calcul suffisante, dans ses propres centres de données ou grâce au *cloud computing*, constitue ici un facteur particulièrement déterminant. Les entreprises du secteur de l'énergie disposent d'une puissance de calcul suffisante au regard des applications actuelles, mais avec l'utilisation de données à haute résolution spatiale et temporelle ainsi que de fichiers images et audio, la puissance de calcul nécessaire devrait augmenter (Calabrese, 2019).

À cela s'ajoute une consommation accrue d'électricité, due en grande partie à la conception des modèles, le temps de calcul, le processeur utilisé et la puissance de ce dernier. Après avoir fait les gros titres, selon lesquels l'IA d'AlphaGo aurait consommé 50 000 fois plus d'énergie qu'une intelligence humaine en jouant contre le meilleur joueur de go du monde (Briman, 2016), Google Deepmind a considérablement réduit la consommation d'énergie de l'application au moyen de nouveaux processeurs et d'une modification de la structure des RNA (Hassabis *et al.*, 2017). L'Agence internationale de l'énergie (AIE) s'attend à une évolution similaire concernant la consommation d'électricité des centres de données. À supposer que la future hausse de la demande d'électricité soit compensée par des gains d'efficience, le niveau actuel de consommation, d'environ 200 TWh au niveau mondial, devrait rester constant dans les prochaines années (AIE, 2019).

D'autre part, des installations sont nécessaires pour la collecte des données et le contrôle. Les besoins d'investissement en la matière sont particulièrement importants au niveau du réseau de distribution et chez les consommateurs.[20] Les gestionnaires de réseau de distribution (GRD) équipent de plus en plus les nœuds de réseau centraux (comme les postes de transformation) de capteurs consultables à distance (EY, 2018). La présence d'une infrastructure locale, standardisée et performante est essentielle à l'exploitation des potentiels identifiés au niveau des consommateurs. Les compteurs intelligents doivent service de base à la mise en place des produits pour le client (p. ex. consommation flexible avec tarification dynamique). Le retard du déploiement et les fonctionnalités aujourd'hui encore limitées entravent à ce jour la diffusion de ces produits. Afin de compenser ces faiblesses, le secteur développe actuellement des composants complémentaires aux interfaces des compteurs intelligents ainsi que de nouvelles stratégies de collecte de données et de contrôle.

[20] Des exceptions existent : cf. partie 3.2.2, exemple pratique – maintenance prédictive.

Acquisition de compétences en IA

Pour combler le besoin en compétences en IA, trois solutions peuvent être mises en œuvre en fonction des activités, conditions et exigences de l'entreprise. Pour le développement des modèles d'IA, il est possible d'embaucher des experts en informatique, de former des collaborateurs ayant des connaissances préalables en la matière ou bien de confier le développement à un prestataire de services. Cette décision dépend de la fréquence du besoin de renouvellement des compétences en IA, des exigences de sécurité, de la taille de l'entreprise et de la disponibilité des professionnels concernés. En ce qui concerne l'utilisation des résultats du modèle d'IA, les collaborateurs doivent être formés de sorte à posséder la compréhension nécessaire à l'évaluation et à la remise en question de ces résultats (Brown, 2007).

Disponibilité des données

La qualité de chaque modèle d'IA dépend fortement de la disponibilité des données nécessaires et de leur qualité (Capgemini, 2017). Il convient ici de faire la distinction entre trois types de données : les données déjà disponibles et utilisables, les données disponibles, mais devant être rendues utilisables[21] et les données devant être collectées ou achetées (Redman, 2018). Par ailleurs, des informations pertinentes peuvent exister, mais ne pas avoir été documentées en vue d'un traitement automatisé (p. ex. des instructions pour la réparation et la maintenance). Il est dans ce cas conseillé d'extraire les données utilisables des supports existants et à cette occasion d'établir des normes pour la documentation future.

Le manque de données nécessaires peut avoir plusieurs origines. En effet, les données peuvent ne pas avoir être collectées en raison d'un manque d'infrastructures (cf. *investissements en puissance de calcul ou en installations sur site*). En ce qui concerne l'évaluation des mesures de sécurité et de la maintenance prédictive, le faible nombre d'incidents peut poser problème pour l'entraînement des modèles (cf. *diminution des arrêts inutiles des actifs)*. À cet égard, des recherches sont actuellement menées sur des approches visant à générer artificiellement des données d'incidents (Sarkar, 2018). Lorsque les données structurelles sont disponibles en quantité suffisante pour produire une représentation précise de l'actif, on peut simuler le déroulement de processus et générer virtuellement des données d'incidents. Il peut également être judicieux de collecter et stocker les données actuelles en vue d'une utilisation ultérieure.

En ce qui concerne les données clients, il règne un certain flou juridique autour de la délimitation du concept de données à caractère personnel (cf. partie 3.3). Une définition précise des données clients ainsi que des normes en matière d'anonymisation suffisante des données peuvent ici s'avérer utiles. Par ailleurs, l'absence de base de données peut être compensée par des obligations légales de mise à disposition de données, des dons de données, la mise en place de plateformes de données ou encore l'achat de données. Par exemple, le projet de démonstration C/sells du programme SINTEG développe des interfaces standardisées et des processus automatisés entre les différents GRD et les gestionnaires de réseau de transport (GRT) afin de faciliter l'échange de données relatives aux goulots d'étranglement le long de la chaîne de coordination (Ebe, 2018). Quant aux applications pour les clients finaux (comme l'optimisation de l'autoconsommation), le regroupement de données issues de groupes de clients similaires peut aider à améliorer la qualité des services.

[21] Les données disponibles, mais ne pouvant pas être utilisées pour des raisons réglementaires sont traitées dans la partie 3.3.

Adaptation des processus

La mise en œuvre de l'IA au sein d'une entreprise conduit souvent à l'adaptation de plusieurs processus. Par exemple, la conservation des données et la documentation des contenus se trouvent fortement standardisées (cf. *disponibilité des données*). En ce qui concerne l'interprétation et l'utilisation des résultats, des informations compréhensibles doivent être fournies à l'utilisateur. En effet, le modèle doit être intelligible pour l'utilisateur et celui-ci doit acquérir une compréhension technique suffisante du sujet (cf. *acquisition de compétences en IA*). Pour mieux évaluer la fiabilité de l'IA, les mesures basées sur l'IA peuvent être temporairement mises en place en parallèle des mesures conventionnelles. Cette méthode dite de *shadowing* permet de comparer les deux types de mesures, d'augmenter la confiance dans la nouvelle approche et de mettre en évidence les évolutions nécessaires. Par ailleurs, les questions de responsabilité (notamment en cas d'externalisation) doivent être clarifiées.

Les mesures évoquées plus haut peuvent évidemment représenter un coût considérable pour l'entreprise. Parallèlement, la transformation numérique simplifie également les processus décisionnels en entreprise : avec une structure décisionnelle horizontale, les décisions peuvent être prises par l'IA et l'utilisateur compétent. De surcroît, la collaboration au sein de l'entreprise (et peut-être même au-delà) se voit renforcée (Abdelkafi, 2019).

Exploitation accrue ou plus ciblée des actifs

Champs d'application concernés : prévisions, optimisation de l'exploitation, participation simplifiée des consommateurs actifs

L'IA peut aider à accroître l'exploitation des réseaux d'électricité ainsi que des installations de production et de stockage en appliquant un mode de fonctionnement plus efficient. Les prévisions d'utilisation servent de base à ces applications. Des mesures d'ajustement peuvent alors être déduites de cette base et mises en œuvre pour augmenter l'exploitation. Et même les consommateurs ont la possibilité d'optimiser leurs actifs.

Réduction des dépenses inutiles et investissement dans les actifs plus ciblé

Champs d'application concernés : prévisions, optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques, maintenance prédictive, participation simplifiée des consommateurs actifs, individualisation de produits et mesures marketing

À l'instar de l'exploitation rendue plus efficience, les investissements associés peuvent également être mieux planifiés. Par ailleurs, l'IA permet de mener des actions commerciales ou bien des opérations de maintenance des actifs plus ciblées et ainsi d'éviter les dépenses inutiles.

Diminution des arrêts inutiles des actifs

Champs d'application concernés : maintenance prédictive, mesures de sécurité

Dans le secteur de l'énergie, les arrêts de fonctionnement des actifs peuvent entraîner des baisses de rendement et des interruptions d'approvisionnement, et par là même occasionner des dommages à l'économie tout entière. Ce dernier point concerne en premier lieu les actifs d'importance systémique. Les arrêts peuvent être causés par des perturbations internes ou externes. Le défi que posent ces deux champs d'application est le manque de données relatives aux incidents, soit en raison de la fréquence trop faible de ces derniers, soit en raison d'une absence de documentation par le passé (cf. *disponibilité des données*).

Soulagement des utilisateurs

Champs d'application concernés : optimisation de l'exploitation, maintenance, réparation et démantèlement, participation simplifiée des consommateurs actifs, individualisation de produits et mesures marketing, automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution

Les informations générées par l'IA aident les utilisateurs de bien des manières. D'une part, elles peuvent contribuer à diminuer les efforts déployés pour réaliser les tâches courantes et reporter ceux-ci sur des tâches plus complexes. En ce qui concerne l'automatisation des processus applicables aux mesures, à la facturation et aux activités de fourniture, il est par exemple possible d'automatiser la gestion et le traitement des messages (par des *chatbots* et des assistants téléphoniques humanoïdes) ainsi que la détermination de profils de charge ou de valeurs de substitution. D'autre part, les systèmes d'assistance basés sur l'IA peuvent fournir les informations nécessaires en cas de manque d'expertise ou d'absence de valeurs prévisionnelles. Cela s'applique particulièrement à l'optimisation de l'exploitation des réseaux, à la production ainsi qu'aux activités de maintenance, de réparation et de démantèlement. Sur la base des données collectées, l'IA peut formuler des recommandations pour le diagnostic d'un problème et exécuter des actions pour résoudre ce dernier. Les accessoires technologiques à porter sur soi (comme les Google Glass) ou les robots pourraient également être utiles dans les domaines de la maintenance et de la réparation. Grâce aux mesures visant l'automatisation des connaissances spécialisées, l'entreprise réduit les risques d'évaluation humaine erronée et de manque ou fluctuation de personnel. En entreprise, les outils d'assistance basés sur l'IA peuvent également faciliter l'entrée dans le métier[22] et ainsi aider aussi les employés plus âgés (cf. vieillissement de la population)[23].

Augmentation des prix

Champs d'application concernés : prévisions, optimisation de l'exploitation, participation simplifiée des consommateurs actifs

L'IA peut aider à acquérir une meilleure compréhension des prix du marché et formuler sur cette base des recommandations d'action. Cette aide peut s'appliquer à la commercialisation d'électricité et de flexibilité sur le marché de l'électricité, à la prestation de services auxiliaires, à la commercialisation des produits associés ainsi qu'à l'optimisation de la consommation d'électricité des consommateurs actifs.

Création de débouchés supplémentaires et accès à de nouvelles ressources

Champs d'application concernés : participation simplifiée des consommateurs actifs, individualisation de produits et mesures marketing

En extrayant les informations pertinentes des données de consommation, l'IA peut aider à mieux comprendre les types de comportements et les besoins des consommateurs et à y apporter des réponses sur mesure. Sans le recours à des systèmes d'apprentissage automatique, l'identification de profils individuels et la formulation de recommandations ne seraient pas financièrement viables pour de nombreuses entreprises. La contribution de l'IA dépend ici également de la taille de l'entreprise. D'une part, les grandes entreprises sont mieux à même de généraliser l'automatisation et disposent d'une concentration de données plus importante. Par exemple, l'exploitation d'un réseau de distribution peut en effet être davantage renforcée que dans le cas de plus petites unités.

[22] Cela suppose des stratégies adaptées de formation à l'IA (cf. *acquisition de compétences en IA*).
[23] L'examen des rapports annuels de ces dernières années des principaux fournisseurs d'énergie révèle qu'en moyenne plus d'un quart des collaborateurs ont plus de 55 ans. Selon les experts, les réseaux et les centrales électriques sont les domaines les plus concernés par ce vieillissement.

D'autre part, la facilité grandissante d'accès à l'IA (cf. *open source*, externalisation) permet également à de plus petits acteurs d'utiliser cette technique. À cet égard, l'ouverture de l'entreprise vis-à-vis des nouvelles technologies est décisive (Weiler, 2018).

3.2.2 Particularités économiques des champs d'application

Cette partie analyse en détail les neuf champs d'application d'un point de vue économique en fonction des différents indicateurs retenus pour chacun. L'évaluation décrit séparément les indicateurs d'avantages particulièrement pertinents pour le champ d'application considéré. Les facteurs « mous » (aide fournie aux collaborateurs plus âgés nouvellement embauchés, augmentation de l'attractivité de l'entreprise grâce à un niveau de numérisation élevé, etc.) sont pris en compte en termes qualitatifs.

Prévisions

L'utilisation répandue de l'IA pour établir des prévisions (cf. 2.2.1) souligne l'attractivité de ce champ d'application d'un point de vue économique. Ces prévisions servent en effet de base essentielle à l'optimisation de l'exploitation et des stocks.

Les investissements dans les capacités de production et du réseau sont coûteux et impliquent une certaine période de démarrage. Des prévisions à long terme solides, qui intègrent un grand nombre de paramètres grâce à l'IA, viennent étayer les décisions d'investissement et minimisent les risques d'erreurs en la matière.

Les prévisions précises du rendement électrique des EnR dépendantes des conditions extérieures permettent d'affiner les modalités de leur commercialisation, les prévisions de flux de charge permettent d'augmenter l'exploitation du réseau de manière ciblée, et les prévisions des prix de l'électricité améliorent la planification opérationnelle des producteurs contrôlables.

Les prévisions des prix de l'électricité peuvent également servir à fixer des prix plus élevés. La prévision des prix, leur analyse et l'optimisation du rendement entre différents marchés comptent parmi les activités centrales d'un négociant d'électricité. Lorsque les stratégies d'enchères de celui-ci prennent des formes extrêmes (exercice du pouvoir de marché par un offreur jouissant d'une position dominante, arbitrage – forme spéciale d'optimisation entre deux marchés), les coûts du système peuvent augmenter de manière disproportionnée. On soupçonne ainsi l'augmentation des prix du marché de l'énergie de réglage de juin 2019 d'être le résultat d'une telle optimisation (Tix, 2019). Le régulateur et l'opérateur du marché ont imaginé combattre ces dérives en mettant en place une réglementation adaptée. Que l'on se place du point de vue du négociant, qui applique ces stratégies d'enchères, ou du point de vue du régulateur et de l'opérateur du marché, qui cherchent à prouver qu'elles ont été appliquées, le recours à l'IA et à sa capacité à traiter une énorme quantité de données améliore l'exploration des possibilités. La mise en place d'une gestion des goulots d'étranglement basée sur le marché a créé un espace pour les arbitrages. Le projet enera du programme SINTEG illustre la manière dont un système de contrôle peut identifier et limiter les arbitrages (Höckner *et al.*, 2019 ; Geers, 2019).

En ce qui concerne les coûts de ce champ d'application, les réseaux présentent des besoins d'investissements plus importants en capteurs (notamment dans le cadre du déploiement des compteurs intelligents) et dans le traitement des informations disponibles. En revanche, avant tout dans le domaine des prévisions de production, les données internes nécessaires sont disponibles en qualité et qualité suffisantes.

D'une manière générale, l'évaluation économique du champ d'application « prévisions » est moyenne (dans le domaine des réseaux) à élevée en termes de rapport coûts-avantages.

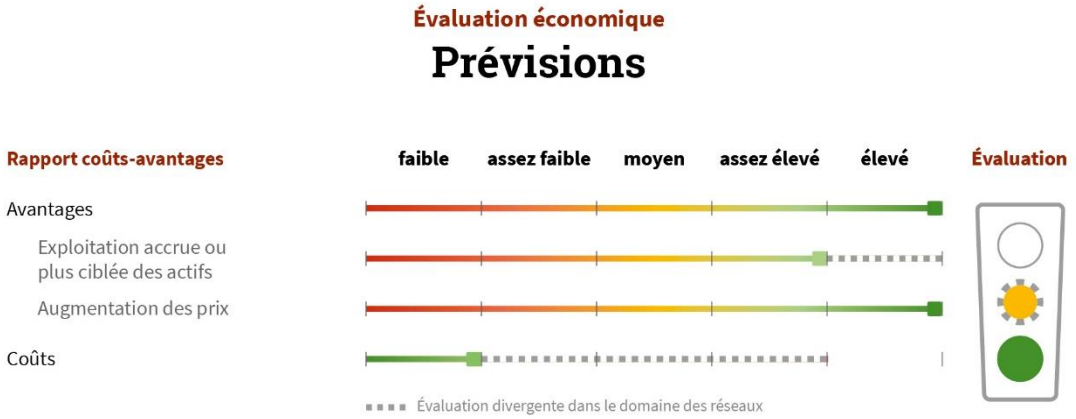

Figure 27 : évaluation économique du champ d'application « prévisions »

Optimisation de l'exploitation

Dans ce champ d'application, notamment en matière de vente d'EnR dépendante des conditions extérieures, l'IA peut traiter des données à plus haute résolution spatiale et temporelle et ainsi produire des prévisions de meilleure qualité. Dans le cas d'EnR à tarif de rachat garanti, le GRT vend l'électricité produite dans le cadre d'un périmètre d'équilibre. Les écarts de ce périmètre d'équilibre sont répartis entre les consommateurs. Dans le cas d'EnR vendue directement, les vendeurs, dans leur rôle de responsables d'équilibre, doivent financer les coûts de ces écarts.

Contrairement aux EnR dépendantes des conditions extérieures, il est possible d'optimiser la planification opérationnelle des installations contrôlables de production et de stockage. Grâce à une meilleure anticipation des prix et une analyse des possibilités d'utilisation sur différents marchés, les temps de démarrage et d'arrêt des centrales électriques peuvent être minimisés. Dans le cas des technologies de stockage, une anticipation précise des périodes critiques en matière d'approvisionnement où les prix sont élevés au regard des capacités de charge et de décharge peut accroître le bénéfice des exploitants d'installations de stockage et renforcer la sécurité d'approvisionnement des consommateurs.

Tandis que des prévisions plus précises permettent d'optimiser la génération d'offres dans le domaine de la production et du négoce, les prévisions en matière de production non dépendante des conditions extérieures et de charge du réseau peuvent aider à déterminer plus précisément l'utilisation de la capacité limitée du réseau et à mettre en place des mesures en cas de goulot d'étranglement. L'IA peut aider à identifier les portions de réseau surchargées, en particulier au niveau du réseau de distribution. Car si les capteurs existants et la topologie permettent déjà des prévisions précises au niveau du réseau de transport, il demeure encore quelques angles morts au niveau du réseau de distribution en raison du manque de capteurs et de sa structure maillée complexe. La quantité croissante de production dépendante des conditions extérieures dans le réseau de distribution, les stratégies d'autoconsommation et les usages à forte consommation pour le chauffage et les transports électriques conduisent à des flux de charge de plus en plus irréguliers avec des pics de production et de charge. Une compréhension plus précise de l'utilisation du réseau est absolument nécessaire pour maintenir la qualité actuelle de l'approvisionnement. Il est pour cela possible de reproduire le réseau sous forme de jumeaux numériques en prenant en compte ses utilisateurs et sa topologie et de simuler son utilisation. Les données de portions de réseau similaires peuvent être utilisées pour aider à compenser le manque de données sur d'autres portions. L'affectation des données de remplacement à leurs portions de réseau respectives est effectuée de manière automatique grâce à l'IA.

Dans le cadre du système Redispatch 2.0 (cf. partie 3.3), les utilisateurs raccordés au réseau de distribution sont davantage impliqués dans la gestion de la congestion. Les données de l'expérience et les informations statiques concernant les effets de la connexion ou déconnexion des utilisateurs sur l'utilisation du réseau atteignent leurs limites. Les effets de différentes mesures de gestion des goulots d'étranglement peuvent eux aussi être simulés en créant des jumeaux numériques du réseau afin de déterminer une configuration optimale. La richesse des données utilisées lors de l'analyse contribue à un ciblage plus précis des mesures. On peut ainsi éviter des coupures massives inutiles et garantir une réaction rapide (Köppl *et al.*, 2019 ; E-Bridge, 2017).

Au moyen de coupures et de reconnexions ciblées, les dépassements locaux de la capacité du réseau peuvent aussi être limités. En raison de leurs pratiques d'autoconsommation ou d'usages comme le chauffage et les transports électriques, le profil de soutirage et d'injection d'un nombre croissant de clients du réseau est irrégulier. Il peut en découler une surcharge du réseau imprévisible. Le traitement d'un plus grand volume de données grâce à l'IA assure une compréhension précise du comportement de consommation et des effets des mesures d'ajustement (cf. partie 3.3). Ces ajustements décidés en concertation avec les clients du réseau peuvent réduire le risque de ruptures d'approvisionnement et de cette manière assurer une transition jusqu'à l'aboutissement des mesures nécessaires de renforcement du réseau ou par endroits éviter tout simplement d'y avoir recours (Fritz *et al.*, 2019).

Comment cela a déjà été expliqué dans l'évaluation économique détaillée consacrée aux prévisions, il est possible de fixer des prix plus élevés à l'aide de l'IA. Notamment en matière de technologies de stockage et de flexibilité de charge, l'IA peut évaluer différentes stratégies d'utilisation afin de tirer le meilleur avantage des pics et creux de prix en prenant en compte divers scénarios et données.

Tandis que les données disponibles et les infrastructures existantes sont suffisantes dans les domaines de la production et du négoce, comme dans le champ d'application des prévisions, la disponibilité des données doit être améliorée dans le domaine des réseaux. La nécessité d'investissement qui en résulte conduit à une évaluation élevée des coûts de ce champ d'application. Néanmoins, l'IA apporte une contribution particulièrement importante et novatrice à l'efficience de l'exploitation du réseau eu égard aux exigences de plus en grandes qui pèsent sur l'exploitation du réseau de distribution (notamment dans le cadre du système Redispatch 2.0).

D'une manière générale, l'appréciation des coûts et des avantages conduit à une évaluation économique moyenne (en matière de réseaux) à élevée.

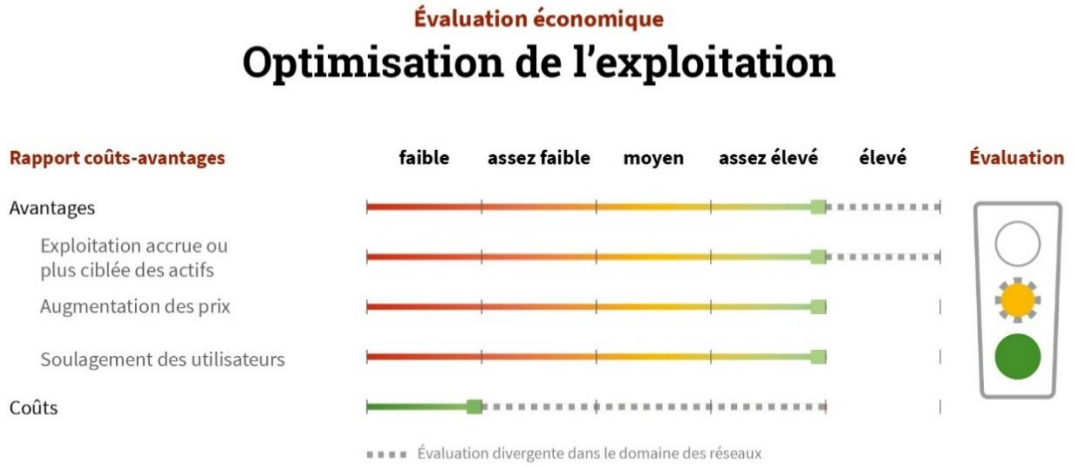

Figure 28 : évaluation économique du champ d'application « optimisation de l'exploitation »

Optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques

Les modèles performants, capables d'exploiter un très grand nombre de données, sont particulièrement clés dans la planification à long terme pour identifier les besoins d'investissement au bon moment et éviter les mauvaises décisions.

Exemple pratique : Geospin – des algorithmes pour déterminer le meilleur emplacement des bornes de recharge

Les individus se déplacent principalement en ville avec un comportement et un but spécifiques. Cela est également valable pour leur utilisation des infrastructures de recharge. L'utilisation d'une borne de recharge dépend notamment de son emplacement géographique. Il est par conséquent important d'identifier un emplacement optimal avant d'installer une borne de recharge. À l'aide des données historiques d'utilisation de 6 000 stations de recharge et de 800 données géographiques externes, l'entreprise Thüga, en collaboration avec Geospin GmbH, a développé un algorithme d'IA capable d'identifier des comportements d'utilisation en termes géographiques et ainsi de calculer avec fiabilité l'utilisation future de chacune des stations à travers toute l'Allemagne. Ce calcul est également possible pour les régions sans expérience.[24]

Dans le domaine de la production, de nombreux paramètres doivent être anticipés et pris en compte afin de garantir une offre d'électricité suffisante à chaque instant et à long terme. Cela concerne aussi bien le régulateur et les GRT, pour ce qui est des questions de mise à disposition de capacités de production, que les investisseurs, dont les investissements en capacités de pointe sur le marché doivent coïncider avec les pics de prix anticipés. En particulier, le choix de la technologie et l'étendue des capacités de stockage dépendent de très nombreux facteurs. Grâce à l'IA, les prévisions portant sur des paramètres donnés (prix, flexibilité de charge, etc.) et les comparaisons avec d'autres stratégies d'investissement peuvent se baser sur une quantité de données bien plus grande, ce qui permet d'identifier des comportements jusque-là imprévisibles et d'éviter les mauvais investissements.

Comme pour la production, les besoins d'investissement dans le réseau peuvent être évalués en considérant différents scénarios et mesures alternatives à l'aide de l'IA. À l'aide d'un jumeau numérique du réseau, qui simule l'utilisation du réseau et indique les surcharges, le réseau peut être renforcé de manière plus adaptée aux besoins. Néanmoins, les bases réglementaires de la planification doivent tout d'abord être adaptées (cf. partie 3.3.2).

L'extension des infrastructures de recharge est une toute nouvelle branche de la planification des infrastructures. La capacité supplémentaire du réseau et les bornes de recharge doivent se trouver là où les propriétaires de véhicule électrique effectuent leur recharge. Au moyen de diverses données d'activité (profil de conduite, données de téléphonie mobile, etc.), il est possible de déterminer s'il s'agit du domicile, du lieu de travail, de bornes publiques ou semi-publiques (sur le terrain d'un supermarché par exemple). Le croisement d'un grand nombre de données différentes et l'extrapolation de schémas à partir de celles-ci peuvent être effectués par l'IA (Geospin, 2018). Sur cette base, il est possible de réduire les coûts d'investissement en optimisant le placement des bornes de recharge.

Comme dans les champs d'application précédemment analysés, les données disponibles et les infrastructures existantes sont suffisantes dans les domaines de la production et du négoce, mais la disponibilité des données doit être améliorée dans le domaine des réseaux.

[24] Plus d'informations sur www.geospin.de

À l'instar des autres champs d'application du groupe « bases décisionnelles générales », l'évaluation économique de ce champ d'application est moyenne (dans le domaine des réseaux) à élevée.

Figure 29 : évaluation économique du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques »

Maintenance prédictive

Une maintenance prédictive adaptée aux besoins permet de réduire les efforts de maintenance et le risque de panne des installations. Cela est particulièrement vrai pour les actifs de grande taille (comme le réseau entier) ou difficiles d'accès (comme les éoliennes en haute mer). Une exploitation complète des données pour la maintenance prédictive serait irréalisable sans l'IA.

Exemple pratique : Schleswig-Holstein Netz AG – savoir aujourd'hui où pourraient avoir lieu demain les coupures de courant

En tant que premier gestionnaire de réseau d'Allemagne, Schleswig-Holstein Netz AG a recours à la maintenance prédictive sur son réseau moyenne tension. Ainsi, les perturbations du réseau d'électricité peuvent être prévues avec trois fois plus de précision qu'avec les processus jusqu'alors en place. Le principe est le suivant : la qualité de toute prévision dépend de la qualité des données sur lesquelles elle se fonde. C'est pourquoi la base de données du modèle de prévision est alimentée par des informations issues de nombreuses sources différentes – des données internes à Schleswig-Holstein Netz AG comme des données acquises en externe. Le projet de maintenance prédictive fait partie intégrante de la stratégie de numérisation de Schleswig-Holstein Netz AG et est mis en œuvre avec le soutien d'E.ON Digital SE.[25]

Sur le réseau comme dans le domaine de la production, une maintenance de type périodique peut conduire au remplacement inutile d'équipements en bon état et à des dépenses évitables. Une maintenance en adéquation avec les besoins, basée sur les données d'exploitation et les anomalies qui en sont extraites, peut contribuer à réduire les dépenses inutiles et à éviter les arrêts d'exploitation. Dans le cas des EnR dépendantes des conditions extérieures, il est également possible d'utiliser l'IA pour programmer la maintenance à un moment de faible rendement.

En cas de défaillance d'un actif, les facteurs internes sont bien souvent un manque de maintenance ou un besoin de remplacement des équipements non identifié (par exemple en raison d'une forte usure imprévue).

[25] Plus d'informations sur www.sh-netz.com/de/schleswig-holstein-netz/innovation/predictive-maintenance-.html

Ces deux causes peuvent être évitées par la maintenance prédictive. En particulier dans le cas d'actifs difficiles d'accès (comme les éoliennes en haute mer), un contrôle basé sur des données peut en partie remplacer les vérifications humaines. En complément des données collectées par des capteurs, des prises d'images et de son réalisées par des drones et des robots peuvent être exploitées.

Si les capteurs sont la plupart du temps déjà en place dans le domaine de la production, des investissements sont toujours nécessaires en ce sens au niveau du réseau d'électricité. Le recours à des robots et des drones dans le cadre de mesures plus complexes impliquent des investissements plus élevés. Il existe actuellement de fortes différences de coûts et de poids parmi les robots utilisés, par exemple pour l'inspection du réseau de transport (Shruthi, 2019). En comparaison, les mesures de maintenance prédictive, qui se basent en grande partie sur l'exploitation de données et ne requièrent pas l'intervention de robots, sont aujourd'hui déjà applicables à des coûts relativement bas et contribuent grandement à l'absence d'interruptions dans l'exploitation des actifs.

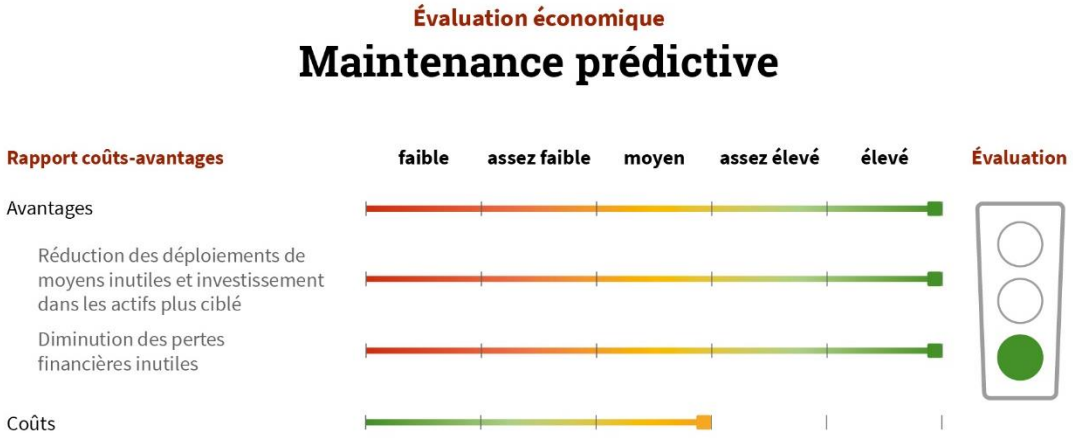

Figure 30 : évaluation économique du champ d'application « maintenance prédictive »

Maintenance, réparation et démantèlement

L'utilisation de robots, de drones ou de systèmes d'assistance pour la maintenance, la réparation ou le démantèlement des actifs sert à soulager les employés. Ainsi, l'IA peut effectuer des inspections ou des travaux à la place des humains, par exemple dans un environnement hostile à la vie, ou bien aider le personnel en cas de réparations à réaliser en diagnostiquant le problème et en identifiant des solutions. Cette approche minimise les risques d'accidents du travail et fournit une aide aux collaborateurs pouvant manquer de connaissances et/ou d'expérience.

Exemple pratique : Siemens AG – inspection automatisée de lignes électriques aériennes avec des drones

En termes de sécurité d'approvisionnement, l'identification précoce d'anomalies sur les lignes à haute tension est un facteur déterminant. Les inspections visuelles traditionnelles fournissent bien souvent des résultats trop peu précis et impliquent des interventions physiques pénibles. C'est pour cela que Siemens développe avec ses partenaires un service totalement inédit et innovant d'inspection des lignes électriques aériennes. Les vols d'inspections sont effectués avec des drones puissants à haute charge utile, même hors du champ de vision du pilote. Différents capteurs et caméras sont intégrés dans un système complet. Il est ainsi possible d'enregistrer simultanément des données laser 3D, des images couleur à très haute résolution ainsi que des images infrarouges et de les géoréférencer avec précision. La masse de données multicapteurs produites au cours du vol est par la suite traitée et exploitée par le logiciel d'analyse de *smart data* développé par Siemens. Ce logiciel basé sur l'IA sert à identifier et analyser automatiquement les anomalies ou problèmes le long des lignes électriques aériennes.[26]

Comme cela a déjà été évoqué dans l'évaluation technique, les robots et les drones se trouvent de manière générale encore en phase précoce de développement et sont par conséquent peu utilisables et, le cas échéant, très coûteux. Malgré leur potentiel prometteur en matière de soulagement des collaborateurs et de prévention des risques, des baisses de coûts et un développement technologique plus poussé seront d'abord nécessaires pour pouvoir rendre une évaluation plus positive de ce champ d'application.

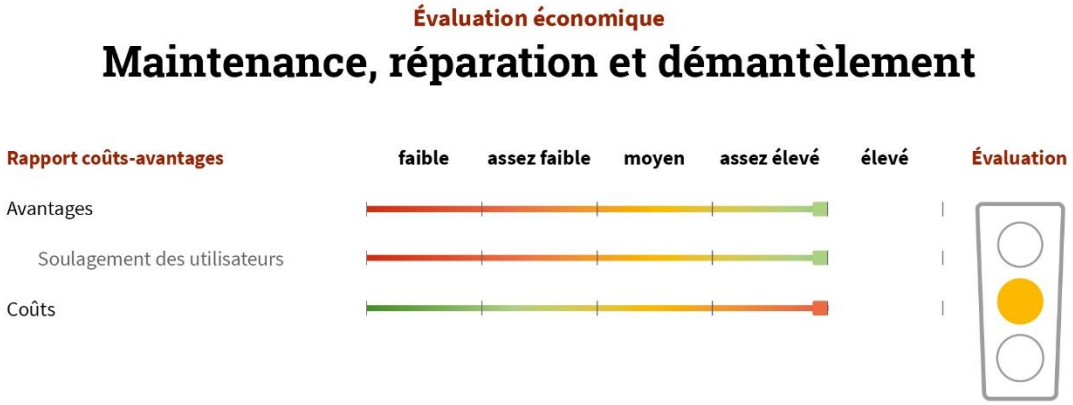

Figure 31 : évaluation économique du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »

Mesures de sécurité

Les cyberattaques sur les installations de production et les infrastructures réseau d'importance systémique, dont la vulnérabilité augmente avec le degré de numérisation, comptent parmi les facteurs externes pouvant causer la défaillance d'un actif. Les infrastructures d'approvisionnement énergétique sont en effet particulièrement essentielles à la vie quotidienne. D'après l'Office fédéral allemand pour la sécurité des technologies de l'information (BSI), les cyberattaques sur des infrastructures critiques ont été multipliées par plus de quatre en 2018 par rapport à l'année précédente. Environ 12 % des attaques visaient des réseaux d'électricité. Toutefois, aucune rupture massive d'approvisionnement n'a pour l'instant été à déplorer au niveau national. Des exemples d'incidents survenus dans d'autres pays peuvent malgré tout nous éclairer sur les répercussions possibles. En décembre 2015, en Ukraine, 30 postes de transformation et de distribution ainsi qu'un système d'alarme ont été mis hors service au moyen d'un logiciel malveillant.

[26] Plus d'informations à ce sujet et sur d'autres projets de recherche impliquant des drones sur https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/drohnen-unbemanntes-fliegen.pdf?__blob=publicationFile&v=14

Presque 230 000 personnes furent alors privées d'approvisionnement en électricité (Tobien, 2020). Mais si de telles attaques peuvent mettre en péril la sécurité de l'approvisionnement, elles peuvent également avoir des conséquences économiques. D'après le service scientifique du Congrès américain, les cyberattaques sur les centrales électriques et les réseaux peuvent entraîner des dommages économiques à hauteur de centaines de milliards de dollars américains (Berman *et al.*, 2019). L'IA peut aider à identifier et à repousser les tentatives anormales d'accès aux installations. La vidéosurveillance basée sur l'IA peut également contribuer à la protection des installations.

Comme l'a mis en évidence la partie 3.1, un manque de données d'entraînement complique la mise en œuvre et rend par là même celle-ci plus coûteuse. En raison de sa haute importance pour la sécurité de l'approvisionnement et des implications économiques qui l'accompagnent, l'évaluation générale du champ d'application est malgré tout élevée.

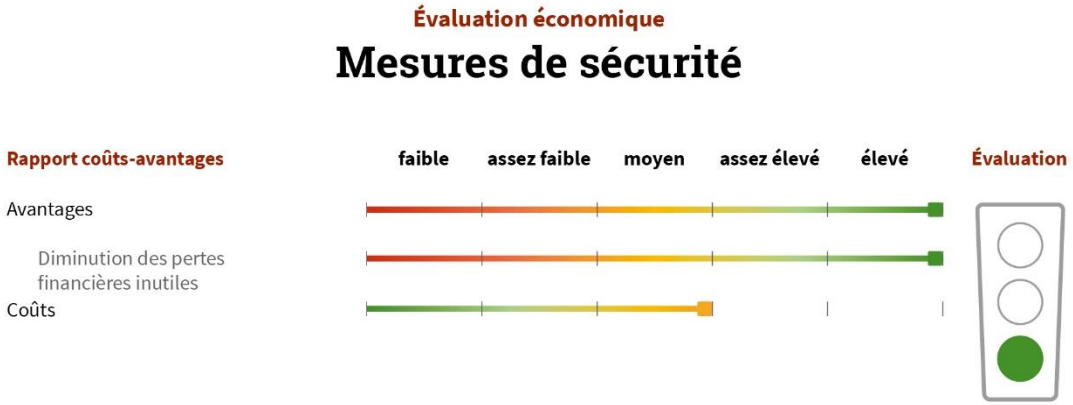

Figure 32 : évaluation économique du champ d'application « mesures de sécurité »

Participation simplifiée des consommateurs actifs

En raison du degré élevé d'automatisation de l'IA, un certain nombre de mesures du *cluster* « bases décisionnelles générales » peuvent être mises à disposition des consommateurs actifs. Le nouveau concept de participation des consommateurs actifs suppose que ces derniers assument des tâches de commercialisation similaires à celles de plus grandes installations de production. La part d'énergies renouvelables ne bénéficiant pas d'un tarif de rachat garanti doit être commercialisée par les producteurs eux-mêmes. De manière générale, l'autoconsommation, c'est-à-dire l'utilisation de l'électricité produite par les consommateurs eux-mêmes, est actuellement l'option la plus économiquement intéressante pour ces derniers. Comme pour les gros producteurs, la quantité d'électricité produite doit ici aussi être anticipée et ajustée à la consommation. En revanche, les méthodes les plus économiques sont ici les prévisions automatisées, le contrôle à distance des installations par un prestataire de services en vue d'augmenter l'autoconsommation ainsi que le recours à un système de gestion énergétique basé sur l'IA générant des recommandations visant l'adaptation active de la consommation. L'autoconsommation est ainsi accrue et le consommateur se retrouve déchargé de ces tâches. Ce service visant à augmenter l'autoconsommation peut non seulement être appliqué à des foyers individuels, mais aussi à des quartiers entiers ou à des entreprises. Les recommandations en matière d'investissement, par exemple en systèmes de stockage, ou de vente d'électricité excédentaire peuvent également être générées par l'IA.

Ainsi, les pics et les creux de prix peuvent aussi bien être exploités par les négociants professionnels que les consommateurs actifs. Les stratégies en la matière comprennent la recharge d'une voiture électrique en période de prix bas, la décision de charger ou décharger une installation de stockage suivant les pics et les creux d'un tarif variable, ou encore la commercialisation de l'électricité excédentaire à travers une centrale virtuelle en période de prix élevés. Le consommateur actif peut être aidé par un système de gestion de l'énergie basé sur l'IA, soit qui règle automatiquement les installations de consommation contrôlables, soit qui émet des recommandations concernant l'adaptation de la consommation. Il peut également recourir à un agrégateur doté d'algorithmes appropriés.

L'IA permet en outre d'intégrer des ressources décentralisées de petite taille. Les prévisions et le contrôle ciblé de ces producteurs, installations de stockage et charges flexibles seraient financièrement inenvisageables sans un traitement automatisé par l'IA. À travers l'optimisation de nombreux paramètres, l'IA aide également à prendre en compte et à concilier les exigences du consommateur comme celles du système dans son ensemble.

Le manque d'installations standardisées et performantes au niveau des foyers empêche la participation complète des consommateurs actifs. Avec le déploiement des compteurs intelligents et la possibilité de contrôler les appareils électroménagers, prochaine étape de développement, cette lacune pourrait à terme être comblée. Toutefois, le démarrage tardif du déploiement des compteurs intelligents complique la mise en œuvre économique de ces applications de l'IA. À l'avenir, la généralisation des applications de « maison intelligence » (*smart home*) et une plus vaste diffusion des compteurs intelligents pourraient améliorer l'évaluation de ce champ d'application.

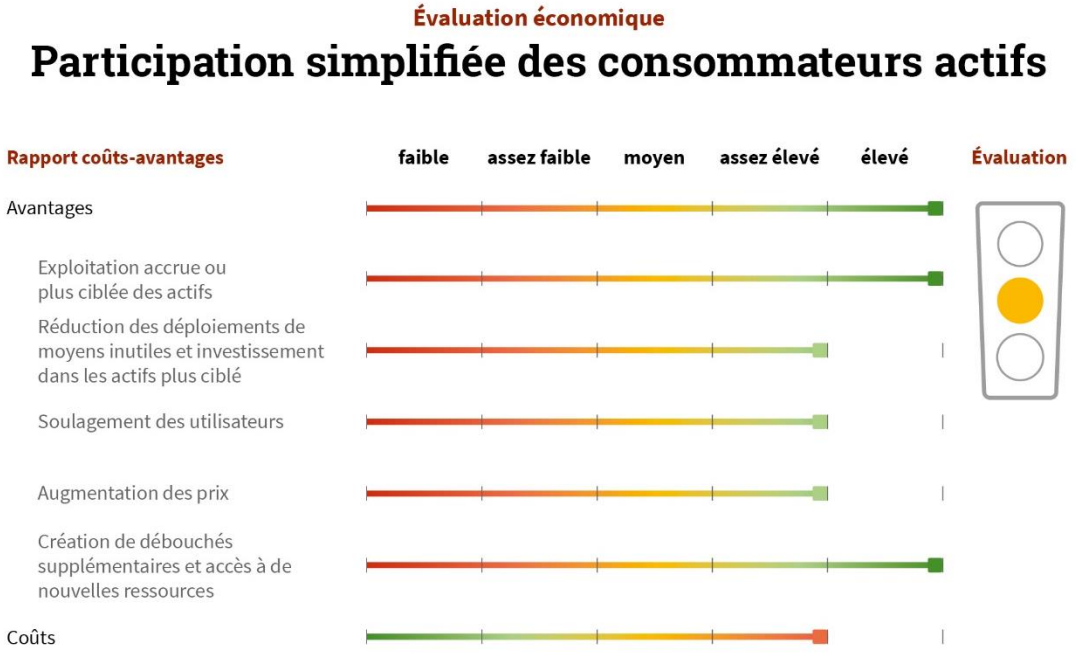

Figure 33 : évaluation économique du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »

Individualisation de produits et mesures marketing

Une compréhension fine du client permet de lui proposer des produits adaptés à ses préférences et à ses moyens ainsi qu'aux caractéristiques de son environnement. Les mesures ainsi mises en place permettent au client de réaliser des économies d'énergie ciblées ou encore d'augmenter son autoconsommation à des moments précis. Qui plus est, le service commercial augmente ses ventes en évitant les actions de « saupoudrage marketing »[27].

Exemple pratique : Fresh Energy – générer des plus-values individuelles avec les données des compteurs intelligents

L'application en marque blanche de Fresh Energy génère une plus-value à partir des données des compteurs intelligents de ses utilisateurs. Le client reçoit entre autres une décomposition générée par l'IA de la consommation d'électricité de ses appareils électroménagers ainsi que des recommandations de remplacement pour les appareils inefficaces. Les utilisateurs obtiennent des conseils personnalisés et le fournisseur acquiert une meilleure compréhension des besoins de ses clients. Par ailleurs, les données de consommation d'électricité peuvent aider les personnes dépendantes en repérant des anomalies dans leurs habitudes de consommation : par exemple, si une absence suspecte de consommation est détectée à une heure de consommation habituelle, les proches peuvent en être informés.[28]

La réduction des dépenses inutiles concerne aussi le marketing commercial. Grâce à l'IA, les clients peuvent être regroupés en fonction de leurs préférences, de leur profil de consommation et de leur disposition à payer et être associés à des produits adaptés. Il est ainsi possible d'éviter les contacts clients inadaptés, d'allouer le budget marketing de manière plus ciblée, de soulager le personnel commercial et d'accroître la confiance des clients dans le service de vente.

Les différentes possibilités de paiement et dispositions à payer des clients occupent une place importance dans l'élaboration des produits par les services commerciaux. Si le service commercial connaît ces indicateurs clés, il est alors plus facile d'accroître l'efficacité énergétique ou l'auto-approvisionnement des clients pouvant se permettre des investissements plus conséquents. Parallèlement, les clients au budget plus modeste peuvent aussi être impliqués à l'aide de mesures plus économiques ou de solutions de financement alternatives (comme le *contracting*). Le regroupement des clients par l'IA sur la base de leur disposition à payer et de leurs préférences peut ici s'avérer utile.

Le regroupement des clients commerciaux permet de déduire les mesures les plus adaptées pour maximiser leurs bénéfices. Les nouvelles possibilités de traitement des données permettent de relier les facteurs « durs » (p. ex. financiers) et « mous » (p. ex. sociaux) d'une décision d'achat à des données socioéconomiques. De cette manière, l'utilisateur peut se faire une idée plus précise des mesures adaptées à tel ou tel client et de la manière dont il convient de s'adresser à eux. Ainsi, il est par exemple possible de mettre en œuvre des mesures ciblées d'amélioration de l'efficacité énergétique de bâtiments vieillissants[29], de développer les EnR là où le rendement est bon ou encore d'investir dans des systèmes de stockage en cas de stratégie d'autoconsommation entraînant une quantité élevée d'électricité excédentaire.

[27] « Saupoudrage marketing » : actions commerciales très dispersées sans ciblage de la clientèle.
[28] Plus d'informations sur www.getfresh.energy/
[29] Par exemple, EWE a développé un outil de calcul dédié aux solutions de *contracting* pour l'éclairage des clients dont la courbe de charge est mesurée. Plus d'informations sur www.ewe.de/unternehmen/licht/berechnungstool.

Comme le décrit la partie réglementaire qui suit, il convient de vérifier la disponibilité des données nécessaires au regard des droits d'accès et de leur utilisation. Si tant est que l'autorisation du propriétaire des données ait été préalablement recueillie, ce champ d'application est peu coûteux à mettre en œuvre et son évaluation économique est bonne.

Figure 34 : évaluation économique du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »

Automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution

Grâce à l'automatisation basée sur l'IA, les employés peuvent être déchargés des opérations courantes chronophages et monotones et se concentrer davantage sur des tâches plus complexes. Cela vaut en particulier pour les processus standards de communication avec la clientèle. Il est en effet possible d'automatiser la gestion des relances, la facturation, la communication des relevés de compteurs, la déclaration d'un déménagement, etc. Par ailleurs, avec les systèmes d'apprentissage automatique, la capacité d'adaptation des mesures s'améliore avec l'augmentation du nombre d'interactions.

À moins que les processus concernés ne soient insuffisamment numérisés, la mise en œuvre de ce champ d'application est peu coûteuse. Bien qu'ils puissent varier fortement d'une entreprise à l'autre, les coûts sont dans l'ensemble considérés comme moyens.

Ainsi, l'évaluation économique globale de ce champ d'application est élevée.

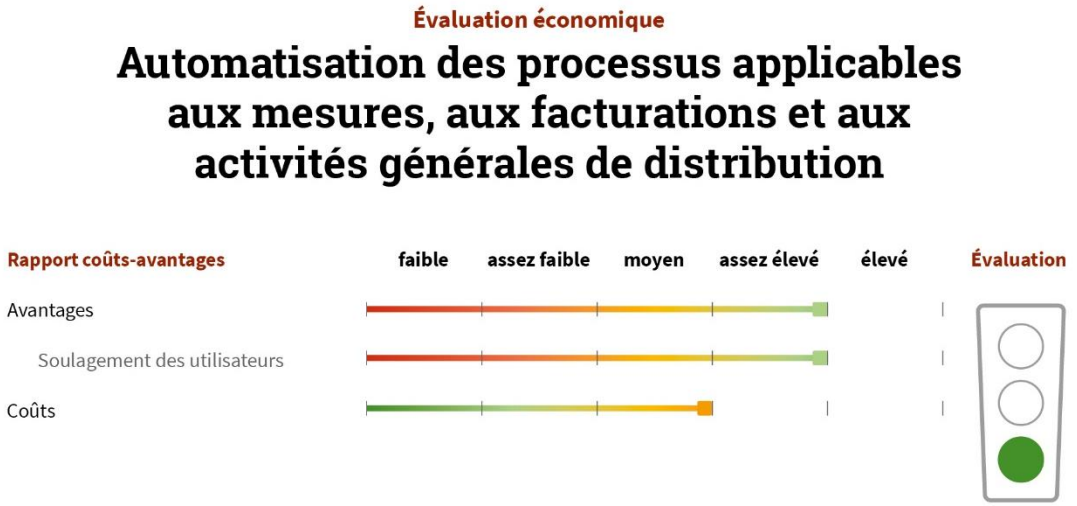

Figure 35 : évaluation économique du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »

Synthèse de l'évaluation économique

La plupart des champs d'application examinés ici reçoivent une évaluation positive au regard de leur attractivité économique, pour autant qu'aucun investissement coûteux en robots ou drones ne soit nécessaire (cf. champ d'application **maintenance, réparation et démantèlement**) ou que la disponibilité des données ne soit pas insuffisante. L'évaluation du *cluster* **bases décisionnelles générales** est particulièrement élevée, étant donné que des applications commerciales existent déjà dans le secteur de l'énergie. Le recours à l'IA dans ce *cluster* permet de commercialiser les EnR de manière plus ciblée, d'optimiser l'utilisation des capacités de production et du réseau ainsi que de mieux planifier les investissements.

Tandis que les données nécessaires sont la plupart du temps déjà disponibles en interne aux étapes de production et de négoce de la chaîne de valeur, le domaine des réseaux (notamment le réseau de distribution) requiert le traitement de données supplémentaires, la mise en place d'un échange de données à l'échelle du réseau entier et l'installation de capteurs supplémentaires. L'élévation des exigences posées aux GRD dans le cadre de Redispatch 2.0 augmente la nécessité d'acquérir une compréhension plus fine des flux de charge et des possibilités d'intervention pour stabiliser le réseau. Par conséquent, le potentiel d'utilisation de l'IA pour le traitement de la masse de données de consommation et d'injection ainsi que la gestion des différentes typologies de réseaux est élevé.

C'est avant tout la disponibilité des données qui est déterminante pour l'attractivité du champ d'application. Dans le *cluster* **services de distribution et aux consommateurs**, les incertitudes juridiques en matière de données à caractère personnel peuvent être réduites au moyen d'informations claires sur l'utilisation des données et le respect des normes relatives au traitement de celles-ci. Un manque de données empiriques pour former les modèles (par exemple un nombre trop faible de données d'incidents pour la **maintenance prédictive** et les **mesures de sécurité**) peut être compensé par la transcription au format requis d'informations disponibles à partir d'autres sources (comme des protocoles de maintenance manuscrits) ou par l'utilisation de données publiquement accessibles avec des conditions de départ similaires. Le déploiement des compteurs intelligents et le développement de l'équipement numérique chez les particuliers et dans les entreprises devraient à l'avenir permettre de couvrir les besoins en données de mesure. Si le cadre réglementaire et les conditions sociales le permettent, il peut par ailleurs être intéressant de collecter et de sauvegarder des données en temps opportun pour d'éventuels besoins d'utilisation ultérieurs.

Les champs d'application **individualisation de produits et mesures marketing** et **automatisation des processus** bénéficient des retombées d'autres secteurs. Parallèlement, les compétences et expériences du secteur de l'énergie en matière de prévisions et d'optimisation de l'exploitation et des stocks à grande échelle peuvent être transmises aux consommateurs actifs. En effet, le niveau élevé d'automatisation de l'IA permet de rendre ces services accessibles même à petite échelle.

En termes de coûts d'utilisation de l'IA, les coûts initiaux d'adaptation des structures de l'entreprise doivent tout autant être pris en compte que les coûts permanents. En effet, il est nécessaire d'embaucher des experts informatiques pour concevoir les modèles – ou, le cas échéant, d'externaliser cette étape –, de former des collaborateurs à l'utilisation des modèles et d'adapter les processus. En contrepartie, ces transformations augmentent l'attractivité de l'entreprise : les structures et les processus sont modernisés, les collaborateurs peuvent déléguer les tâches monotones et chronophages ou bien se faire assister par l'IA dans le cadre d'opérations plus complexes. Ces changements influent également sur l'image externe et peuvent attirer de nouveaux clients, partenaires et investisseurs.

3.3 Évaluation réglementaire

L'objectif de l'évaluation réglementaire est d'analyser la mise en œuvre pratique des projets d'IA dans la transition énergétique d'un point de vue réglementaire ainsi que d'identifier et d'évaluer, à un haut degré d'abstraction, les interfaces avec la réglementation existante.

Pour cela, on examinera dans un premier temps le cadre réglementaire général de l'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie. Des enjeux particuliers se posent avant tout dans les domaines de l'accès aux données et du traitement des données. En effet, les données servent de base à toute l'économie numérique en général et à l'IA en particulier. En garantissant une disponibilité minimale des données nécessaires, les infrastructures critiques du secteur de l'énergie posent également des exigences élevées en matière de sécurité informatique. Des recherches dans la littérature de base ont permis d'identifier et d'évaluer comme prioritaires les interfaces légales et réglementaires suivantes :

- **Principes réglementaires généraux de l'Union européenne**
- **Droit de la protection des données**
- **Droit relatif à la sécurité des données**
- **Droit de l'énergie**
- **Droit de la responsabilité, droit d'auteur et droit des ententes**

Dans cette partie, l'analyse spécifique des différents champs d'application vise à déterminer qui sont les acteurs ou potentiels destinataires de la norme concernés, lesquels sont liés entre eux dans le cadre des exemples individuels d'applications, et quel cadre juridique influe le plus sur leurs activités et leur modèle d'entreprise. Pour ce faire, on considérera tout d'abord les exemples d'application décrits dans la partie 2.2 avec les différentes étapes de leurs processus, puis ceux-ci seront évalués au regard de leur cadre juridique respectif.

Enfin, une liste des domaines du droit impliqués dans chaque exemple d'application éclaircira les points suivants :

- Par quelles réglementations nationales ou européennes le champ d'application considéré est-il concerné ?
- Dans quelle mesure la réglementation en vigueur favorise-t-elle ou bien entrave-t-elle la mise en œuvre de l'IA ?
- Où existe-t-il actuellement des obstacles réglementaires en Allemagne et/ou au niveau européen ?

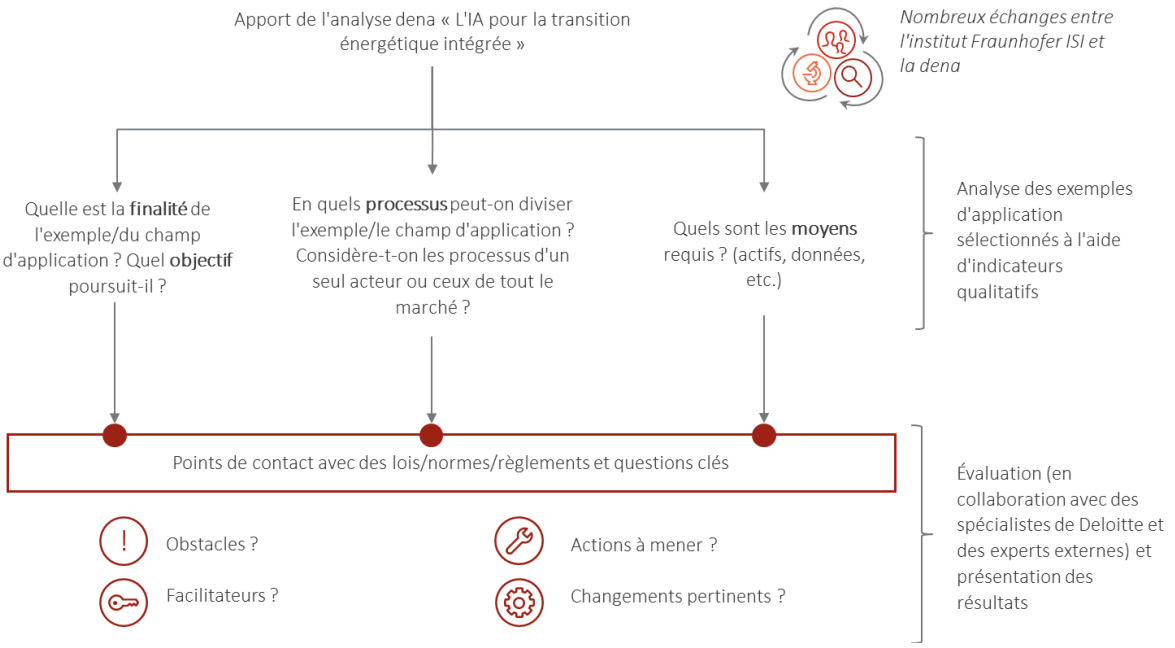

Figure 36 : les trois piliers de l'analyse réglementaire

Afin de pouvoir ensuite apprécier et comparer les points de contact, une méthode d'évaluation propre a été développée. L'objectif de cette évaluation est de vérifier si les exigences réglementaires sont susceptibles d'entraver une possible contribution des applications de l'IA à l'optimisation du système énergétique et, le cas échéant, quels points nécessitent des ajustements ou un développement plus avancé. Les critères déterminants de l'évaluation des champs d'applications sont la complexité (en particulier en termes de respect des dispositions réglementaires), le degré de maturité réglementaire et les interdépendances existantes.

La réglementation comporte certes des obstacles (comme un manque d'incitations à l'investissement pour tester de nouvelles technologies sous le règlement sur la régulation incitative), mais également des facteurs favorables comme des programmes de soutien ou des interfaces de données standardisées (comme les compteurs intelligents). On peut malgré tout résumer les choses ainsi : plus l'influence de la réglementation sur le champ d'application est faible, plus la viabilité de ce dernier est élevée. Les critères d'évaluation ont été établis en collaboration avec des spécialistes de la réglementation relative au secteur de l'énergie et aux données et suivent les normes nationales et internationales adoptées pour ce type d'évaluations. Étant donné que les domaines réglementaires concernés sont très différents sur le plan thématique, des experts d'autres disciplines ont également été sollicités sur différents sujets.

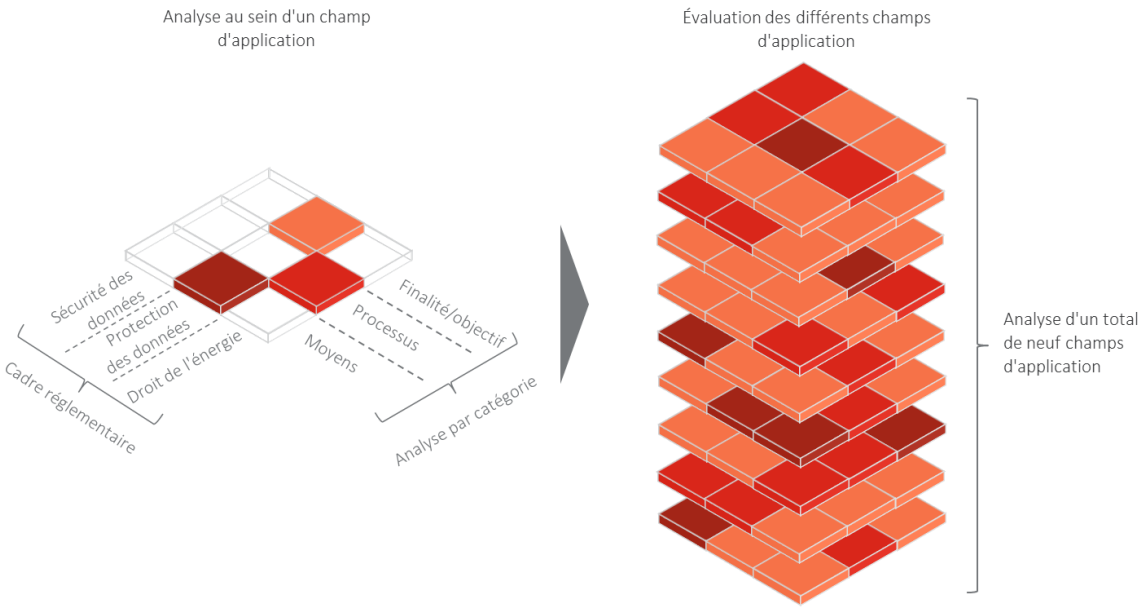

Figure 37 : méthodologie d'évaluation des neuf champs d'application

Outre la réglementation de droit public, l'intelligence artificielle dans le secteur de l'énergie est également encadrée par des réglementations de droit privé. La collecte et le traitement des données relèvent typiquement de la liberté contractuelle dans le respect des dispositions du droit des conditions générales d'affaires applicable en Allemagne. Il convient par ailleurs de prendre en compte la réglementation en matière de responsabilité, notamment délictuelle, ainsi que les dispositions contraignantes du droit d'auteur et du droit des ententes (Jakl, 2019). L'accès aux données (notamment à caractère personnel) et le traitement de celles-ci sont de première importance. Par conséquent, le droit de la protection des données et le droit relatif à la sécurité des données constituent également des aspects centraux de cette analyse.

Certains des termes utilisés ici se rapportent à plusieurs domaines réglementaires et concernent toutes les applications. Les termes et concepts juridiques importants pour l'évaluation sont décrits en détail ci-dessous.

En ce qui concerne l'IA et la protection des données, un **fichier** est « tout ensemble structuré de données à caractère personnel accessibles selon des critères déterminés, que cet ensemble soit centralisé, décentralisé ou réparti de manière fonctionnelle ou géographique ».[30]

La littérature spécialisée s'accorde à définir une **donnée à caractère personnel** comme « toute information relative à une personne physique identifiée ou identifiable ».[31] Il s'agit d'informations telles que le nom ou le lieu de résidence. Pour pouvoir conclure un contrat d'électricité avec un consommateur final, il est bien entendu nécessaire d'avoir son nom, son adresse et, le cas échant, le numéro d'identification du point de mesure et de raccordement. En principe, presque toutes ces informations permettent de faire des déductions sur une personne. Les systèmes d'IA requièrent généralement de grandes quantités de données d'entraînement. Cependant, le principe de minimisation des données au sens de l'art. 5 al. 1c du RGPD s'applique également à l'exploitation des données à caractère personnel par les systèmes d'IA. Le traitement des données à caractère personnel doit donc toujours se limiter à ce qui est nécessaire.

[30] Art. 4 n° 6 du RGPD.
[31] Art. 4 n° 1 du RGPD.

Le contrôle de la nécessité peut d'ailleurs montrer que le traitement de données totalement anonymes suffit à atteindre le but légitime poursuivi (Spiecker *et al.*, 2018). Lorsqu'elles concernent des personnes physiques, les données de référence des fournisseurs d'énergie, telles que le nom, l'adresse, les coordonnées bancaires, le numéro client, le point de mesure et de raccordement ainsi que les données d'activité, comme les données de facturation ou d'injection du consommateur final ou de l'utilisateur du raccordement, constituent en règle générale des données à caractère personnel.

Le **responsable du traitement**, soumis aux nombreuses obligations établies dans le RGPD, est défini comme « la personne physique ou morale, l'autorité publique, le service ou un autre organisme qui, seul ou conjointement avec d'autres, détermine les finalités et les moyens du traitement des données à caractère personnel ».[32] Ainsi, le gestionnaire de compteurs, le gestionnaire de réseau ou encore le fournisseur – selon le point de vue adopté – est juridiquement responsable du traitement des données de référence, de consommation et de facturation des consommateurs finaux ou utilisateurs du raccordement qui sont des personnes physiques. Dans le cadre particulier d'un groupe d'entreprises, chaque personne physique ou morale concernée reste responsable en matière de protection des données. Bien que le législateur de l'Union (Parlement européen et Conseil) ait reconnu en principe un intérêt légitime à transmettre des données au sein d'un groupe d'entreprises à des fins administratives internes[33], les dispositions du RGPD ne privilégient pas spécifiquement le traitement des données au sein d'un groupe (Bartsch *et al.*, 2017). Afin de répondre aux exigences de protection des données du RGPD, des concepts d'autorisation différenciés pour l'accès, la suppression, l'importation et l'exportation de données personnelles sont donc également nécessaires pour les groupes d'entreprises.

Les **sous-traitants**, auxquels fait appel le responsable du traitement pour traiter les données, ne sont quant à eux pas responsables au sens du RGPD. Le sous-traitant est défini à l'art. 4 n° 8 du RGPD comme « la personne physique ou morale, l'autorité publique, le service ou un autre organisme qui traite des données à caractère personnel pour le compte du responsable du traitement ». Il peut par exemple s'agir de prestataires de facturation chargés de l'exécution du contrat ou bien de prestataires que choisiront les fournisseurs d'énergie pour assurer l'exploitation des passerelles de compteurs intelligents (*smart meter gateways*) prévue au § 2 n° 19 de la loi sur la gestion des compteurs (MsbG). Les art. 28 et s. du RGPD précisent les autres exigences et obligations auxquelles est soumis le sous-traitant, comme la tenue d'un registre de toutes les activités de traitement[34].

La **pseudonymisation** est décrite à l'art. 4 al. 5 du RGPD comme « le traitement de données à caractère personnel de telle façon que celles-ci ne puissent plus être attribuées à une personne concernée précise sans avoir recours à des informations supplémentaires, pour autant que ces informations supplémentaires soient conservées séparément et soumises à des mesures techniques et organisationnelles afin de garantir que les données à caractère personnel ne sont pas attribuées à une personne physique identifiée ou identifiable ». Dans le secteur de l'énergie, le traitement des données de mesure sous un numéro d'identification de point de mesure ou de raccordement ou encore l'utilisation d'un portail client sous un nom d'utilisateur fictif, pour autant que le consommateur final en question n'y soit pas

[32] Art. 4 n° 7 du RGPD.
[33] Cf. considérant 48 du RGPD.
[34] Art. 30 du RGPD.

associé, sont des exemples de pseudonymisation. Les fournisseurs d'énergie responsables du traitement doivent également prendre les mesures techniques et organisationnelles appropriées pour garantir que la « clé » permettant d'établir un lien avec une personne spécifique ne soit pas facilement accessible. Le terme « anonymisation », encore employé au § 3 al. 6 de la loi fédérale sur la protection des données (BDSG) dans sa version en vigueur jusqu'au 24 mai 2018, n'est plus défini dans le RGPD. Toutefois, le considérant 26 du RGPD précise qu'il n'y a pas lieu d'appliquer le règlement aux informations rendues anonymes de telle manière que la personne concernée ne soit pas ou plus identifiable.

Un **délégué à la protection des données** est désigné par le responsable du traitement et par le sous-traitant.[35] Il informe et conseille le responsable du traitement ou le sous-traitant ainsi que les employés qui procèdent au traitement sur leurs obligations. En outre, il contrôle le respect du RGPD, d'autres dispositions du droit de l'Union européenne ou du droit des États membres en matière de protection des données et des règles internes du responsable du traitement ou du sous-traitant en matière de protection des données à caractère personnel, y compris en ce qui concerne la répartition des responsabilités, la sensibilisation et la formation du personnel participant aux opérations de traitement, et les audits s'y rapportant. Il dispense des conseils, sur demande, en ce qui concerne l'analyse d'impact relative à la protection des données conformément à l'art. 35 du RGPD et est responsable de la coopération avec l'autorité de contrôle. Le délégué à la protection des données tient dûment compte, dans l'accomplissement de ses missions, du risque associé aux opérations de traitement compte tenu de la nature, de la portée, du contexte et des finalités du traitement.[36]

La personne concernée, c'est-à-dire celle dont on traite les données, a droit à la **rectification** des données à caractère personnel inexactes la concernant[37] et, dans certains cas, à la limitation du traitement[38]. Elle peut par ailleurs s'opposer au traitement de certaines données.[39] Par leur nature, les décisions (de l'IA) ne sont ni accessibles ni intelligibles pour les personnes concernées et s'avèrent donc être une « boîte noire ». Malgré tout, le RGPD prévoit des dispositions précisément consacrées à cet enjeu. Ainsi, l'art. 22 du RGPD établit justement un droit de principe de la personne concernée à ne pas faire l'objet d'une telle décision automatisée. Cette disposition s'accompagne d'obligations d'informations et d'un droit d'accès décrits aux art. 13 à 15 du RGPD.

3.3.1 Évaluation réglementaire générale de tous les champs d'application

Le volume de données produites dans le monde croît rapidement et devrait passer de 33 zettaoctets (Zo) en 2018 à 175 Zo en 2025 (Reinsel *et al.*, 2018). *« À l'ère numérique, les données sont une ressource clé pour le bien-être et la participation de la société, pour une économie prospère et la protection de l'environnement et du climat, pour le progrès scientifique et pour l'action publique. La capacité à utiliser, associer et exploiter les données de manière responsable et autonome est également fondamentale pour l'innovation technologique, pour la création de connaissances et pour la cohésion sociale* » (BPA, 2019).

[35] Art. 37 du RGPD.
[36] Art. 39 du RGPD.
[37] Art. 16 du RGPD.
[38] Art. 18 du RGPD.
[39] Art. 21 du RGPD.

Pour toutes ces raisons, le gouvernement allemand élabore une stratégie en matière de données « dont l'objectif est d'augmenter significativement la mise à disposition et l'utilisation responsables des données par des personnes et des institutions dans la société (civile), l'économie, la science et l'administration fédérale en Allemagne, de ne pas laisser se former de monopoles sur les données, de garantir une participation juste et à la fois d'apporter une réponse ferme à l'utilisation abusive des données » (ibid.). Cette stratégie en matière de données se déploie dans les champs d'action suivants (ibid.) :

a) Améliorer la mise à disposition des données et garantir l'accès aux données

b) Favoriser l'utilisation responsable des données et élever le potentiel d'innovation

c) Améliorer les compétences en matière de données et développer une culture des données

d) Faire de l'État un pionnier

Dans le but de créer une infrastructure de données[40] qui soit à la fois performante et compétitive, mais aussi sûre et fiable, le ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) a, sous le nom de projet GAIA-X, jeté les bases de la création d'une infrastructure de données en forme de réseau ouvert fondée sur les valeurs européennes. Ce projet a pour objectif de concrétiser la conception d'une telle infrastructure d'un point de vue technique et économique, de créer sur cette base un écosystème commun d'utilisateurs et de prestataires issus d'organisations de l'administration publique, de la santé publique, des entreprises et des institutions scientifiques ainsi que de mettre en place un cadre favorable et des structures de soutien (BMWi, 2019a).

Selon la commission d'éthique sur les données du ministère fédéral allemand de l'Intérieur (BMI), la réglementation ne doit néanmoins pas bloquer l'innovation technologique et sociale ainsi qu'une évolution dynamique du marché. Des lois trop rigides et détaillées pourraient réduire les marges de manœuvre et alourdir la bureaucratie à tel point que les processus d'innovation en Allemagne ne pourraient plus suivre le rythme du développement technologique international. En revanche, le cadre réglementaire peut et doit protéger les libertés et droits fondamentaux et créer une sécurité juridique. Il s'agit là d'une condition de base pour que tous les acteurs, individus, organisations et institutions, puissent avoir confiance en une transformation sociale fondée sur l'éthique. Avec la possibilité d'une réglementation à différents niveaux – droit primaire et dérivé, codes, autogouvernance, engagement volontaire –, le système juridique offre une boîte à outils permettant d'instaurer des cadres souples et adaptés au progrès technologique (BMI, 2019). La collecte, l'utilisation ou le transfert de données est donc associé à un besoin particulier d'anticipation de la responsabilité. Pour pouvoir en évaluer les conséquences (y compris l'éventualité de la violation des droits d'autrui), les points suivants doivent être pris en compte (ibid.) :

- Étendue de la collecte des données (ce qui inclut les effets d'accumulation, de réseau et d'échelle)
- Moyens technologiques de traitement des données
- Finalité du traitement des données (une attention particulière sera accordée aux éventuels changements du contexte d'utilisation et de l'environnement d'acteurs)

[40] « Par infrastructure de données, nous entendons une infrastructure technique en forme de réseau constituée de composants et de services et permettant l'accès aux données, leur stockage, leur échange et leur utilisation conformément à des règles prédéfinies » (BMWi, 2019a).

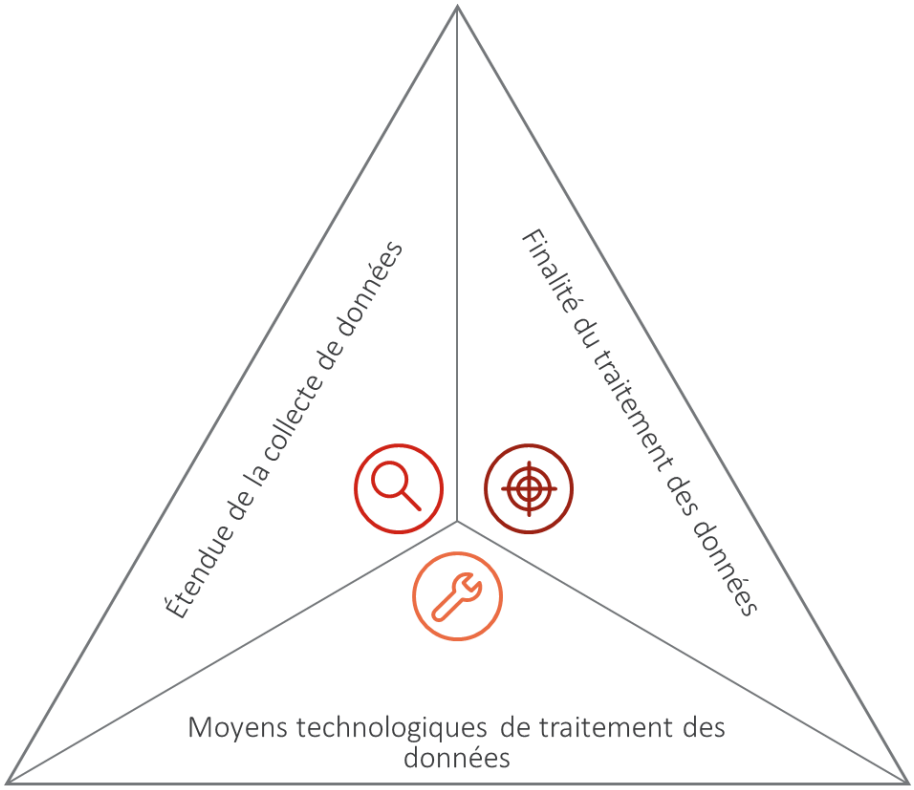

Figure 38 : triangle de la collecte et de la réutilisation des données

En raison du rôle important que l'IA devrait être amené à jouer dans le traitement des données, l'Union européenne veut investir au moins un milliard d'euros par an dans cette technologie à travers les programmes Horizon Europe et Digital Europe sur la période de programmation 2021-2027 (CE, 2018).

Directive concernant les données ouvertes et la réutilisation des informations du secteur public (directive PSI)

La Commission européenne estime qu'une action à l'échelon de l'Union est nécessaire afin de s'attaquer aux obstacles restants et émergents à une large réutilisation des informations détenues par le secteur public et obtenues à l'aide de fonds publics dans l'ensemble de l'Union, afin de mettre à jour le cadre législatif pour tenir compte des progrès des technologies numériques et de stimuler davantage encore l'innovation numérique, notamment en ce qui concerne l'intelligence artificielle.[41] Les informations du secteur public constituent une source extraordinaire de données qui peuvent contribuer à améliorer le marché intérieur et à développer de nouvelles applications pour les consommateurs et les personnes morales. L'utilisation intelligente de données, y compris leur traitement par des applications utilisant l'intelligence artificielle, peut avoir un effet de transformation sur tous les secteurs de l'économie.[42]

[41] Directive (UE) 2019/1024, considérant 3.
[42] Directive (UE) 2019/1024, considérant 9.

La directive qui en résulte vise à promouvoir l'utilisation de données ouvertes et à mettre en place des incitations à l'utilisation de produits et de services innovants. C'est la raison pour laquelle la directive comporte un ensemble de règles minimales concernant la réutilisation et les modalités pratiques destinées à faciliter la réutilisation de données de la recherche[43], de documents existants détenus par des organismes du secteur public des États membres ainsi que par des entreprises publiques opérant dans les secteurs de l'eau, de l'énergie, des transports et des services postaux[44] agissant en qualité d'opérateurs de services publics[45].[46]

Afin de permettre la réutilisation des données, les organismes du secteur public et les entreprises publiques doivent mettre leurs documents à disposition dans tout format ou toute langue préexistants et, si possible et s'il y a lieu, sous forme électronique, dans des formats qui sont ouverts, lisibles par machine, accessibles, traçables et réutilisables, en les accompagnant de leurs métadonnées.[47] En principe, le coût de la réutilisation de documents est nul. Toutefois, le recouvrement des coûts marginaux occasionnés par la reproduction, la mise à disposition et la diffusion de documents, ainsi que par l'anonymisation de données à caractère personnel et les mesures prises pour protéger des informations confidentielles à caractère commercial, peut être autorisé. Cependant, les entreprises publiques ne sont pas concernées.[48]

Les États membres doivent adopter des dispositions pratiques pour faciliter la recherche de documents disponibles à des fins de réutilisation, telles que la création de listes de ressources des documents principaux et la mise en place de portails Internet permettant de consulter ces listes de ressources.[49] Conformément à l'art. 12 al. 1 de la directive PSI, la réutilisation de ces documents est ouverte à tous les acteurs potentiels du marché, même si un ou plusieurs d'entre eux exploitent déjà des produits à valeur ajoutée basés sur ceux-ci. Les contrats ou autres accords conclus entre les organismes du secteur public ou entreprises publiques détenteurs des documents et les tiers ne peuvent pas accorder de droits d'exclusivité.

Droit de l'énergie et numérisation

En matière d'IA, le droit de l'énergie allemand connaît également des évolutions de la réglementation ayant une influence sur les actions et le comportement d'investissement des entreprises établies. La loi sur la numérisation de la transition énergétique (*Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende*)[50] a marqué le début du déploiement des compteurs intelligents (terme employé au niveau européen) dans le secteur de l'énergie en Allemagne. Les prescriptions européennes en la matière remontent à 2006.[51] Le troisième paquet de mesures relatif au marché intérieur du gaz et de l'électricité[52] visait en priorité à casser les monopoles géographiques régnant jusque-là en Europe et à ouvrir pour la première fois les marchés de l'électricité et du gaz à la concurrence transfrontalière. Pour cela, la gestion du réseau a été séparée des activités de production et de fourniture d'énergie (« *unbundling* »[53]). L'UE a ainsi voulu créer un marché intérieur de l'énergie fonctionnel : à cette fin, les directives s'appuient également sur la compétence du marché intérieur[54] (Schwintowski, 2018).

[43] Conformément à l'art. 10 de la directive PSI.
[44] Directive 2014/25/EU.
[45] Conformément à l'art. 2 du règlement (CE) n° 1370/2007.
[46] Sont également concernées les entreprises publiques qui, en tant que transporteurs aériens, sont soumises à une obligation de service public conformément à l'art. 16 du règlement (CE) n° 1008/2008 ou, en tant que qu'armateurs communautaires, sont soumises à une obligation de service public conformément à l'art. 4 du règlement (CEE) n° 3577/92.
[47] Art. 5 al. 1 de la directive (UE) 2019/1024.
[48] Art. 6 al. 1 et 2 de la directive (UE) 2019/1024.
[49] Art. 9 al. 1 de la directive (UE) 2019/1024.
[50] La MsbG (loi publiée au Journal officiel fédéral le 29 août 2016 – partie I, p. 2034) est entrée en vigueur le 2 septembre 2016.
[51] Directive 2006/32/CE du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique et aux services énergétiques, désormais directive 2012/27/UE du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique.
[52] Directives 2009/72/CE (électricité) et 2009/73/CE (gaz) du 13 juillet 2009.
[53] En Allemagne, les activités de comptage sont à présent également séparées du réseau. Pour plus d'information, cf. Einhellig *et al.* (2017).
[54] Désormais art. 114 du TFUE.

La communication de données dans les réseaux d'énergie intelligents est précisément réglementée par la loi sur la gestion des compteurs (MsbG).[55] Ainsi, seuls les acteurs suivants sont autorisés à traiter des données :

- Gestionnaires de compteurs
- Gestionnaires de réseau
- Coordinateurs d'équilibre
- Responsables d'équilibre
- Vendeurs directs aux termes de la loi sur les énergies renouvelables (EEG)
- Fournisseurs d'énergie
- Tout organisme disposant de l'accord de l'utilisateur du raccordement[56]

Le traitement de données à caractère personnel peut également être effectué par un sous-traitant.[57] La MsbG comporte également des dispositions précisant les cas où le traitement de données issues d'un compteur intelligent est autorisé. Ainsi est autorisé le traitement aux fins d'exécution de contrats passés avec l'utilisateur de raccordement concerné, dans le cadre de mesures précontractuelles prises à la demande de l'utilisateur du raccordement concerné, pour satisfaire à des obligations juridiques[58] ou pour exécuter une mission relevant du gestionnaire de réseau. Conformément au § 52 de la MsbG, les acteurs autorisés mentionnés ci-dessus doivent permettre une communication électronique chiffrée des données à caractère personnel ainsi que des données de comptage, d'état du réseau et de référence, et cela dans un format uniforme. En ce qui concerne les données de référence ou de comptage, leur format doit permettre une réutilisation entièrement automatisée dans le cadre des processus d'échange de données entre les parties concernées, notamment en cas de changement de fournisseur. Les données à caractère personnel doivent être anonymisées ou pseudonymisées, pour autant que cela soit possible au regard de la finalité du traitement. Les données à caractère personnel issues de compteurs intelligents, les données de référence et les données d'état du réseau ne doivent être communiquées qu'entre utilisateurs de l'infrastructure à clés publiques dédiée au comptage intelligent (*Smart-Metering-Public-Key-Infrastruktur*) de l'Office fédéral de la sécurité des technologies de l'information (BSI). Fin 2019, le BSI a certifié trois passerelles de compteurs intelligents (BSI, 2020), avant de publier début 2020 sa « déclaration au marché », coup d'envoi du déploiement.[59]

Régulation incitative et numérisation

Avec un chiffre d'affaires maximum fixé à l'avance, les gestionnaires de réseaux d'électricité sont incités à accroître la productivité et à réduire les coûts afin d'augmenter les bénéfices réalisables (différence entre le chiffre d'affaires maximum déterminé et les coûts effectifs) ou bien de réduire les éventuelles pertes. Pour l'Agence fédérale des réseaux (*Bundesnetzagentur* – BNetzA), cette incitation entraîne une dynamique positive. L'abaissement annuel des coûts sert de base au calcul du chiffre d'affaires maximum fixé pour la période suivante, qui constitue à son tour une incitation à augmenter l'efficience encore davantage.

[55] § 49 de la MsbG.
[56] L'accord doit satisfaire aux exigences de l'art. 7 du règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (RGPD) (JOUE, L 119 du 4 mai 2016, p. 1 ; L 314 du 22 novembre 2016, p. 72 ; L 127 du 23 mai 2018, p. 2) dans sa version actualisée.
[57] § 49 al. 2 de la MsbG.
[58] Obligations imposées aux acteurs autorisés en vertu de ladite loi, de la loi relative au secteur de l'énergie (*Energiewirtschaftsgesetz*), de la loi sur les énergies renouvelables (*Erneuerbare-Energien-Gesetz*), de la loi sur le couplage chaleur-force (*Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz*) et des prescriptions et dispositions prises par les autorités de régulation sur la base de ces lois, conformément au § 50 al. 1 n° 3 de la MsbG.
[59] § 29 et s. de la MsbG.

Ainsi, sans qu'il soit nécessaire qu'un régulateur prescrive de manière détaillée des mesures spécifiques de réduction des coûts (régulation *cost-plus*), c'est la recherche du profit par le gestionnaire de réseau qui entraîne une baisse des coûts.

De cette manière, l'impact des asymétries d'information existant entre le régulateur et le gestionnaire de réseau se trouve au moins en partie diminué. Par ailleurs, la pression exercée sur les coûts engendre une incitation aux innovations, lesquelles permettent à leur tour de réduire davantage les coûts. Ces innovations peuvent par exemple prendre la forme de produits ou de processus (BNetzA, 2015b).[60]

Dans le cadre du régime des investissements et de la gestion des coûts, le recours à l'IA est à mettre exactement au même niveau que d'autres innovations informatiques ou logicielles. Si l'IA améliore l'efficience ou encore permet des économies de coûts supérieures au coût de son utilisation, une telle régulation ne constitue alors pas un obstacle.

Intelligence artificielle et protection des données dans le domaine délicat du traitement des données

Le droit général de la protection des données est dans l'UE avant tout structuré par le RGPD et, en Allemagne, par la loi fédérale sur la protection des données (BDSG) ainsi que par les lois sur la protection des données des Länder. L'objectif du RGPD est de protéger les libertés et droits fondamentaux des personnes physiques, et en particulier leur droit à la protection des données à caractère personnel (cf. art. 1 al. 2 du RGPD). En matière de traitement des données, le RGPD comporte des dispositions relatives aux principes suivants, bien que l'élaboration plus détaillée d'un droit national de la protection des données soit du ressort des États membres :

- Licéité du traitement
- Loyauté du traitement
- Transparence
- Limitation des finalités
- Minimisation des données
- Exactitude du traitement des données
- Limitation de la conservation
- Intégrité et confidentialité

D'un point de vue territorial, le RGPD s'applique au traitement des données à caractère personnel effectué dans le cadre des activités d'un établissement d'un responsable du traitement ou d'un sous-traitant sur le territoire de l'Union européenne, que le traitement ait lieu ou non dans l'Union (art. 3 al. 1).

Le futur règlement ePrivacy (ePR) doit élargir le RGPD. Il portera principalement sur la communication électronique et s'intéressera notamment au traitement des données. Il prendra le relai de la directive sur la protection de la vie privée, que le législateur allemand avait jusque-là transposée en grande partie dans la loi sur les télémédias (*Telemediengesetz* – TMG) et la loi sur les télécommunications (*Telekommunikationsgesetz* – TKG), et devrait entrer en vigueur dans le courant de l'année 2020. Le potentiel d'innovation, notamment en ce qui concerne l'IA et la *blockchain*, ne doit pas en être entravé, c'est-à-dire qu'un traitement ultérieur compatible avec la communication *machine to machine* (M2M) doit rester possible (Bitkom, 2017).

[60] Cf. BNetzA (2015b), rapport d'évaluation en vertu du § 33 du décret de régulation incitative, p. 44.

Pratiquement toutes les opérations en lien avec des données à caractère personnel peuvent être considérées comme un traitement de ces données. La prise en compte de cet aspect était d'ailleurs un objectif déclaré lors de l'élaboration du RGPD. En vertu de l'art. 2 al. 1, le RGPD s'applique ainsi au traitement de données à caractère personnel, automatisé en tout ou en partie, ainsi qu'au traitement non automatisé de données à caractère personnel contenues ou appelées à figurer dans un fichier. Par conséquent, on peut se demander dans quelle mesure le traitement de données à caractère personnel peut être autorisé dans le cadre des analyses de *big data*. L'art. 2 al. 2 du RGPD liste plusieurs cas faisant exception, lesquels, d'après Bartsch (2018), ne concernent pas les fournisseurs d'énergie de manière générale. La violation des principes du traitement de données à caractère personnel peut entraîner une amende pouvant s'élevant à 20 millions d'euros ou, notamment dans le cas d'une entreprise du secteur de l'énergie, à 4 % du chiffre d'affaires annuel mondial total de l'exercice précédent de l'entreprise concernée ainsi que d'autres mesures pouvant être prises par l'autorité de contrôle.

D'une manière générale, les opérations suivantes sont assimilables à un traitement :[61]

- Traitement : collecte, conservation, modification, utilisation, transmission, rapprochement ou effacement de données à caractère personnel
- Collecte : récupération ou compilation de données, par exemple au moyen d'un formulaire de contact
- Conservation et/ou modification de données : par exemple la conservation d'un mail
- Transmission : par exemple le transfert d'un mail
- Utilisation : par exemple l'interrogation d'une base de données
- Rapprochement avec d'autres données et effacement : par exemple la destruction d'un support de données

En règle générale, le traitement de données à caractère personnel par des fournisseurs d'énergie en Allemagne entre donc dans le domaine d'application du RGPD.

Intelligence artificielle et sécurité des données

La sécurité des données doit être garantie au cours de leur traitement. L'art. 32 al. 1 du RGPD prévoit, compte tenu de l'état des connaissances, des coûts de mise en œuvre et de la nature, de la portée, du contexte et des finalités du traitement ainsi que des risques, dont le degré de probabilité et de gravité varie, pour les droits et libertés des personnes physiques, que le responsable du traitement et le sous-traitant mettent en œuvre les mesures techniques et organisationnelles appropriées afin de garantir un niveau de sécurité adapté au risque. Ces mesures comprennent entre autres et selon les besoins :

- la pseudonymisation et le chiffrement des données à caractère personnel ;
- des moyens permettant de garantir la confidentialité, l'intégrité, la disponibilité et la résilience constantes des systèmes et des services de traitement ;
- des moyens permettant de rétablir la disponibilité des données à caractère personnel et l'accès à celles-ci dans des délais appropriés en cas d'incident physique ou technique ;
- une procédure visant à tester, à analyser et à évaluer régulièrement l'efficacité des mesures techniques et organisationnelles pour assurer la sécurité du traitement.

[61] Art. 4 n° 2 du RGPD.

Lors de l'évaluation du niveau de sécurité approprié, il est tenu compte en particulier des risques que présente le traitement, résultant notamment de la destruction, de la perte, de l'altération, de la divulgation non autorisée de données à caractère personnel transmises, conservées ou traitées d'une autre manière, ou de l'accès non autorisé à de telles données, de manière accidentelle ou illicite.[62]

L'art. 25 du RGPD prescrit la protection des données dès la conception et la protection des données par défaut, fixant ainsi de futures exigences en matière de développement et de déploiement de produits. Le responsable du traitement doit mettre en œuvre, tant au moment de la détermination des moyens du traitement qu'au moment du traitement lui-même, des mesures techniques et organisationnelles appropriées qui sont destinées à mettre en œuvre de façon effective les principes relatifs au traitement des données. Le RGPD donne l'exemple de la protection des données dans le cadre de marchés publics. Dans cette mesure, les exigences devraient également affecter indirectement le développement des produits et des processus informatiques. Ainsi, la conception des systèmes techniques doit, dès le stade le plus précoce, garantir de manière proactive et par là même efficace le respect des principes de traitement.

Conformément à l'art. 25 du RGPD, le responsable du traitement doit mettre en œuvre les mesures appropriées[63] pour garantir que, par défaut, seules les données à caractère personnel nécessaires sont traitées[64]. Cela s'applique à la quantité de données à caractère personnel collectées, à l'étendue de leur traitement, à leur durée de conservation et à leur accessibilité. Les principes de minimisation des données et de limitation des finalités se voient ainsi consolidés sur le plan technique pour tenir compte du fait que l'utilisateur ne modifie que rarement les paramètres par défaut. Un mécanisme de certification approuvé au sens de l'art. 42 du RGPD doit pouvoir servir d'élément pour démontrer le recours à des moyens appropriés.[65]

En ce qui concerne les fournisseurs d'énergie, un dialogue avec les concepteurs des systèmes de traitement de données utilisés est indispensable au regard des prescriptions de l'art. 25 du RGPD. En outre, il est nécessaire d'évaluer de manière continue les activités de traitement en entreprise et d'élaborer des directives et stratégies en matière de données à caractère personnel, par exemple en ce qui concerne leur effacement, leur blocage, leur pseudonymisation et le droit d'accès qui leur est associé. Le droit spécifique au secteur de l'énergie tient déjà compte de ces aspects sous le § 2 n° 19 de la MsbG qui prévoit, pour l'utilisation des passerelles de compteurs intelligents, un profil de protection rigoureux ainsi que des directives techniques sous le contrôle du BSI. L'IA doit bien sûr elle aussi suivre ces prescriptions.

Droit de la responsabilité, droit d'auteur et droit des ententes

Parallèlement à la réglementation en matière de protection et de sécurité des données, il convient de prendre en compte la réglementation en matière de responsabilité, notamment délictuelle, ainsi que les dispositions contraignantes du droit d'auteur et du droit des ententes. L'utilisation de l'IA pose en priorité les questions suivantes :

- L'IA possède-t-elle la personnalité juridique ?
- Qui est responsable des dommages causés par l'IA ?

[62] Art. 32 al. 2 du RGPD.
[63] Art. 25 al. 1 du RGPD.
[64] Art. 25 al. 2 phrase 1 du RGPD.
[65] Art. 25 al. 3 du RGPD.

En sachant que la création de personnes juridiques relève d'un acte (d'attribution) purement juridique, l'introduction d'un nouveau type de personnalité juridique, par exemple sous la forme d'une « e-personnalité », est tout à fait contestable. Une telle introduction serait envisageable, mais s'accompagnerait inévitablement de problématiques supplémentaires. D'après les experts, il n'est à l'heure actuelle pas nécessaire de créer une « e-personnalité ». Tous les problèmes qui se posent actuellement peuvent être résolus dans le cadre juridique existant. Les systèmes d'IA n'ont pour l'heure pas atteint un degré d'autonomie qui rendrait impossible de les rattacher à des actions humaines. Les lacunes en matière de responsabilité peuvent simplement être comblées par une adaptation prudente de la réglementation existante. Il convient notamment d'examiner les questions d'attribution et d'engagement de la responsabilité en cas de défaillance technique et de mise en circulation de systèmes techniques défectueux. Les principaux domaines connexes sont le droit des contrats (contrats conclus par des systèmes automatisés et semi-autonomes et questions de responsabilité contractuelle qui en découlent), le droit délictuel (responsabilité extracontractuelle aux termes du § 823 du Code civil allemand, loi sur la circulation routière (StVG), etc.) ainsi que le droit des produits défectueux et de la sécurité des produits (BMWi, 2019b). Au sens du § 3 de la loi sur la responsabilité du fait des produits défectueux (*Produkthaftungsgesetz*), un produit est défectueux s'il n'offre pas la sécurité que l'on peut raisonnablement en attendre. On entend par *défaut* un écart par rapport à l'état de la science et de la technique au moment où le produit est mis en circulation. La réglementation en la matière est avant tout définie sous forme de standards comme les normes DIN, CEN et ISO. Par ailleurs, des lois spécifiques peuvent imposer des exigences techniques à des produits jugés particulièrement à risque.[66] En ce qui concerne les systèmes d'IA, la question de la défectuosité ne se pose pas seulement à l'égard des algorithmes utilisés, mais également des données nécessaires à l'apprentissage du système. L'appréciation est rendue difficile par le manque actuel de normes techniques ou de règles reconnues qui permettent de déterminer des exigences minimales en matière de conception de l'IA et de données d'apprentissage.

À quelles conditions une déclaration de volonté peut-elle parvenir à une machine intelligente entièrement autonome ? La réponse à cette question est particulièrement importante en matière de communication M2M (p. ex. dans l'industrie 4.0). En raison de la « théorie de la réception » qui prévaut actuellement, cette question ne devrait guère susciter de controverse, quel que soit le degré d'avancement du système. En effet, selon la théorie de la réception, une déclaration de volonté est considérée comme reçue dès lors qu'elle parvient dans la sphère du destinataire de telle sorte que, dans des conditions normales, celui-ci puisse en prendre connaissance. Ainsi, la déclaration de volonté arrive dans la sphère du destinataire si celle-ci parvient dans un lieu spécialement conçu pour la réception de déclarations de volonté. Au début des années 2000, la manière de considérer les supports électroniques était encore controversée. À l'époque, comme c'est aujourd'hui le cas pour l'IA, un aspect était pourtant décisif : le destinataire détermine les modalités de la réception. C'est donc à lui d'affecter un lieu à la réception. Il doit assurer une relève appropriée, quelle que soit la configuration technique de son « support de réception ». Dans cette mesure, les boîtes aux lettres peuvent également être des « supports de réception » appropriés. Le destinataire doit seulement se charger de les vider et de prendre connaissance de leur contenu à intervalles raisonnables. Dans cette mesure, le fait que ce soit une IA qui se charge de la réception et, le cas échéant, l'optimise techniquement, ne présente aucune différence. La loi prévoit ici une répartition des risques équitable qui n'a pas lieu d'être sérieusement débattue en raison des progrès techniques (du moins jusqu'à présent, et sans doute aussi à l'avenir) (cf. Pieper *et al.*, 2019).

[66] On peut par exemple citer les directives techniques visant les compteurs intelligents aux termes de la MsbG.

Les bouleversements liés à la robotique et à l'IA joueront également un rôle important en matière de protection de la propriété industrielle et de droit d'auteur (Hetmank et al., 2018). En effet, des algorithmes de plus en plus performants, qui produisent non seulement des textes, mais aussi des images et des vidéos, sont des producteurs de contenu au même titre que les auteurs, et remplaceront à l'avenir de plus en plus ces derniers. Les infrastructures et institutions juridiques historiques consacrées au droit d'auteur doivent donc être adaptées aux nouvelles conditions technologiques (Wandtke et al., 2019). En cas de recours à l'IA, on appréciera si, compte tenu de l'ensemble des circonstances du cas considéré, un artiste ou un auteur utilise le logiciel ou l'algorithme spécifiquement pour l'élaboration d'une création intellectuelle personnelle qui lui est propre ou bien si un programmeur a programmé un logiciel ou un algorithme et que le programmeur et/ou l'artiste prend connaissance des résultats plus ou moins aléatoires de son utilisation (Ory et al., 2019/Lauber-Rönsberg, 2019/Borges, 2018). Initialement formulée dans son rapport concernant des règles de droit civil sur la robotique, la demande de la Commission des affaires juridiques faite au Parlement européen et à la Commission européenne d'élaborer des critères pour définir ce qu'est une « création intellectuelle propre à l'auteur » d'œuvres susceptibles d'être protégées par le droit d'auteur et pouvant être produites par des ordinateurs ou des robots, n'a pas été incluse dans la résolution finale (Hetmank et al., 2018).

Dans certains domaines du droit des ententes, comme les accords restrictifs de la concurrence, certaines restrictions des modes de distribution via des plateformes ne sont que partiellement interdites (uniquement si la réglementation exige que l'on agisse de manière non discriminatoire sur la plateforme) et de nouvelles possibilités pour conclure de tels accords restrictifs se font actuellement jour. Par ailleurs, l'interdiction des abus concernant les modèles commerciaux du monde numérique basés sur les données a déjà été renforcée par le 9e amendement de la loi contre les restrictions à la concurrence (*Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen* – GWB) ainsi que dans le cadre de la nouvelle amende prévue par le droit des ententes et du droit à l'indemnisation des préjudices résultant de pratiques anticoncurrentielles. Les nouveaux critères de pouvoir de marché, définis au § 18 al. 2a et 3a de la GWB, sont importants pour l'accès aux systèmes d'IA. Le § 18 al. 2a de la GWB stipule désormais que, même dans le cadre d'une prestation gratuite, l'existence d'un marché concurrentiel doit être supposée et par conséquent qu'un abus de position dominante est également possible dans ce qu'on appelle « l'économie de la gratuité » en raison des effets de réseau induits. Le § 18 al. 3a de la GWB adapte quant à lui la notion de domination du marché aux modèles d'activité basés sur les données (Jakl, 2019).

3.3.2 Particularités réglementaires des champs d'application

Prévisions

En ce qui concerne par exemple la prévision des prix dans le domaine de la production ou du négoce, il est nécessaire de disposer entre autres de séries chronologiques historiques sur les produits ainsi que de données météorologiques. Par conséquent, on procède dans un premier temps au traitement de données primaires telles que des séries chronologiques historiques de cours de bourse ou de prix des carburants. L'installation et l'utilisation des compteurs intelligents sont les pierres angulaires du processus de prévision des données d'état du réseau. Dès qu'un compteur intelligent exploité par un gestionnaire de compteurs mesure des données, tous les transferts de données relèvent du domaine d'application de la MsbG.

Dans le processus examiné ici, la collecte de données d'activité par l'intermédiaire d'une passerelle de compteur intelligent est nécessaire pour la prévision de données sur l'état du réseau. Les données d'état du réseau ne peuvent être collectées par le gestionnaire de compteurs qu'à la demande du gestionnaire de réseaux et seulement dans des cas justifiés.[67]

Sont concernées les installations visées par l'EEG et la loi sur le couplage chaleur-force (KWKG), les installations de consommation interruptibles en basse tension aux termes du § 14a de la loi relative au secteur de l'énergie (EnWG) ainsi que les points de comptage enregistrant une consommation annuelle d'électricité supérieure à 20 000 kWh. En outre, la collecte de données d'état du réseau doit être documentée par le gestionnaire de réseau[68] et, dans le cas de données d'état du réseau à caractère personnel, celles-ci doivent être effacées sans délai après leur transmission effective[69].

Le compteur intelligent collecte non seulement des données d'activité, mais également des données de référence. En vertu des § 46 et 74 de la MsbG, ou si les spécifications de la BNetzA l'exigent, conformément au § 75 de la MsbG, ces données peuvent être collectées par le gestionnaire de compteurs lors de tout premier raccordement d'une installation à un compteur intelligent ainsi que lors de toute modification essentielle d'une donnée de référence, dans l'étendue et au moment nécessaires.[70] Conformément au § 111e al. 1 n° 1 de l'EnWG, la BnetzA met en place et tient le registre de données de référence du marché (MaStR), « *répertoire électronique de données du secteur de l'énergie* ». L'exécution de cette procédure administrative est régie par le règlement sur le registre de données de référence du marché (MaStRV).[71] L'Agence fédérale des réseaux applique au registre des mesures techniques et organisationnelles conformément aux art. 24, 25 et 32 du RGPD.

Les données enregistrées suivantes sont publiées dans le MaStR :

- Données relatives aux unités et installations (à l'exception des données de localisation, des données confidentielles et des données relatives aux unités considérées comme des infrastructures critiques)
- Données concernant les acteurs du marché (à l'exception des personnes physiques)[72]

Toutefois, la BnetzA accorde aux gestionnaires de réseau également un accès à des données non publiées, y compris des données à caractère personnel, dans la mesure où il s'agit de données concernant des unités raccordées à leur réseau et que ces données sont nécessaires à l'accomplissement des missions légales du gestionnaire de réseau.[73] La BnetzA donne également accès aux données à certaines administrations publiques.[74] Celles-ci sont autorisées à communiquer des données, y compris à caractère personnel, aux fins suivantes :

- fins d'archivage présentant un intérêt public ;
- fins scientifiques ou historiques ;
- fins statistiques.

[67] § 56 al. 1 de la MsbG.
[68] § 56 al. 3 de la MsbG.
[69] § 64 al. 2 de la MsbG.
[70] § 57 de la MsbG.
[71] MaStRV en lien avec les § 111e et 111f de l'EnWG et le § 6 al. 2 de l'EEG.
[72] § 15 du MaStRV.
[73] § 17 du MaStRV.
[74] La BNetzA donne accès aux données non publiées en vertu du § 15 al. 1 du MaStRV aux administrations suivantes : BMWi, Office fédéral des ententes (*Bundeskartellamt*), Office fédéral de l'environnement (*Umweltbundesamt*), Office fédéral de l'économie et du contrôle des exportations (*Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle*), Institut fédéral de l'agriculture et de l'alimentation (*Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*), Office fédéral de la statistique (*Statistisches Bundesamt*), administration fiscale de l'État fédéral et des Länder et autorités de régulation des Länder (§ 16 al. 3 du MaStRV).

La BNetzA peut donner accès aux données enregistrées dans le MaStR aux acteurs du marché et aux administrations à travers des interfaces électroniques.[75]

La collecte de données à l'aide d'un compteur intelligent hors du cadre défini aux § 55 à 58 de la MsbG est autorisée uniquement si celle-ci n'implique aucune donnée à caractère personnel (sans préjudice de l'art. 6 al. 1 du RGPD). Il convient en outre de respecter les principes réglementaires de traitement des données conformément aux art. 24 à 32 du RGPD.

Il existe ainsi un responsable du traitement qui, tout en tenant compte de la nature, de la portée, du contexte et des finalités du traitement, met en œuvre des mesures techniques d'intelligence artificielle et des mesures organisationnelles (comme la pseudonymisation) appropriées afin de garantir un traitement des données conforme au RGPD. Ces mesures doivent en particulier garantir que, par défaut, les données à caractère personnel ne sont pas rendues accessibles à un nombre indéterminé de personnes sans l'intervention du responsable du traitement.[76]

Dans ce champ d'application, la formation d'un modèle repose sur l'apprentissage de l'*identification* de corrélations, par exemple entre un historique de prix et d'autres données disponibles (issues de la production et du négoce) ou encore entre un historique de flux de charge et d'autres données disponibles (issues du réseau). Sur cette base, l'IA est capable de *déduire* les futurs prix ou flux de charge. Les exigences décrites plus haut en matière de traitement des données sont applicables à ce processus.

Synthèse et évaluation

À des fins de prévisions, des données de référence et des données d'activité sont collectées et traitées. Ces processus entrent dans le cadre de la réglementation nationale générale en matière de collecte de données (p. ex. art. 5 à 7 du RGPD) et de traitement de données (p. ex. art. 24 à 26 et 30 du RGPD et § 37 de la BDSG) ainsi que dans le cadre du droit communautaire (p. ex. art. 5 de la directive PSI). Les exigences juridiques en matière de protection des données sont diverses. Toutefois, aucune d'elles ne constitue un critère d'exclusion ni n'est impossible à satisfaire dans le cadre de l'utilisation de l'intelligence artificielle, c'est pourquoi leur influence est dans l'ensemble évaluée comme moyenne. Les données d'activité nécessaires aux prévisions sont collectées au moyen de compteurs intelligents. Dans cette mesure, les exigences de la MsbG (en lien avec l'EnWG) doivent être observées (p. ex. § 52 de la MsbG). En outre, la MsbG contient des dispositions spécifiques aux différentes applications en ce qui concerne la collecte, le traitement et l'utilisation de données (via une passerelle de compteur intelligent). Ces dispositions sont moins complexes et plus simples à mettre en œuvre, d'où une influence jugée globalement faible. L'utilisation des données de référence issues du MaStR relève des prescriptions du MaStRV (p. ex. § 16 et 17 du MaStRV). Les données du MaStR sont dans leur majorité publiquement accessibles afin de garantir une meilleure disponibilité des données du secteur de l'énergie. Étant donné que ce règlement va jusqu'à encourager en principe la collecte et le traitement des données de référence, son influence en matière réglementaire est considérée comme faible.

Étant donné qu'il existe, notamment en droit de l'énergie, de la protection des données et de la sécurité des données, diverses dispositions contraignantes applicables à l'utilisation de systèmes basés sur des algorithmes, on peut affirmer que la réglementation a une influence sur ce champ d'application. Toutefois, celle-ci ne constitue pas un facteur limitant en matière d'utilisation de l'IA.

[75] § 30 al. 2 du MaStRV.
[76] Art. 24 al. 2 du RGPD.

Aussi, l'influence de la réglementation sur le champ d'application est considérée comme faible. Par suite, la viabilité des applications de ce champ est jugée élevée du point de vue réglementaire.

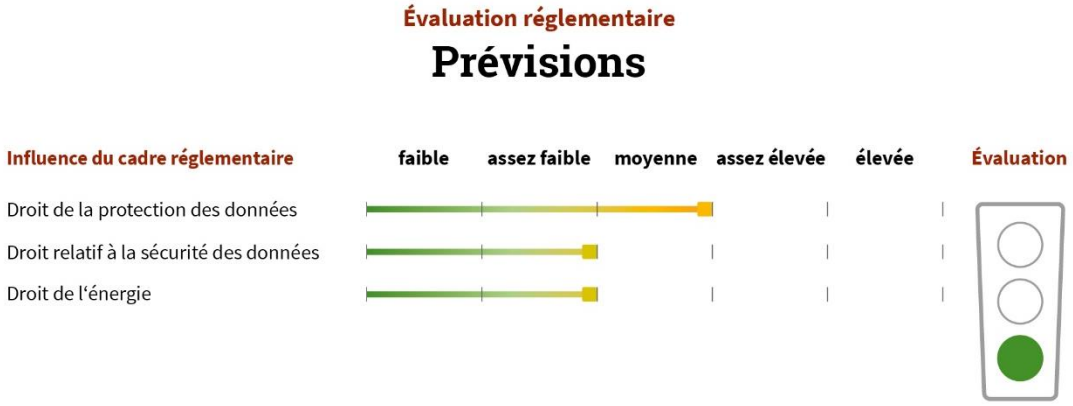

Figure 39 : évaluation réglementaire du champ d'application « prévisions »

Optimisation de l'exploitation

Dans le cadre d'une optimisation de la planification opérationnelle d'installations de production, l'intelligence artificielle pourrait *identifier* différentes stratégies d'enchères sur la base des prévisions de prix et en *déduire* une stratégie de stockage optimale. Associé à la mesure de séries de valeurs de compteur[77], ce processus servirait de base à la mise en place de tarifications dynamiques et variables. Le compteur intelligent permet à l'utilisateur du raccordement de moduler sa consommation d'électricité en fonction des signaux de prix : il peut augmenter sa consommation lorsque le prix est bas et la diminuer lorsque le prix est élevé (Lüdemann et al., 2016).

En cas de perturbations du réseau, les gestionnaires de réseau sont responsables de la résolution du problème et du maintien de l'approvisionnement en énergie électrique. Ces perturbations peuvent par exemple survenir lorsque la fréquence du réseau ou d'autres paramètres de stabilité ne sont plus maîtrisés ou bien lorsqu'il se forme des goulots d'étranglement pour d'autres raisons. Afin de garantir la stabilité du réseau, le gestionnaire de réseau peut prendre différentes mesures. L'EnWG distingue quatre catégories de mesures : les mesures liées au réseau, les mesures liées au marché, le recours à des centrales de réserve et les mesures d'ajustement (Deloitte, 2019).

Conformément au § 14 al. 1 n° 1 de l'EEG, l'apparition d'un goulot d'étranglement autorise les gestionnaires de réseau à réguler l'injection et les installations. Cette autorisation de régulation porte aussi bien sur les installations raccordées directement qu'indirectement. Ainsi, le domaine d'application du § 14 al. 1 n° 1 de l'EEG s'étend également aux réseaux en amont. Par conséquent, les gestionnaires de réseau doivent équiper leurs installations raccordées directement ou indirectement et leurs centrales de cogénération de telle sorte qu'elles puissent éviter un goulot d'étranglement dans la zone du réseau concernée, ce qui inclut le réseau en amont. Cette disposition prise par le législateur sert à éviter une éventuelle surcharge du réseau.

[77] Aux termes du § 2 phrase 1 n° 27 de la MsbG, la mesure d'une série de valeurs de compteur est la mesure d'une suite de valeurs enregistrées par le compteur tous les quarts d'heure. Contrairement au relevé annuel de compteur servant à facturer les clients au profil de charge normalisé, une facturation différenciée dans le temps est ainsi possible.

Cette dernière peut survenir en cas de vent fort on en période d'injection élevée d'électricité solaire et peut forcer les réseaux de distribution auxquels sont raccordés les installations concernées à injecter de l'électricité dans le réseau en amont. S'il en résulte un goulot d'étranglement ne pouvant être résolu par la régulation des centrales conventionnelles, le gestionnaire du réseau touché demande alors au gestionnaire du réseau en aval de réduire cette injection forcée.

Le § 14 de l'EEG régit uniquement les goulots d'étranglement du réseau ; les causes de congestion minimes ou temporaires, comme des travaux de maintenance ou d'entretien, ne relèvent pas du domaine d'application du § 14 de l'EEG et ne donnent donc pas lieu à une compensation (pécuniaire) pour cas de rigueur au titre du § 15 de l'EEG (Lülsdorf, 2019). Afin d'optimiser l'exploitation du réseau, l'IA doit *identifier* ces goulots d'étranglement et en *déduire* des mesures de gestion appropriées.

Par ailleurs, comme le prévoit le § 14a de l'EnWG, la redevance de réseau des fournisseurs et des consommateurs finaux en zone de basse tension est réduite si, en contrepartie, ils consentent à ce que des installations de consommation contrôlables disposant d'un point de comptage séparé soient pilotées pour les besoins du réseau.

Depuis l'expansion des installations EnR en Allemagne et l'augmentation résultante du pourcentage d'énergie injectée issue de sources volatiles, la notion de « flexibilité » suscite d'intenses discussions parmi les experts. L'objectif de fond est de pouvoir exploiter la plus grande quantité possible d'électricité produite par des installations EnR, autrement dit d'intégrer au mieux les EnR au marché existant. Étant donné que les installations EnR sont très dépendantes des conditions météorologiques et par conséquent volatiles, il est nécessaire de disposer de capacités suffisamment flexibles pour absorber l'électricité qu'elles produisent de manière irrégulière. À cet égard, l'expression « utilité pour le réseau » (*Netzdienlichkeit*) s'invite depuis quelques années dans les discussions. On l'emploie lorsque le recours à la flexibilité est positif du point de vue du réseau, autrement dit lorsqu'il lui est utile. Les services utiles au réseau permettent un contrôle plus précis des charges et des injections et améliorent par la même occasion la transparence du réseau. Le rôle du gestionnaire de compteurs à l'égard des données repose sur la définition suivante : « *Les services utiles au réseau sont des services qu'un gestionnaire de compteurs peut fournir à un gestionnaire de réseau via un compteur intelligent et qui, aux termes du § 33 de la MsbG, sortent du cadre des services standards et additionnels de gestion de compteurs et de communication de données et sont à même d'être utiles au réseau* » (Deloitte, 2019).

L'attention se porte aujourd'hui sur les avantages que comporte une conception de la gestion de la congestion davantage basée sur le marché (notamment en raison de l'ouverture de marchés régionaux de services de flexibilité). Les paragraphes suivants présentent tout d'abord les opportunités et les risques d'une telle approche, puis s'intéressent au cadre juridique dans lequel elle s'inscrit à l'égard du règlement relatif au marché intérieur de l'électricité, de la directive relative au marché intérieur de l'électricité ainsi que du droit allemand. On examinera en particulier dans quelle mesure une exception au principe de gestion de la congestion basée sur le marché se justifie par le risque de mise en place de stratégies d'enchères par les acteurs du marché (Weyer *et al.*, 2019).

En matière de pilotage de réseau, les mesures de suivi basées sur l'IA et la gestion de l'injection assistée par l'IA sont avant tout confrontées à des obstacles à l'investissement. L'Agence fédérale des réseaux refuse pourtant depuis 2015 l'introduction de redevances variables en fonction de la congestion (et ainsi concrètement une gestion de la congestion assistée par l'IA), étant donné qu'une tarification des portions de réseau surchargées basée sur la congestion ne serait « guère envisageable dans des réseaux maillés » (cf. BNetzA, 2015a).

Une solution à ce dilemme réglementaire pourrait passer par un recours accru aux systèmes basés sur des algorithmes à des fins de prévision et d'anticipation de manière à résoudre les problèmes de goulots d'étranglement avant même leur apparition. L'optimisation de la planification opérationnelle des installations de production tout comme l'optimisation de l'exploitation du réseau impliquent le traitement de données (en partie sensibles) de capteurs, de données météorologiques et de séries chronologiques des prix de l'électricité. Les exigences réglementaires en matière de collecte et de traitement de données, décrites dans l'évaluation générale des champs d'application, sont ici applicables. Dès lors qu'il s'agit de données à caractère personnel, le RGPD s'applique également et doit être respecté.

Synthèse et évaluation

En principe, une IA sous forme d'algorithmes pourrait réagir automatiquement aux variations de prix. Cependant, il faudrait tout d'abord permettre des signaux de prix ou bien rendre possible la mise en place de redevances variables à travers un déploiement généralisé de compteurs intelligents.

En matière de gestion du réseau, cette mesure pourrait à l'avenir être techniquement mise en œuvre grâce aux compteurs intelligents associés à la mesure de séries de valeurs de compteur. Ainsi, grâce à l'IA, il serait possible d'orienter les installations photovoltaïques de manière optimale en fonction du vent et de l'ensoleillement et de prévoir des séries chronologiques de prix au niveau du marché, ce qui favoriserait également une meilleure anticipation de la congestion au niveau du réseau. Pourtant, la BnetzA refuse l'introduction de redevances variables en fonction de la congestion, ce qui empêche de planifier les installations de stockage de manière à les rendre utiles au réseau et d'exploiter tout leur potentiel d'optimisation de l'infrastructure. Aussi, la viabilité des deux exemples cités est respectivement jugée (a) moyenne en matière de planification opérationnelle et (b) faible en matière de gestion directe de la congestion du réseau.

Avec la rapide expansion des installations EnR, la flexibilité du réseau s'avère de plus en plus nécessaire, d'où l'idée de mettre en œuvre une gestion de la congestion davantage basée sur le marché. Une gestion précise est en effet possible grâce à l'installation de compteurs intelligents permettant de piloter les installations à l'aide d'un CLS (*controllable local system*, système local contrôlable) ou boîtier de contrôle. La MsbG est à cet égard un facteur plutôt favorable pour ce champ d'application. Avant la réforme, le § 14a de l'EnWG donnait déjà la possibilité d'adapter la tarification du soutirage en basse tension. Même si une redevance de réseau prenant en compte la congestion n'était pas possible, le recours à l'IA pourrait malgré tout exploiter le potentiel de réduction de la congestion. La viabilité du champ d'application « optimisation de l'exploitation » est donc dans l'ensemble (en termes d'utilisation commerciale et d'utilité au réseau) considérée comme moyenne d'un point de vue réglementaire.

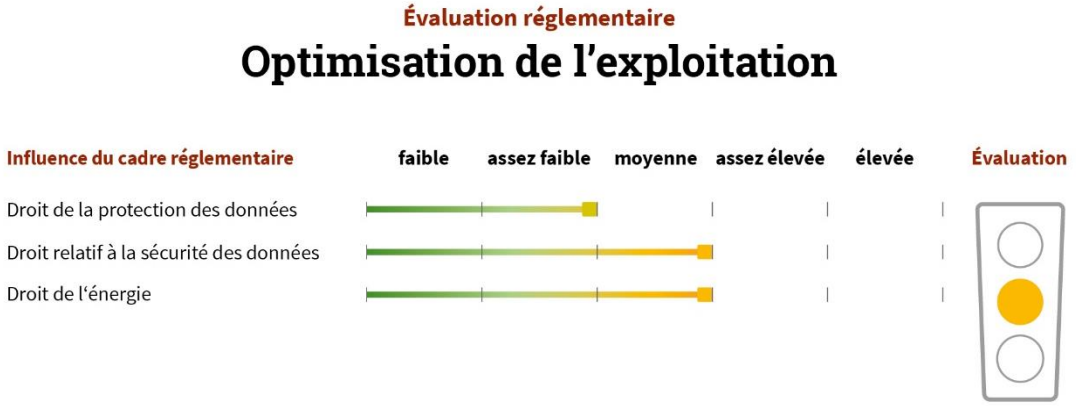

Figure 40 : évaluation réglementaire du champ d'application « optimisation de l'exploitation »

Optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques

Dans ce champ d'application, il est tout d'abord nécessaire de fournir à l'IA les prix ou les coûts, les données techniques concernant les technologies de stockage ainsi que les options d'élimination des goulots d'étranglement. La formation du modèle se déroule comme dans les champs d'application « prévisions » et « optimisation de l'exploitation », mais prend néanmoins plus de temps.

On entend par planification « la définition d'objectifs à réaliser et l'anticipation des actions nécessaires à leur réalisation » (cf. Wolff et al., 2010). Néanmoins, outre les réserves concernant la planification étatique (« prétention du savoir », Hayek, 2014), il est difficile de regrouper toutes les opérations de planification sous un même terme. Cela est d'autant plus vrai que la planification se décompose souvent en plusieurs étapes. Ainsi, en droit des infrastructures, la planification des besoins ne constitue que la première étape de la planification, à laquelle succède la planification de la mise en œuvre (Schmitt, 2015). En ce qui concerne le renforcement du réseau, le terme de planification est employé indifféremment, quel que soit le cas. La nécessité d'accroître la participation du public complique particulièrement l'attribution de projets à des acteurs privés. Cela est particulièrement frappant dans le cas de la planification sectorielle fédérale, dont l'Agence fédérale des réseaux est seule responsable, mais qui est souvent prise à tort pour une initiative privée des GRT en raison de la nécessité de formuler une demande. Mais c'est bien en raison de la nécessité d'une forte participation du public qu'il ne s'agit pas du secteur privé (Franzius, 2015b). La caractéristique commune à toutes les planifications est principalement le rapport à l'intérêt général (Franzius, 2018).

Dans le cas d'utilisation a), une IA doit *identifier* la rentabilité de différentes technologies en se basant sur la prévision des prix de différents marchés ou domaines d'applications et des stratégies d'enchères, et en *déduire* des investissements optimaux dans les conditions données. L'un des aspects à considérer ici est le lien entre planification et réglementation. Il convient tout d'abord de se demander dans quelle mesure la liberté d'appréciation en matière réglementaire, très souvent exigée par le droit de l'Union, peut se concevoir sur le modèle de la liberté d'appréciation en matière de planification, car les différences entre les approches risquent de s'estomper (Kersten, 2010).[78] Ensuite, le caractère anticipatoire de la planification conduit à se demander si une réglementation intelligente représente une alternative à la planification ou bien n'impose pas à l'inverse des prescriptions en droit de la planification.[79]

[78] Également Durner, 2011 : p. 429 et s. ; nuancé par Eifert, 2010 : p. 460 et s., 482 et s.
[79] Pour faire le lien avec l'exemple de la planification des besoins des médecins conventionnés aux termes des § 99 et s. du livre V du Code la Sécurité sociale (Sozi*algesetzbuch V*), cf. Franzius, 2012 : p. 56 et s.

Enfin, le droit de la transition énergétique a donné naissance à des formes hybrides, comme la planification du développement du réseau aux termes des § 12a et s. de l'EnWG (Franke, 2013). La confirmation par l'Agence fédérale des réseaux n'est pas seulement une décision réglementaire : elle constitue également la première étape de la planification des besoins, qui ne peut être entérinée que par la loi de planification fédérale des besoins et la justification du plan par le législateur, qui a une légitimité démocratique (Wißmann, 2014).[80]

On ne peut parler de planification de la production éolienne que dans un sens limité. On observe depuis longtemps une asymétrie problématique pour la réussite de la transition énergétique entre la planification détaillée de l'extension du réseau et la « libre » décision d'investissement des exploitants d'éoliennes (Hermes, 2014/Krawinkel, 2012). Ces installations sont certainement concernées par des prescriptions en matière d'aménagement du territoire, notamment la planification des zones prioritaires et la planification des capacités conformément au § 35 al. 3 n° 3 du Code de la construction (*Baugesetzbuch*)[81]. Néanmoins, ces prescriptions ne portent que sur le lieu de l'installation sans prendre en compte les coûts d'extension du réseau. Tandis que les investissements des GRT sont encadrés par le droit de la planification, il manque des dispositions juridiques adaptées en ce qui concerne la production en amont. Le contrôle réglementaire de l'énergie éolienne pâtit également de ce manque.

En ce qui concerne les subventions de l'EEG, le passage du contrôle des prix à un modèle d'appel d'offres nécessite toutefois le recours à des instruments de planification. Si le modèle réglementaire de l'appel d'offres venait à se généraliser pour fixer le niveau des subventions par la concurrence, cela supposerait en principe une planification des besoins pour les installations EnR plus exigeante pour l'État qu'à l'heure actuelle (Franzius, 2015a).[82]

Pour Franzius, il faut avant tout se demander si la réduction des subventions peut constituer un moyen de mieux coordonner les deux niveaux. Car le problème de fond subsiste : tandis que, dans le cas de la planification du réseau, il n'est plus guère possible, en raison de la « responsabilité systémique » des GRT, d'envisager une planification privée, qui n'aurait plus qu'à être officiellement confirmée, la situation est différente au niveau de la production. En effet, une limitation des subventions ne peut pas faire oublier le fait que l'exploitant d'installation utilise « gratuitement » des biens communs comme l'air et la terre et qu'il peut produire de l'électricité en générant des coûts d'extension du réseau qui ne seront pas pris en charge par lui, mais par la collectivité. Ce problème pourrait être corrigé par une modification de la réglementation relative aux énergies renouvelables, bien que se pose alors la question de l'échelle, qui devrait – c'est la thèse de ce rapport – découler non seulement du cadre réglementaire, mais également d'une planification en amont (Franzius, 2018).

Le projet ALICE, financé par le ministère fédéral allemand de la Recherche, étudie la manière dont par exemple des éoliennes ou des turbines à gaz peuvent apprendre à partir de leurs propres données d'exploitation. Ce projet à pour objectif de permettre à des installations comme les éoliennes *offshore* ou les centrales à gaz de s'adapter à des conditions climatiques et de charge variables de manière autonome et optimale grâce à l'IA. On pourrait à cette fin utiliser les données d'exploitation des installations, qui fournissent des informations sur les oscillations, les vibrations, la vitesse du vent, la température et l'angle d'inclinaison des rotors. Dans les parcs éoliens, toutes ces informations sont collectées plusieurs fois par minute à partir de capteurs situés sur les éoliennes (BMBF, 2019). Ainsi, ce projet s'intéresse à la planification opérationnelle ou à court terme à l'aide de l'IA.

[80] Pour un point de vue critique : Köck, 2016 : p. 588 et s.
[81] Nouvelle version publiée le 3 novembre 2017/3634.
[82] Pour plus d'informations, cf. Fehling, 2014 : p. 319. Concernant l'instrument de planification des besoins, cf. Köck *et al.*, 2017. Concernant la proposition d'un « plan d'action pour la transition énergétique », cf. Schmidtchen 2014 : p. 126 et s.

Dans l'exemple d'application b) concernant la planification de l'infrastructure du réseau, une IA doit *identifier* différentes stratégies possibles d'élimination des goulots d'étranglement sur différentes portions de réseau ainsi que leur rentabilité en se basant sur la prévision des flux de charge et en *déduire* des investissements optimaux pour éliminer les goulots d'étranglement. En vertu du § 12 de l'EEG, les gestionnaires de réseau doivent, à la demande des utilisateurs souhaitant injecter de l'électricité, optimiser, renforcer et étendre leur réseau sans délai et conformément à l'état de la technique afin de garantir la collecte, le transport et la distribution de l'électricité issue d'EnR ou de gaz de mine. En cas de capacités insuffisantes, le gestionnaire de réseau a également l'obligation d'adapter son réseau aux besoins afin de garantir durablement la capacité du réseau à satisfaire la demande de transport d'électricité. Cette obligation d'extension en fonction des besoins effectifs est imposée sous réserve du caractère raisonnable des investissements en termes économiques.[83]

La progression des EnR et de l'électromobilité entraîne une augmentation de la charge du réseau d'électricité. En conséquence, les réseaux de distribution doivent être renforcés et adaptés à certains niveaux pour satisfaire aux nouvelles exigences. La start-up francfortoise Venios a développé une solution logicielle basée sur l'IA pour la planification, l'optimisation et le contrôle des réseaux de distribution électriques. L'entreprise Geospin GmbH a quant à elle développé un modèle de prévision intelligent basé sur des algorithmes d'apprentissage automatique qui est capable d'anticiper l'utilisation de points de recharge dans toute l'Allemagne.

Il est ainsi possible de choisir le lieu d'installation idéal et de maximiser l'utilisation des infrastructures de recharge pour véhicules électriques. Le modèle de prévision a pour cela accès à l'historique des recharges d'environ 6 000 stations situées en ville ou à la campagne ainsi qu'à plus de 800 sources de données géographiques (Geospin, 2020).

À l'heure actuelle, le GRT demande au GRD de lui fournir un « planning », c'est-à-dire de lui indiquer la quantité totale d'énergie par nœud de réseau que le GRD doit injecter dans le réseau de transport ou bien soutirer de celui-ci. De cette manière, il est possible de relever le défi posé par l'injection d'électricité dans le réseau de transport à partir du réseau de distribution en période de forte production ou de charge faible. La mise en œuvre de cette opération incombe au GRD. Toutefois, les GRD affirment pour leur part que leur rôle de soutien, tel que défini au § 14 de l'EnWG, ne correspond plus à leur responsabilité réelle. Une répartition égale des rôles devrait donc être définie au niveau réglementaire en accordant aux GRD une plus grande autonomie dans la gestion du système. Dans ces conditions, la décentralisation de la transition énergétique conduirait alors à des réseaux de distribution très largement autosuffisants. Gestion autonome de la congestion, rétablissement autonome de l'approvisionnement, maintien de la tension et équilibrage physique entre charges et injections dans le réseau de distribution comptent parmi les tâches additionnelles du GRD. Ces tâches ne peuvent être assurées que par le GRD, étant donné qu'il est le seul à connaître la topologie du réseau, les états de commutation ainsi que les flux de charge actuels et les prévisions de flux de charge sur le réseau de distribution (E-Bridge, 2016). Les systèmes basés sur des algorithmes peuvent aider à accomplir ces tâches. Au niveau du réseau de distribution, la puissance de réglage positive peut être presque exclusivement produite par des installations EnR et des centrales de cogénération. Sur le marché de la puissance de réglage, les délais des appels d'offres constituent un obstacle réglementaire (également en ce qui concerne le recours à l'IA) en raison des incertitudes météorologiques (Agora Energiewende, 2014). Pour cette raison, les délais ont été raccourcis une première fois en 2017, la BNetzA se réservant le droit de procéder à de nouveaux raccourcissements (BNetzA, 2017a, 2017b).

[83] § 11 al. 1 et § 12 al. 3 de l'EnWG.

Afin d'éviter l'arrêt des installations EnR, l'élargissement des possibilités d'action des GRD en ce qui concerne l'acquisition de flexibilité sur les marchés de flexibilité régionaux mérite d'être envisagé. Cette mesure préventive ne supposerait – à la différence de l'énergie de réglage – aucune menace actuelle pour l'approvisionnement en électricité au sens du § 13 al. 4 de l'EnWG. En outre, l'acquisition via le marché s'effectuerait au moyen d'accords bilatéraux, qui permettent souvent d'acheter de la flexibilité à moindre coût par rapport à l'énergie de réglage soumise à appel d'offres.

Avec le § 14a de l'EnWG, le législateur a défini en 2011 une approche prometteuse en matière de contrôle intelligent des réseaux de distribution. Pour le législateur, le contrôle est entre autres nécessaire, car le réseau basse tension « peut être poussé à ses limites de puissance par la recharge simultanée d'un grand nombre de voitures électriques » (cf. Parlement allemand, 2011). Ainsi, la réglementation doit permettre d'augmenter l'efficacité globale du système énergétique. Dans son essai pilote « Flux de chaleur flexible », le fournisseur d'énergie EnBW teste actuellement un système de quotas afin d'éviter les effets de simultanéité. Le projet se conçoit comme moyen de moderniser le § 14a de l'EnWG (Agora Energiewende, 2017). Il convient de noter que le § 14a de l'EnWG ne définit pas clairement le rôle des GRD et des autres acteurs du marché (notamment celui des fournisseurs). La norme devra être explicitée dans la rédaction du décret d'application. Le pilotage du réseau et les activités de distribution peuvent en effet être menés par les GRD eux-mêmes, qui sont les plus fiables sur le plan technique (Danner et al., 2015).

La décentralisation de la transition énergétique exige des GRD une gestion active du réseau, à laquelle les installations EnR et les charges contrôlables apportent une contribution non négligeable. En revanche, un pilotage assuré par les GRT risque d'engendrer un conflit d'objectifs avec la décentralisation de la transition énergétique. Dans la mesure où différents gestionnaires de réseau cherchent la même flexibilité, une demande du GRT non coordonnée pourrait entraîner un goulot d'étranglement au niveau du réseau de distribution. Il semble donc préférable que le GRT communique uniquement ses besoins au GRD et que la décision concrète de mise en œuvre reste du ressort du GRD de sorte qu'il puisse réguler le réseau de distribution comme une « centrale électrique » (Steinkamp, 2017). D'un point de vue réglementaire, le « paquet d'hiver » de la Commission européenne pointe à juste titre le potentiel considérable de réduction des coûts de réseau en utilisant davantage de ressources locales de flexibilité (CE, 2016). Dans le cadre du programme de soutien « Vitrine de l'énergie intelligente – Agenda numérique pour la transition énergétique », un GRD peut – contrairement aux prescriptions du § 13 al. 6 en lien avec le § 14 al. 1 de l'EnWG – acquérir des charges contrôlables sans devoir mettre en place une plateforme Internet commune à tous les GRD.[84] Les § 39j et 88d de l'EEG ont habilité le gouvernement allemand à lancer des appels d'offres pour l'innovation visant des installations particulièrement utiles au réseau et au système. Cette mesure est censée favoriser une optimisation utile au réseau de la flexibilité.[85] L'exposé des motifs de la loi précise que l'optimisation du réseau passe par la flexibilité du côté de la production, mais aussi du côté de la consommation (Schäfer-Stradowsky *et al.*, 2018).

[84] § 5 du règlement SINTEG.
[85] § 88d n° 3c de l'EEG ; Lülsdorf (2019).

Synthèse et évaluation

La décentralisation de la transition énergétique exige des GRD une gestion active du réseau, à laquelle les installations EnR et les charges contrôlables apportent une contribution non négligeable. Conformément au § 11 de l'EnWG, les gestionnaires de réseau ont en effet l'obligation, en cas de capacité insuffisante, de renforcer leur réseau en fonction des besoins afin de garantir durablement la capacité du réseau et de satisfaire la demande de transport d'électricité. Un réseau flexible pourrait contribuer à la réduction des coûts de renforcement du réseau. Conformément aux § 39j et 88d de l'EEG, le gouvernement allemand favorise une optimisation utile au réseau de la flexibilité à travers des appels d'offres pour l'innovation. Avec le § 14a de l'EnWG, le législateur a défini dès 2011 une approche prometteuse en matière de contrôle intelligent des réseaux de distribution, laquelle doit encore être étoffée. Ce contrôle est entre autres nécessaire, car le réseau basse tension peut par exemple être localement poussé à ses limites de puissance par la recharge simultanée de plusieurs véhicules électriques. Ainsi, la réglementation doit permettre d'augmenter l'efficacité globale du système énergétique. Et en la matière, rien ne s'oppose fondamentalement à l'IA, qui est de toute façon déjà utilisée.

Si des données de consommation (comme les données de consommation d'électricité) sont enregistrées dans un système basé sur des algorithmes, alors l'IA, utilisée entre autres pour le traitement des données, doit alors satisfaire aux exigences énoncées aux § 21 et 22 de la MsbG. Les exigences réglementaires posées entre autres par l'EnWG et l'EEG soutiennent une planification intelligente de la gestion des goulots d'étranglement plus qu'elles ne constituent des obstacles. Le potentiel de mise en œuvre de ce champ d'application est donc considéré comme élevé d'un point de vue réglementaire.

Figure 41 : évaluation réglementaire du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques »

Maintenance prédictive

L'objectif de ce champ d'application est la planification des opérations de maintenance et d'entretien en fonction des besoins en se basant sur des données collectées concernant la production et les installations, des données de charge, des données météorologiques et géographiques ainsi que des données relatives à la maintenance. Tout d'abord, il est nécessaire d'installer des capteurs au niveau de certaines installations (côté réseau et côté production) et d'investir dans des robots/drones. Une autre tâche préliminaire consiste à collecter et traiter les données relatives aux opérations de maintenance passées (programmées et non programmées) ainsi qu'à acheter des données satellites et autres données secondaires pertinentes. En se basant sur les valeurs historiques, l'IA peut alors *identifier* des anomalies au niveau des installations et en *déduire* des opérations de maintenance ciblées en vue de leur résolution.

Les différentes technologies utilisées ici s'inscrivent dans des cadres réglementaires différents. Les données satellites ouvrent de nombreuses possibilités d'applications techniques utiles, de la planification d'itinéraires à la prévention des catastrophes en passant par les prévisions météorologiques et la surveillance environnementale. Les compétences en la matière sont réparties sur plusieurs niveaux, à savoir l'Union européenne, l'état fédéral allemand et les Länder. Cette répartition des compétences détermine à qui il faut s'adresser pour demander l'accès à des données satellites (Martini *et al.*, 2014). L'exploitation privée de satellites ou autres systèmes d'observation de la Terre par des Allemands ou depuis l'Allemagne requiert une autorisation conformément à la loi relative à la sécurité des données satellites[86].

Le fabricant d'une machine, par exemple, peut obtenir de l'exploitant un accès à distance aux données générées au cours du fonctionnement de la machine en question. Il peut s'agir de données relatives à la machine et à la production, mais aussi de données concernant l'influence de l'environnement sur l'installation ou encore permettant son contrôle. Ces données sont lues depuis un serveur du fabricant situé sur le site de l'exploitant puis transférées par exemple dans un cloud privé du fabricant. Les données peuvent alors y être exploitées, notamment avec des systèmes basés sur des algorithmes. Ensuite, via une application, le fabricant peut par exemple fournir les données de production les plus récentes aux membres de la direction de l'entreprise exploitante. Les données collectées chez l'exploitant ainsi que les résultats de leur analyse peuvent également être mis à la disposition de celui-ci sur des plateformes IdO industrielles de différents fabricants. De cette manière, l'exploitant reçoit des indications relatives à l'état d'usure, notamment pour la maintenance prédictive. Grâce aux capteurs et à l'exploitation des données collectées, l'exploitant obtient en outre des informations sur les possibilités d'optimisation en termes de gestion de l'installation, par exemple concernant d'éventuels effets de l'environnement comme la poussière, la chaleur, l'humidité, les vibrations ou encore des problèmes venant du sol sur lequel est située l'installation. Les usures d'apparition rapide peuvent être détectées à un stade précoce, tout comme les défaillances difficilement repérables par l'opérateur. La technologie permet également au fabricant lui-même de surveiller et de régler certains paramètres de contrôle de la machine située chez l'exploitant.

S'il n'est pas certain dès le départ, au regard de la réglementation sur la protection des données, que les analyses fournies par le fabricant ne permettent pas d'identifier, même partiellement, des personnes physiques, il convient alors de déterminer si ce problème peut être évité.[87] Si cela n'est pas le cas, une analyse d'impact relative à la protection des données est alors nécessaire conformément à l'art. 35 du RGPD. Il se peut par exemple que le fabricant ne puisse associer les données à aucune personne ou aucun groupe de personnes, mais que l'analyse des données permette à la direction de l'entreprise exploitante de contrôler rapidement les performances des employés chargés de l'installation (Mantz *et al.*, 2017). La société qui effectue à distance cette analyse est considérée comme un sous-traitant au sens de l'art. 28 du RGPD. La complexité de cette opération de traitement requiert la rédaction d'un contrat séparé. Tout comme le *benchmarking*, les analyses proposées sous forme de service à distance reposent sur des outils d'analyse assistés par l'IA, mais aussi éventuellement sur un apprentissage profond (*deep learning*) à partir des données et des algorithmes développés à partir de celles-ci. Les logiciels tout comme les algorithmes d'IA comportent toujours un risque d'erreurs encore inconnues lors de la conclusion du contrat (Lachenmann, 2017).

[86] Loi pour la protection contre les menaces à la sécurité de la République fédérale d'Allemagne posées par la diffusion de donn ées d'observation de la Terre de haute qualité (loi relative à la sécurité des données satellites, *Satellitendatensicherheitsgesetz* – SatDSiG), Journal officiel fédéral de 2007, livre I, p. 2590.
[87] Cf. également art. 32 al. 1 du RGPD à ce sujet.

Les conséquences de telles erreurs peuvent engendrer des dommages considérables pour la production d'un exploitant, par exemple à cause d'une mauvaise estimation des capacités de production précédant l'acceptation d'une commande ou bien à cause d'une prévision erronée des délais de livraison. Il en va de même pour les notifications de défaillance erronées transmises à l'exploitant par le fabricant ainsi que pour les notifications d'usure inexactes. Les dommages consécutifs à ces erreurs augmentent le risque pour le fabricant de voir sa responsabilité engagée tout en représentant un réel problème pour l'exploitant. Ce problème se pose d'autant plus dans le cas où les réglages techniques de l'installation sont effectués par le fabricant à la place de l'exploitant (Habel, 2018).

Un autre défi réglementaire consiste à déterminer si et dans quelles circonstances le service de maintenance prédictive est suffisamment protégé contre les cyberattaques, compte tenu du fait que l'avancée de la numérisation offre ici aussi de nouvelles cibles aux pirates. Ainsi, et pas uniquement dans le cadre des infrastructures dites critiques[88] et de la directive sur la sécurité des réseaux et des systèmes d'information[89], la question de la sécurité se retrouve au centre des préoccupations. À cet égard, il est également nécessaire de renforcer les exigences relatives à l'infrastructure informatique interne et aux systèmes cyberphysiques afin d'éviter toute utilisation malveillante ou manipulation des données ou des équipements. Afin de pouvoir neutraliser les attaques en amont, des systèmes de sécurité de pointe doivent être installés et mis à jour régulièrement. La question de savoir si, en cas d'attaque, le niveau de mise à jour technologique était suffisant ou bien s'il s'agissait d'une attaque de type *zero-day*, doit être examinée au cas par cas et devrait impliquer des expertises approfondies dans le cadre de la procédure judiciaire engagée.

On peut en outre imaginer des cas où les prestataires de maintenance prédictive devraient également mettre en œuvre les mesures techniques et organisationnelles appropriées au sens de l'art. 32 du RGPD. Les données collectées dans le cadre de la maintenance prédictive peuvent conduire à l'identification d'une personne en particulier, ce en quoi il s'agit bien de données personnelles au sens du RGPD. À titre d'exemple, les données d'un point de mesure situé dans la zone de maintenance de certains employés pourraient permettre de déduire leurs performances sur le plan qualitatif et quantitatif (cf. *behavioral tracking* ; Faber *et al.*, 2018), ce qui soulève alors des questions en termes de droit du travail.[90]

Synthèse et évaluation

L'analyse des données collectées par des capteurs fournit à l'exploitant des informations relatives aux possibilités d'optimisation en matière de contrôle des installations. L'utilisation de capteurs exige néanmoins de s'assurer que l'analyse des informations ne contient pas de données à caractère personnel.[91] Dans les cas où il n'est pas possible de le garantir, une analyse d'impact relative à la protection des données est nécessaire, conformément à l'art. 35 du RGPD. Les analyses en question peuvent également être effectuées par un sous-traitant[92]. Comme les systèmes basés sur des algorithmes comportent un risque d'erreur, des dispositions juridiques en matière de responsabilité doivent impérativement être prises.

[88] Règlement sur la définition des infrastructures critiques (Kritis) en lien avec les « catalogues de sécurité » de la BNetzA : catalogue de sécurité informatique pour les gestionnaires des réseaux de gaz et d'électricité (août 2015) et catalogue de sécurité informatique pour les gestionnaires d'installations énergétiques définies comme « infrastructures critiques » par le règlement Kritis et connectées à un réseau d'approvisionnement énergétique (décembre 2018).
[89] cf. § 8a de la loi sur l'Office fédéral pour la sécurité des technologies de l'information (*Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik*) ; directive (UE) 2016/1148 du Parlement européen et du Conseil du 6 juillet 2016 concernant des mesures destinées à assurer un niveau élevé commun de sécurité des réseaux et des systèmes d'information dans l'Union.
[90] Cf. § 87 al. 1 n° 6 de la loi constitutionnelle sur l'entreprise (*Betriebsverfassungsgesetz*), aux termes de laquelle les dispositifs de contrôle de la performance et du comportement des salariés sont soumis à l'obligation de cogestion du conseil d'entreprise aussi bien en ce qui concerne leur introduction que leur utilisation.
[91] Art. 32 du RGPD.
[92] Art. 28 du RGPD.

Afin de garantir la plus haute sécurité possible des données, il est nécessaire de prendre des mesures techniques et organisationnelles pour protéger suffisamment les services de maintenance prédictive contre les cyberattaques. À cet égard, il est également nécessaire de garantir le respect des exigences en matière d'infrastructure informatique interne et de systèmes cyberphysiques en mettant en place des systèmes de sécurité et en les mettant à jour régulièrement. Dans ce domaine d'application, il convient donc de veiller au préalable au respect d'un certain nombre de prescriptions en matière de contrats et de sécurité des données. L'influence du RGPD est donc considérée comme moyenne. D'un point de vue réglementaire, la viabilité du cas d'utilisation est néanmoins considérée comme élevée, étant donné que le RGPD ne comporte ni obstacle contraignant ni critère d'exclusion.

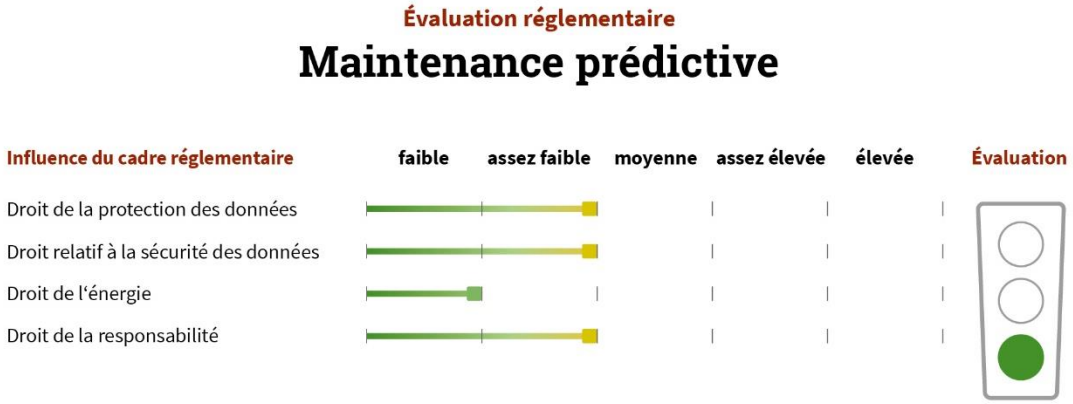

Figure 42 : évaluation réglementaire du champ d'application « maintenance prédictive »

Maintenance, réparation et démantèlement

Ce champ d'application vise d'une part à assister la réparation d'installations en diagnostiquant des problèmes et en mettant à disposition des informations (assistance virtuelle) et d'autre part à réaliser des travaux par l'intermédiaire de drones et/ou de robots (assistance physique). En ce qui concerne l'utilisation de drones, le règlement relatif à la régulation de l'exploitation des aéronefs sans équipage à bord doit être respecté. Ainsi, une autorisation d'exploitation est obligatoire si certaines masses[93] sont dépassées, si des zones d'habitation ou des aérodromes se trouvent à moins de 1,5 km ou si les vols ont également lieu la nuit.[94] Aucune autorisation n'est nécessaire si l'exploitation est effectuée par des administrations publiques ou sous leur supervision. Si l'exploitation n'est pas conduite par une administration publique ou sous sa supervision, elle est également interdite au-dessus et à une distance latérale de moins de 100 mètres du périmètre d'installations de production et de distribution d'énergie, à moins que l'exploitant de l'installation ait donné expressément son accord.[95] L'autorité aéronautique locale compétente est responsable de la délivrance des autorisations.[96] Les pilotes de drones dont la masse au décollage est supérieure à 2 kg doivent également pouvoir justifier, sur demande, de leurs connaissances sur l'utilisation et le pilotage d'aéronefs, la législation aérienne applicable et les dispositions locales régissant l'espace aérien.[97]

[93] Si la masse au décollage est supérieure à 5 kg ou si la masse du propulseur dépasse les 20 g (§ 21a al. 1 n° 1 et 2 du règlement relatif à la régulation de l'exploitation des aéronefs sans équipage à bord, publié au Journal officiel fédéral à Bonn le 6 avril 2017 – livre I, n° 17).
[94] § 21a du règlement sur le trafic aérien (Luft-VO).
[95] § 21b al. 1 n° 3 du règlement sur le trafic aérien (Luft-VO).
[96] § 21c du règlement sur le trafic aérien (Luft-VO).
[97] § 21a al. 4 du règlement sur le trafic aérien (Luft-VO).

Les données nécessaires à l'utilisation de l'IA pour la maintenance, la réparation et le démantèlement sont des données de capteurs et des données audio et images. La phase préparatoire consiste à transcrire dans une base de données standardisée des manuels, de la documentation sur les incidents et leur résolution ainsi que diverses informations pertinentes concernant les installations. De nos jours, toutes les installations fournissent une grande quantité de données de mesure et de valeurs de capteurs. Toutefois, seule l'analyse intelligente de ces données permet de tirer des conclusions et d'en déduire des recommandations d'action. Ainsi, l'IA est capable d'identifier des problèmes présents et d'en déduire des solutions adaptées au contexte donné. Le RGPD n'a alors d'influence sur ce champ d'application que si l'enregistrement des activités de maintenance et de réparation ou de démantèlement implique également des données à caractère personnel. Si tel est le cas, les prescriptions relatives à la collecte et au traitement des données décrites dans la partie 3.3.1 sont applicables.

Comme pour la maintenance prédictive, il convient ici aussi de prêter une attention particulière à la sécurité informatique et à la sécurité des systèmes cyberphysiques (suivant l'*IT-Grundschutz*[98]). D'après Djeffal (2019), les défis particuliers en matière de sécurité informatique résident dans le fait que l'IA est en l'état l'actuel une technologie émergente, ce pourquoi les retombées dans le domaine de la sécurité informatique ne se feront jour qu'après un développement plus poussé.[99] Cela concerne en particulier le plan technique, pour lequel l'*IT-Grundschutz* doit au moins fournir les connaissances de base les plus importantes. Du point de vue de la sécurité organisationnelle et de l'*IT-Grundschutz*, il est essentiel de se concentrer avant tout sur les interactions entre l'homme et la machine. Par exemple, la reconnaissance de la parole et des images est particulièrement importante, car elle permet une interaction directe et automatisée entre la machine et l'homme. Par ailleurs, il faut notamment s'attendre à ce que l'identification des logiciels malveillants fasse de plus en plus appel à des applications basées sur l'IA. Cela augmente les possibilités des systèmes informatiques basés sur l'IA, mais aussi les exigences de sécurité qui en découlent.

Ces exigences ne portent plus seulement sur la sécurité du système, mais aussi sur la maîtrise de la technologie. Si cette question et d'autres posent de grands défis à l'*IT-Grundschutz*, elles offrent également la possibilité de mener des recherches et de développer très tôt des technologies d'IA conformes aux principes de la sécurité informatique et acceptables pour la société. Dans cette mesure, l'*IT-Grundschutz* peut non seulement réussir à suivre le rythme des évolutions techniques, mais également contribuer à les façonner en fixant elle-même des normes (Djeffal, 2019).

Les principales exigences concernant les processus de maintenance et d'entretien sont définies au § 3 al. 2 de l'EnEG[100] en lien avec le § 11 al. 3 de l'EnEV[101]. Ainsi, les composants ayant une incidence significative sur l'efficacité des installations doivent faire l'objet d'opérations de maintenance et d'entretien régulières par l'exploitant. L'entretien et la maintenance nécessitent des qualifications spécialisées, c'est-à-dire la maîtrise des connaissances et des compétences nécessaires à la réalisation de ces opérations (également en ce qui concerne le fonctionnement d'une IA).

[98] L'administration fédérale décrit l'*IT-Grundschutz* (protection informatique élémentaire) comme une procédure mise au point par l'Office fédéral de la sécurité des technologies de l'information (BSI) pour l'identification et la mise en œuvre de mesures de sécurité concernant les technologies de l'information des entreprises (BSI, 2017).
[99] Amodei *et al.* (2016), par exemple, élaborent des questions et un programme de recherche en la matière.
[100] Loi sur l'économie d'énergie (EnEG) dans sa version publiée le 1er septembre 2005 (Journal officiel fédéral, livre I, p. 2684), modifiée par l'art. 1 de la loi du 4 juillet 2013 (Journal officiel fédéral, livre I, p. 2197).
[101] Règlement sur les économies d'énergie (EnEV) du 24 juillet 2007 (Journal officiel fédéral, livre I, p. 1519), modifié par l'art. 3 du règlement du 24 octobre 2015 (Journal officiel fédéral, livre I, p. 1789).

Synthèse et évaluation

L'assistance apportée par l'IA lors de la réparation d'installations en diagnostiquant les problèmes ou en mettant à disposition des informations implique les mêmes prescriptions que pour la maintenance prédictive. Ainsi, les dispositions relatives à la sécurité informatique et à la sécurité des données doivent ici aussi être particulièrement observées (cf. notamment art. 32 du RGPD). Le droit de la protection des données a par conséquent une influence moyenne sur le champ d'application.
Les principes relatifs à l'entretien et la maintenance sont énoncés dans l'EnEG (notamment au § 3 al. 2) en lien avec l'EnEV (notamment au § 11 al. 3). Si des drones sont utilisés lors des opérations, le règlement sur le trafic aérien (Luft-VO) s'applique également. Ainsi, l'exploitation d'un drone au-dessus ou à une distance latérale de moins de 100 mètres du périmètre d'installations de production et de distribution d'énergie doit être conduite par une administration publique ou sous sa supervision, à moins que l'exploitant de l'installation ait donné expressément son accord. L'influence de la loi et du règlement sur les économies d'énergie est considérée comme faible, car ces textes se contentent d'énoncer des principes en matière d'entretien et de maintenance et ne comportent pas d'exigences concrètes. Le potentiel de mise en œuvre de ce champ d'application est donc considéré comme élevé d'un point de vue réglementaire.

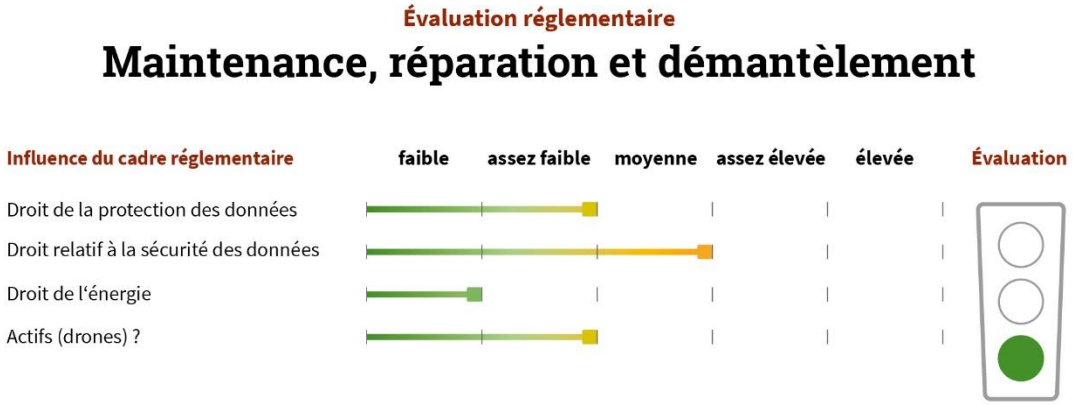

Figure 43 : évaluation réglementaire du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »

Mesures de sécurité

Le champ d'application « mesures de sécurité » comprend l'identification d'actions hostiles et la défense contre ces dernières, d'une part dans le monde physique (par exemple en ayant recours à la vidéosurveillance), et d'autre part dans le monde virtuel (cybersécurité). L'attention est ici avant tout portée sur les infrastructures critiques, c'est-à-dire d'importance systémique, présentes notamment sur le réseau ou au niveau de grosses installations de production.

La cybersécurité désigne les actions nécessaires pour protéger les réseaux et les systèmes d'information, les utilisateurs de ces systèmes et toute autre personne exposée à des cybermenaces[102]. Le terme cybermenace désigne quant à lui toute circonstance, tout événement ou toute action potentiels susceptibles de nuire ou de porter autrement atteinte aux réseaux et systèmes d'information, aux utilisateurs de tels systèmes et à d'autres personnes, ou encore de provoquer des interruptions de ces réseaux et systèmes.[103]

[102] Art. 2 n° 1 du règlement relatif à l'ENISA et à la certification de cybersécurité des technologies de l'information et de la communication.
[103] Art. 2 n° 8 du règlement relatif à l'ENISA et à la certification de cybersécurité des technologies de l'information et de la communication.

Exemple pratique : EnBW SafePlaces – reconnaissance automatique de situations de danger à partir de fichiers vidéo

Grâce à l'intelligence artificielle, EnBW SafePlaces détecte les situations de danger et évite ainsi les dommages pendant ou avant qu'ils ne surviennent, que ce soit dans un lieu public, sur un chantier ou sur une propriété privée. L'interprétation d'informations hétérogènes (visuelles ou sonores) issues de capteurs va ici bien au-delà d'une simple vidéosurveillance et permet l'identification précise de situations anormales. La protection des données et des droits des personnes est garantie par l'anonymisation[104].

Lors du processus législatif de rédaction du RGPD, on s'est demandé si la mise en place de mesures de cybersécurité devait être inscrite dans la loi en tant qu'intérêt légitime du responsable du traitement.[105] Il a en effet été avancé que la sécurité informatique devait être considérée comme un intérêt légitime justifiant le traitement de certaines données et pouvant s'appliquer de manière uniforme à tout le RGPD (PE, 2013).[106] Même la CJUE a reconnu, dans l'arrêt Breyer, que les responsables du traitement « *pourraient avoir un intérêt légitime à garantir, au-delà de chaque utilisation concrète* » de leurs services, « *la continuité du fonctionnement concret* »[107] desdits services. Au lieu d'établir une liste des différentes situations de traitement, le législateur de l'Union a finalement décidé d'adopter une formulation générale et de faire mention de la cybersécurité, au sens de protection de la sécurité du réseau et des informations, dans le considérant 49 du RGPD (Ueberfeldt, 2018). Celui-ci porte plus précisément sur « la disponibilité, l'authenticité, l'intégrité et la confidentialité » des données conservées et transmises. On peut y voir une référence aux mesures techniques et organisationnelles, étant donné que l'art. 32 du RGPD utilise à ce sujet une terminologie similaire. Aussi l'art. 32 du RGPD est-il à lire en parallèle du considérant 49. Les mesures techniques et organisationnelles doivent à cet égard tenir compte de « l'état des connaissances ».[108] Cela implique nécessairement l'intégration dynamique des cyber-risques (BSI, 2017) et précise clairement que les mesures relatives à la sécurité des données, y compris les produits de cybersécurité, doivent être adaptées en fonction des avancées techniques (Jandt, 2018).

Le terme « état des connaissances » place la norme juridique définissant ce qui est permis ou requis en tête des priorités du développement technique, étant donné que la reconnaissance générale et la preuve pratique ne sont pas les seuls éléments déterminant l'état des connaissances.[109] En faisant référence à l'état des connaissances – par opposition à « état des connaissances généralement reconnu » –, la notion de reconnaissance des procédés techniques est écartée et le délai entre le développement de nouvelles techniques et leur adoption se trouve raccourci (Seibel, 2013). L'état des connaissances exigé ici suppose donc l'amélioration constante, le perfectionnement, voire la mise au point de nouvelles mesures techniques pour pouvoir garantir un niveau de protection suffisant, et cela d'autant plus que les cyber-risques se multiplient (Ueberfeldt, 2018).

[104] Plus d'informations sur https://www.enbw.com/infrastruktur/sicherheitsinfrastruktur/geschaeftskunden/produkte/safeplaces
[105] Cf. p. ex. exposé des motifs de l'amendement 886, proposé par Alexander Navaro et Nadja Hirsch dans la procédure 2012/0011 (COD), amendements (3) 886 – 1188.
[106] Exposé des motifs de l'amendement 892, proposé par Monika Hohlmeier dans la procédure 2012/0011 (COD), amendements (3) 886 – 1188.
[107] CJUE, arrêt du 19 octobre 2016 – C-582/14 (Breyer/Allemagne), NJW 2016, 3579 (3582).
[108] Art. 32 al. 1 du RGPD.
[109] Cf. arrêt du Tribunal constitutionnel fédéral du 8 août 1978 – 2 BvL 8/77, NJW 1979, 359 (362) ; concernant la définition européenne de « l'état des connaissances », cf. loi d'application de la directive modificatrice EIE, de la directive IPPC et d'autres directives communautaires relatives à la protection de l'environnement du 27 juillet 2001 (Journal officiel fédéral, livre I, p. 1950) ; imprimé du Parlement allemand 14/4599, p. 82, 125, 147.

Synthèse et évaluation

La sécurité des technologies de l'information est considérée comme un intérêt légitime pour collecter et réutiliser des données, notamment des données à caractère personnel. Ainsi, même les données enregistrées par une caméra de vidéosurveillance dans le monde physique peuvent être traitées tant que sont respectés les principes relatifs à la collecte et au traitement de données décrits dans la partie 3.3.1. Les produits de cybersécurité (dont ceux basés sur l'IA) utilisés dans le monde virtuel doivent être techniquement conçus et adaptés de manière à satisfaire aux exigences de l'art. 32 du RGPD en matière de sécurité du traitement des données. Ainsi, un certain nombre de dispositions réglementaires doivent être respectées en matière de protection et surtout de sécurité des données. Ces dispositions peuvent certes représenter de très légers obstacles, mais ne constituent en aucun cas des critères d'exclusion en ce qui concerne l'application de l'intelligence artificielle aux mesures de sécurité dans les mondes physique et virtuel. L'influence du RGPD est donc considérée comme moyenne, ce qui n'exclut pas une mise en œuvre – moyennant certains efforts – d'un point de vue réglementaire.

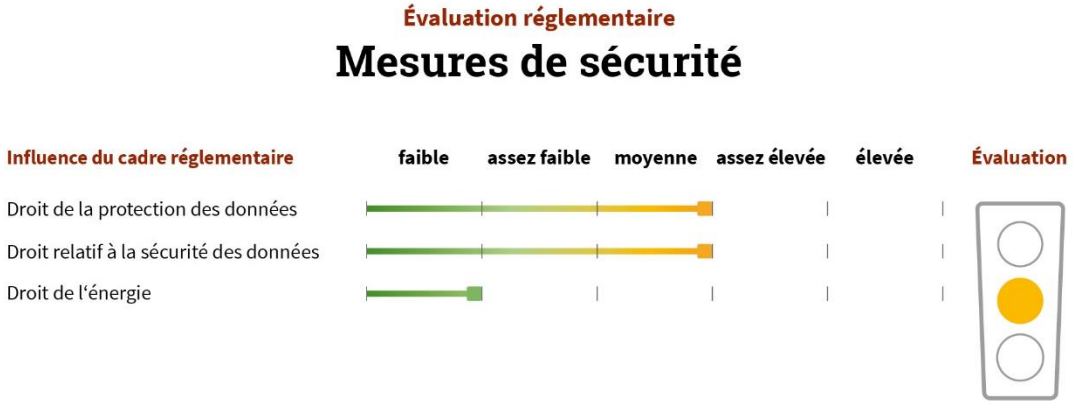

Figure 44 : évaluation réglementaire du champ d'application « mesures de sécurité »

Participation simplifiée des consommateurs actifs

L'utilisation de l'IA peut aider les prosommateurs et autres consommateurs actifs à augmenter leur auto-approvisionnement ou bien à dégager des bénéfices supplémentaires en interagissant avec le réseau et le marché. Les applications sont ici similaires à celles des champs « prévisions », « optimisation de l'exploitation » et « optimisation des stocks ». Au sens du § 3 n° 19 de l'EEG, l'auto-approvisionnement désigne la consommation de l'électricité qu'une personne physique ou morale consomme elle-même à proximité directe de l'installation de production d'électricité, dans la mesure où l'électricité n'est pas acheminée par un réseau et que la personne concernée exploite elle-même l'installation de production. Le niveau élevé d'automatisation qu'offre l'IA permet la mise à disposition des applications de ce champ au consommateur. Il est tout d'abord nécessaire de réaliser des investissements pour équiper le foyer de capteurs et de conclure des contrats en matière de transfert de données (notamment en ce qui concerne les droits d'accès du prestataire de service). Sont ici applicables les principes relatifs au traitement (p. ex. art. 5 du RGPD) et, si les données traitées sont transférées vers un pays tiers ou une organisation internationale, au transfert de données à caractère personnel conformément à l'art. 44 du RGPD.

L'art. 6 al. 1 phrase 1 du RGPD ouvre une possibilité à la légitimation du traitement de données à caractère personnel dans le cadre de systèmes basés sur des algorithmes (exécution du contrat ; Comité européen de la protection des données, 2019). Conformément à cet article, le traitement est licite si celui-ci est nécessaire à l'exécution d'un contrat auquel la personne concernée est partie ou à l'exécution de mesures précontractuelles prises à la demande de celle-ci. Au sens de cette disposition, on entend par contrat toute obligation contractuelle (Plath, 2018). Ainsi, la personne concernée doit elle-même être partie au contrat. Par conséquent, un contrat conclu uniquement entre le responsable du traitement et un tiers ne suffit pas à justifier le traitement des données. En revanche, il n'est pas obligatoire que le responsable du traitement soit lui aussi parti au contrat (Albers *et al.*, 2018/Plath, 2018). La disposition selon laquelle le traitement des données doit être nécessaire à l'exécution du contrat ne signifie pas que celle-ci soit indispensable dans le sens d'une obligation absolue (Buchner et al., 2018/Schulz, 2018). Toutefois, il suffit que, compte tenu des intérêts de toutes les parties concernées, il n'y ait pas d'autre solution raisonnable et également appropriée pour réaliser l'objet du contrat sans ou avec un traitement de données de moindre portée.[110] Le caractère nécessaire du traitement de données pour l'exécution du contrat en application de ces critères doit être évalué sur la base de critères objectifs (Comité européen de la protection des données, 2019/Buchner *et al.*, 2018). Il est pour cela nécessaire de déterminer s'il existe un lien direct entre le traitement des données et l'objet concret du contrat (Albrecht *et al.*, 2016). L'objet du contrat doit être déterminé au regard de l'horizon objectif du destinataire (Albrecht *et al.*, 2016).[111] Il convient ainsi d'identifier les caractéristiques spécifiques du service proposé par le responsable du traitement (Comité européen de la protection des données, 2019/Buchner *et al.*, 2018). En tout état de cause, on pourra faire valoir une nécessité si le contrat ne peut être exécuté sans le traitement des données concernées. Si en revanche le traitement de données est seulement utile, il n'est souvent pas absolument nécessaire à l'exécution du contrat (ibid.). Ainsi, l'objectif seul d'offrir une meilleure qualité de service, des prix plus avantageux, une exécution plus rapide ou une plus grande satisfaction, ou encore de proposer des offres adaptées au moyen d'informations personnalisées, n'est pas suffisant pour fonder le caractère nécessaire du traitement au sens de l'art. 6 al. 1 phrase 1 du RGPD (Buchner *et al.*, 2018/Heberlein, 2018). En règle générale, de tels objectifs se justifieront davantage sur la base d' « intérêts légitimes » aux termes de l'art. 6 al. 1 phrase 1 du RGPD ou du consentement de la personne concernée au sens du même article (Klar, 2019).

Il est ainsi possible de collecter et traiter les données d'activité d'un foyer donné à l'aide de capteurs. Il est par ailleurs nécessaire d'acheter des données météorologiques (cf. champs d'applications « prévisions » et « optimisation de l'exploitation ») et d'extraire les données techniques de l'installation PV et de l'installation de stockage. Des systèmes basés sur des algorithmes peuvent alors *identifier* des corrélations entre, par exemple, l'historique de production PV, les données météorologiques achetées et les régularités des données historiques d'activité au cours du temps et en *déduire* des motifs de comportement. Ce processus pourrait par exemple servir à affecter différents clients à des groupes de clients similaires. Ni le RGPD, ni les normes antérieures, à savoir la directive sur la protection des données personnelles[112] et la BDSG, ne prévoient spécifiquement une « protection des données clients ». À l'exception de certaines règles concernant les salariés, la loi sur la protection des données est la même pour tous (§ 32 de la BDSG ancienne version ou § 26 de la BDSG). Les autorisations particulières, qui supposent une relation contractuelle conformément à l'art. 6 al. 1 phrase 1 du RGPD, s'appliquent indifféremment aux clients, fournisseurs et autres parties contractantes.

[110] Pour plus d'informations, cf. Comité européen de la protection des données, 2019, p. 7 ; cf. également Buchner *et al.*, 2018.
[111] Pour plus d'informations, cf. Schulz, 2017.
[112] Directive (UE) sur la protection des données personnelles : directive 95/46/CE du Parlement européen et du Conseil, du 24 octobre 1995, relative à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données.

Toutefois, les clients (potentiels) forment le groupe de personnes le plus intéressant de l'économie, et les clients finaux, c'est-à-dire essentiellement des personnes physiques, constituent un groupe qui nécessite un traitement particulier tant du point de vue de sa taille que de sa criticité en termes de protection des données. Tout d'abord, la protection des données clients comprend la protection des données des clients actuels et des anciens clients. Au sens large, cela inclut également les données des clients potentiels. La protection s'applique à la collecte de données, par exemple par la sélection de groupes de clients, à la création de profils pseudonymisés pour les utilisateurs de sites Internet et d'applications à des fins de publicité, de commercialisation et de vente conformément au § 15 al. 3 de la TMG et à l'art. 8 al. 1, 9 et 10 du futur ePR, comme le traçage et le reciblage publicitaire, à la diffusion et à l'exploitation de campagnes publicitaires à destination de personnes physiques, au commerce d'adresses ainsi qu'à l'utilisation à grande échelle des données collectées, y compris leur enrichissement avec des données supplémentaires (cf. *big data* ; Koreng *et al.*, 2018). À partir des données générées, l'IA calcule différentes options de recharge de l'installation de stockage en fonction de la valeur cible de la prochaine période d'optimisation (*identification*) et en *déduit* une stratégie de recharge optimale.

Synthèse et évaluation

Le traitement de données d'activité à caractère personnel collectées dans un foyer dans le cadre de systèmes basés sur des algorithmes peut trouver sa légitimation dans la nécessité d'exécuter un contrat conformément à l'art. 6 al. 1 du RGPD. Ainsi, le traitement est autorisé dans la mesure où celui-ci est nécessaire et que la personne concernée est partie au contrat. Il suffit que, compte tenu des intérêts de toutes les parties concernées, il n'y ait pas d'autre solution adaptée pour réaliser l'objet du contrat sans ou avec un traitement des données de moindre portée. Si le traitement des données est seulement utile, il peut ne pas être indispensable à l'exécution du contrat. Si les droits d'accès contractualisés du technicien de maintenance permettent l'analyse des données collectées par des capteurs, l'IA peut alors *identifier* les données d'activité et les types de comportements similaires et ainsi associer des clients à tel ou tel groupe de clients, par exemple. Le RGPD ne prévoit pas spécifiquement de protection des données clients.

D'une manière générale, l'influence de la réglementation sur le champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » est donc considérée comme faible, c'est pourquoi le potentiel d'application des exemples examinés est considéré comme élevé du point de vue réglementaire.

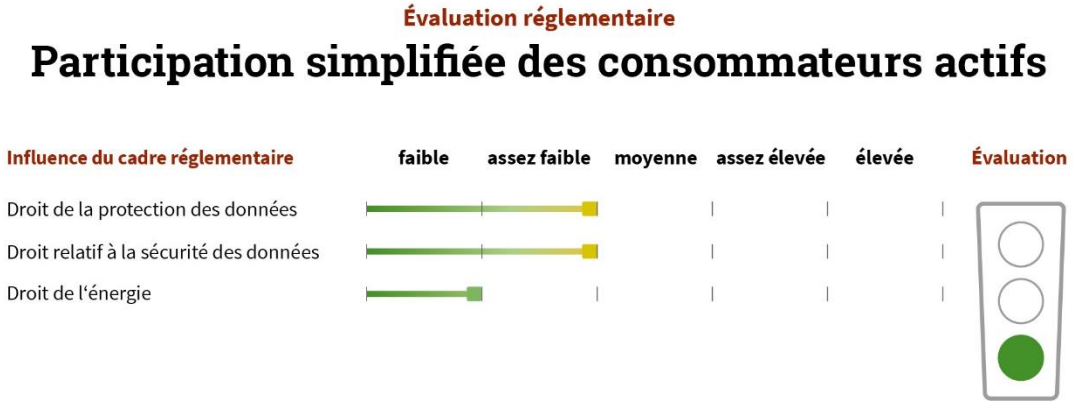

Figure 45 : évaluation réglementaire du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »

Individualisation de produits et mesures marketing

Ce champ d'application vise à développer des mesures marketing et des produits spécialement adaptés à un client ou groupe de clients. L'art. 22 al. 1 du RGPD prévoit des dispositions concernant les décisions automatisées :
« La personne concernée a le droit de ne pas faire l'objet d'une décision fondée exclusivement sur un traitement automatisé, y compris le profilage, produisant des effets juridiques la concernant ou l'affectant de manière significative de façon similaire. »[113]

Cette disposition n'est pas applicable si la décision est prise avec le consentement exprès de la personne concernée ou bien si elle est nécessaire à la conclusion ou l'exécution d'un contrat entre la personne concernée et le responsable du traitement. On entend par profilage « *toute forme de traitement automatisé de données à caractère personnel consistant à utiliser ces données à caractère personnel pour évaluer certains aspects personnels relatifs à une personne physique, notamment pour analyser ou prédire des éléments concernant le rendement au travail, la situation économique, la santé, les préférences personnelles, les intérêts, la fiabilité, le comportement, la localisation ou les déplacements de cette personne physique* ».[114] Le profilage est soumis aux règles du RGPD régissant le traitement des données à caractère personnel, comme le fondement juridique du traitement ou les principes relatifs à la protection des données. Le Comité européen de la protection des données créé par ce règlement peut publier des directives à cet égard.[115]

L'art. 22 al. 1 du RGPD suppose une décision fondée exclusivement sur un traitement automatisé (y compris le profilage). On peut donc partir du principe que l'art. 22 al. 1 du RGPD ne s'applique pas à bon nombre de cas (Dreyer *et al.*, 2018), car la plupart des décisions impliquent à l'heure actuelle une influence humaine (Martini, 2018), même si en pratique l'être humain suivra généralement la décision générée par l'IA ou bien se laissera guider dans une large mesure par celle-ci dans sa décision finale. Malgré tout, des outils automatisés sont de plus en plus fréquemment utilisés et notamment dans le domaine du marketing numérique.[116]

D'après Gausling, l'appréciation finale réalisée par un humain sera de moins en moins pertinente et les décisions visées à l'art. 22 al. 1 du RGPD seront par conséquent plus nombreuses (Gausling, 2019). Lorsqu'un type de traitement, en particulier par le recours à de nouvelles technologies comme l'IA, est susceptible d'engendrer un risque élevé pour les droits et libertés des personnes physiques, le responsable du traitement doit au préalable effectuer – avec l'aide du délégué à la protection des données, si un tel délégué a été désigné – une analyse de l'impact des opérations de traitement envisagées sur la protection des données à caractère personnel. Cette disposition s'applique notamment à l'évaluation de données personnelles à des fins de profilage.[117]

L'IA est souvent utilisée sous forme de *chatbots* ou d'assistants virtuels. Afin de satisfaire à l'obligation d'information conformément à l'art. 13 du RGPD, il est donc ici nécessaire d'informer l'utilisateur, dès le début de la conversation ou avant l'utilisation de l'assistant virtuel, de la finalité et de la portée du traitement de ses données à caractère personnel. En vertu de l'art. 12 al. 1 du RGPD, ces informations doivent être communiquées d'une façon concise, transparente, compréhensible et aisément accessible, en des termes clairs et simples.

[113] Se référer également au § 37 de la BDSG.
[114] Art. 4 n° 4 du RGPD.
[115] Cf. considérant 72 du RGPD.
[116] Cf. Groupe de travail Article 29 sur la protection des données, lignes directrices relatives à la prise de décision individuelle automatisée et au profilage, WP251rev.01, p. 24, version révisée et adoptée le 6 février 2018.
[117] Art. 35 al. 1 et 2 du RGPD.

Dans le cas d'un *chatbot*, il est donc conseillé de mentionner le traitement des données à caractère personnel dans le *chat* lui-même, en termes très simples, et de renvoyer à la politique de confidentialité comportant les informations nécessaires. Dans le cas d'un assistant virtuel, ces informations doivent également être communiquées avant le traitement de données à caractère personnel, et donc idéalement avant même l'installation de l'assistant, et être mises à disposition dans l'application ou sur le site Internet correspondant (Gausling, 2019).

Synthèse et évaluation

En ce qui concerne l'individualisation des produits, et notamment le profilage, qui utilise le plus possible de données et principalement des données à caractère personnel, la protection des données représente le plus gros défi. Conformément à l'art. 22 du RGPD, les personnes ont le droit de ne pas faire l'objet d'une décision fondée exclusivement sur un traitement automatisé. Néanmoins, le traitement de données personnelles est autorisé (même à des fins de profilage) lorsque la personne concernée est explicitement informée de la finalité et de la portée du traitement et que son consentement a été recueilli. Au préalable, le responsable du traitement doit (le cas échéant avec l'aide du délégué à la protection des données) effectuer une analyse des impacts et des risques du traitement. Ainsi, les dispositions applicables comportent un certain nombre d'exigences à respecter, mais ne constituent pas un obstacle insurmontable à la mise en œuvre de l'IA. La viabilité du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » est donc considérée comme élevée du point de vue réglementaire.

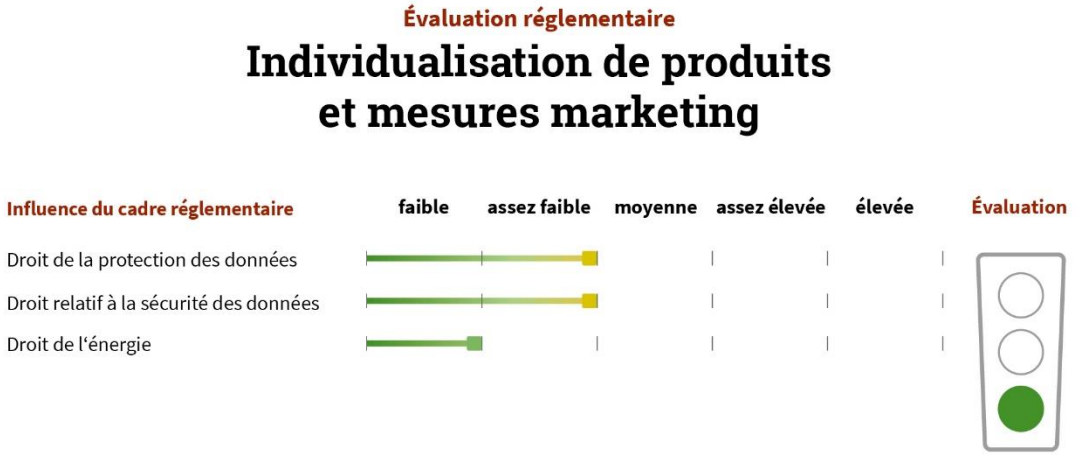

Figure 46 : évaluation réglementaire du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »

Automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution

L'automatisation intelligente des processus peut accroître l'efficacité dans diverses activités de distribution (communication client à fournisseur, communication fournisseur à client, et en arrière plan chez le fournisseur). Il s'agit avant tout de processus répétitifs, basés sur des règles et impliquant de gros volumes de transactions. À l'aide de méthodes par essais et erreurs, les routines d'IA des outils logiciels disponibles sont capables d'*identifier* des règles et des schémas dans les processus exécutés et de s'adapter en conséquence.

En matière de collecte et de traitement de données dans le cadre de systèmes basés sur des algorithmes, le droit de la protection des données n'est applicable que lorsque des données à caractère personnel (y compris des données pseudonymisées) constituent l'objet du traitement. En revanche, si seules des données anonymes sont traitées, la réglementation en matière de protection des données n'est pas applicable.

Toutefois, la manière de traiter les données de consommation est particulièrement importante. Comme cela a déjà été décrit dans la partie 3.3.1, l'art. 4 n° 2 du RGPD définit le traitement de données comme toute opération ou tout ensemble d'opérations effectuées ou non à l'aide de procédés automatisés et appliquées à des données ou des ensembles de données à caractère personnel, telles que la collecte, l'enregistrement, l'organisation, la structuration, la conservation, l'adaptation ou la modification, l'extraction, la consultation, l'utilisation, la communication par transmission, la diffusion ou toute autre forme de mise à disposition, le rapprochement ou l'interconnexion, la limitation, l'effacement ou la destruction. Ainsi, dans le cadre d'activités générales de distribution ou de la facturation d'un contrat de fourniture d'énergie, l'enregistrement automatisé et la conservation des données de comptage par un fournisseur d'énergie constituent un traitement. La communication de données à caractère personnel de consommateurs finaux par transmission à d'autres acteurs du secteur de l'énergie dans le cadre de processus opérationnels, par exemple après avoir défini des processus opérationnels et des formats de données uniformes pour assurer l'approvisionnement de clients en électricité[118], constitue également une forme de traitement (Bartsch, 2018).

Le domaine de la comptabilité et du *reporting* automatisés offre des possibilités particulièrement nombreuses pour exécuter les processus concernés à l'aide de l'intelligence artificielle de manière plus efficace, plus rapide et en fournissant parfois une qualité plus élevée. Les applications concrètes suivantes sont des exemples actuels de cette automatisation (Zülch *et al.*, 2018/Diehm *et al.*, 2018) :

- enregistrement des acquisitions et cessions d'actifs corporels ;
- enregistrement des données de référence ;
- rapprochement des soldes intragroupes ;
- comptabilisation des factures, des créances et de leur règlement ;
- calcul des différences temporaires entre les valeurs fiscales et les montants inscrits au bilan consolidé ;
- génération des annexes ;
- collecte et compilation d'informations sous forme de rapports et
- de contrôles comptables prêts à l'emploi.

Les processus automatisés se basent sur l'utilisation d'outils logiciels comme Sage One, Fresh Books, Quick Books Online, Xero ou encore Sage 300 Online. Les routines d'IA que comportent ces processus ont été améliorées ces dernières années grâce à un calibrage humain permanent et font parfois également l'objet d'un apprentissage automatique (Beyhs *et al.*, 2019).

Avec le format électronique unique européen (*European Single Electronic Format* – ESEF), les entreprises cotées au sein de l'UE depuis le 1er janvier 2020 ont l'obligation de publier leurs rapports financiers annuels dans un format numérique standardisé. La norme technique imposée ici par l'UE et l'*eXtensible HyperText Markup Language* (XHTML), langage dans lequel les entreprises concernées devront saisir leurs données au format *inline eXtensible Business Reporting Language* (iXBRL).[119]

[118] Décision de la BNetzA du 11 juillet 2006 relative à la définition de processus opérationnels et de formats de données uniformes pour assurer l'approvisionnement de clients en électricité (BK6-06-009). La définition des processus opérationnels est modifiée et remplacée par l'annexe 1 de la décision BK6-18-032, applicable dans sa version modifiée depuis le 1er décembre 2019.
[119] Cf. directive 2013/50/UE ; AEMF, Final Report on the RTS on the European Single Electronic Format (2017) ; Henselmann *et al.* (2018).

Les mêmes exigences que celles du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » s'appliquent aux exemples d'application des *chatbots* et des services d'assistance téléphonique (communication fournisseur à client). Si le traitement des données est entièrement automatisé, alors les exigences de l'art. 22 du RGPD sont applicables. Dans un *chat* ou bien un service d'assistance téléphonique, il est par ailleurs nécessaire de donner des indications concernant le traitement des données à caractère personnel afin de satisfaire aux obligations d'information énoncées à l'art. 13 du RGPD et à l'obligation de transparence conformément à l'art. 12 du RGPD.

En outre, la manière de traiter les données de consommation est particulièrement importante. Si les processus en question prévoient une conservation directe des données de consommation d'électricité dans une IA, alors les exigences de la MsbG doivent être respectées. Le § 19 de la MsbG autorise à cet égard exclusivement les systèmes et composants techniques qui satisfont aux exigences des § 21 et 22 de la MsbG. Le § 50 de la MsbG considère que le traitement de données aussi bien par le GRD que par le fournisseur est légitime à des fins de facturation.

Le changement de fournisseur d'électricité fait partie des activités générales de distribution. Ce changement pourrait tout aussi bien se dérouler au moyen d'un système basé sur des algorithmes. Le changement de fournisseur d'électricité, la tenue des comptes et le contrat lui-même trouvent principalement leurs fondements juridiques aux § 20a, 40 et 41 de l'EnWG. Les détails du processus de changement de fournisseur sont fixés par la BNetzA. La « définition des processus opérationnels pour l'approvisionnement de clients en électricité » (*GPKE-Festlegung*), formulée par le BDEW dans les normes actuellement en usage dans le secteur, prescrit le format de données EDIFACT. Même un processus tel que la résiliation pourrait être assuré par l'IA. Pour cela, une confirmation immédiate du nouveau fournisseur est tout d'abord nécessaire pour savoir si le service de fourniture est possible, et si oui, à quelle date. Conformément à la réglementation actuelle, la procédure doit être effectuée rapidement et ne doit pas excéder trois semaines à compter de la demande d'utilisation du réseau si le début de la fourniture doit avoir lieu dans les trois semaines. En outre, le changement de fournisseur ne doit entraîner aucun coût pour le consommateur final. La définition des processus opérationnels permet l'application des dispositions légales établies au § 14 du règlement sur l'accès au réseau d'électricité (StromNZV) et au § 38 de l'EnWG ainsi que de tous les processus concernés par ces dispositions.

Synthèse et évaluation

Si des données à caractère personnel font l'objet d'un traitement automatisé par une IA (ce qui concerne souvent les données de consommation, p. ex. lors de la facturation), alors les exigences du RGPD en matière de collecte et de traitement des données doivent être respectées (même si les données sont pseudonymisées, mais pas si elles sont anonymisées). Les mêmes exigences que celles du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » s'appliquent aux processus de communication du fournisseur au client, comme par les *chatbots* et les services d'assistance téléphonique.

Ainsi, il est nécessaire de donner des indications concernant le traitement des données à caractère personnel afin de satisfaire aux obligations d'information énoncées à l'art. 13 du RGPD et à l'obligation de transparence conformément à l'art. 12 du RGPD. En cas de changement de fournisseur d'électricité, il convient de respecter notamment les dispositions légales énoncées aux § 20a, 40 et 41 de l'EnWG ainsi que les processus de changement de fournisseur établis par la BNetzA. En principe, même lorsque l'intelligence artificielle est utilisée, les normes en usage dans le secteur (comme la « définition des processus opérationnels pour l'approvisionnement de clients en électricité ») et les processus établis par la BNetzA doivent être respectés.

Dans ce champ d'application, le recours à l'IA est possible dans divers processus. La faisabilité doit être examinée au cas par cas. S'il l'on parvient à respecter les règles relatives à la protection et à la sécurité des données ainsi que les normes en matière de processus de fourniture d'énergie, alors l'automatisation des processus basée sur l'IA a un potentiel très élevé. Par conséquent, le potentiel de mise en œuvre de ce champ d'application est considéré comme élevé d'un point de vue réglementaire.

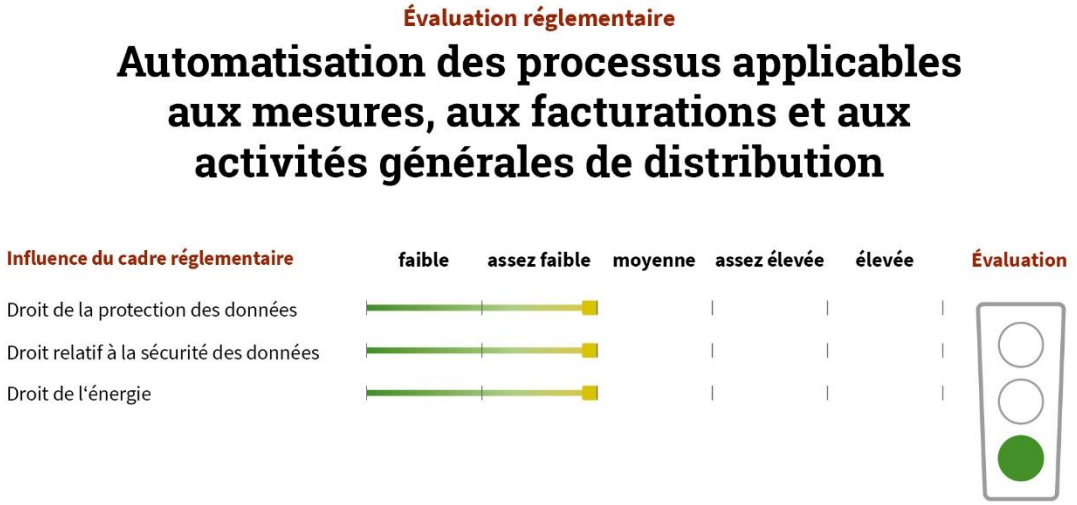

Figure 47 : évaluation réglementaire du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »

3.4 Évaluation sociale

Les approches au niveau européen visant à prendre en compte les exigences sociales en matière de réglementation de l'IA constituent le point de départ de l'évaluation sociopolitique entreprise dans cette partie. Dans le cadre de sa stratégie pour l'IA, la Commission européenne a formé en juin 2018 un groupe d'experts indépendants de haut niveau sur l'intelligence artificielle (GEHN IA), lequel a présenté le 8 avril 2019 des lignes directrices en matière d'éthique pour l'utilisation de l'intelligence artificielle. Si le GEHN IA reconnaît l'utilité potentielle de l'IA pour un grand nombre de secteurs, il signale néanmoins les nouveaux enjeux juridiques et éthiques que le recours à l'IA implique. Ainsi, pour être considérés comme dignes de confiance, les systèmes d'IA doivent satisfaire aux exigences principales suivantes (CE, 2019b) :

- facteur humain et contrôle humain
- robustesse technique et sécurité
- protection des données, respect de la vie privée et gouvernance des données
- transparence
- diversité, non-discrimination et équité
- bien-être social et environnemental
- responsabilisation

Dettling et Krüger voient d'autres exigences pour une IA digne de confiance dans un domaine émergent du droit, la réglementation de l'IA (cf. partie 3.3). Dans l'élaboration de ce nouveau cadre réglementaire, une attention particulière doit être accordée à une définition précise de l'IA, à une compréhension claire de son champ de protection et à une structure rigoureuse (Dettling *et al.*, 2019).

Dans sa stratégie pour les données, la Commission européenne a d'ailleurs déjà défini des piliers en termes d'exigences sociales.[120] Ainsi, la réglementation des États membres de l'UE doit garantir les points suivants (CE, 2020b) :

- La circulation transsectorielle des données au sein de l'UE doit être garantie.
- Les règles et valeurs européennes, notamment la protection des données à caractère personnel, les lois de protection des consommateurs et le droit de la concurrence, doivent être respectées sans réserve.
- Les règles concernant l'accès aux données et leur utilisation doivent être équitables, pratiques et claires, et la gestion des données doit être assurée par des mécanismes compréhensibles et dignes de confiance. L'approche en matière de circulation internationale des données doit être ouverte, mais ferme et se fonder sur les valeurs européennes.

Un avis émis par le Comité économique et social européen décrit une autre initiative européenne en matière d'IA visant à garantir un cadre juridique adapté et éthique sur la base des valeurs européennes et en conformité avec la charte des droits fondamentaux de l'UE.

[120] Dans son livre blanc sur l'intelligence artificielle du 19 février 2020, la Commission européenne fait également référence à la réglementation (p. 20) : « En principe, le nouveau cadre réglementaire pour l'IA devrait atteindre ses objectifs avec efficacité sans être excessivement normatif, au risque de créer une charge disproportionnée, en particulier pour les PME. Pour réaliser cet équilibre, la Commission estime devoir suivre une approche fondée sur les risques. »

L'initiative comporte des lignes directrices concernant les règles existantes en matière de responsabilité du fait des produits, une analyse détaillée des défis émergents et la collaboration avec des groupes d'acteurs concernés pour l'élaboration de lignes directrices sur l'IA et l'éthique dans le cadre de l'Alliance européenne pour l'IA (CE, 2018).

L'évaluation des exigences sociopolitiques se base sur les réflexions du GEHN IA concernant les lignes directrices sur l'éthique (CE, 2019a) et examine les répercussions sociales des systèmes d'IA à l'aide des sept exigences formulées plus haut pour une IA digne de confiance. Deux des catégories d'exigences ont déjà été traitées dans le cadre de l'évaluation technique et de l'évaluation réglementaire. Il s'agit d'une part de la protection et de la gouvernance des données (cf. partie 3.3) et d'autre part de la robustesse technique et de la sécurité (cf. partie 3.1). Il reste ainsi cinq catégories, synthétisées ci-dessous sous la forme de quatre indicateurs d'évaluation. Les indicateurs d'évaluation sociale sont les suivants :

- **utilité sociale**
- **transparence et intelligibilité**
- **autodétermination et autonomie**
- **équité et non-discrimination**

Premier indicateur, l'**utilité sociale** traite de questions clés relatives aux effets de l'IA sur le développement durable, l'environnement et les interactions sociales ainsi qu'à d'autres avantages possibles pour la société.

Le deuxième indicateur, **transparence et intelligibilité**, s'intéresse en premier lieu à la transparence de la présentation des données, à la traçabilité et à l'obligation de rendre des comptes lors du recours à l'IA ainsi qu'à l'intelligibilité des principes et des résultats des méthodes d'IA. Dans le cadre d'un projet commun avec le BMWi, l'Institut allemand de normalisation (*Deutsche Institut für Normung* – DIN) et la Commission allemande pour l'électrotechnique, l'électronique et les technologies de l'information (*Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik* – DKE) élaborent actuellement une feuille de route pour la définition de normes et de standards en matière d'intelligence artificielle. Cette feuille de route doit fournir un aperçu des normes et standards existants sur les principaux aspects de l'IA et en déduire des recommandations au regard de futures activités nécessaires. L'une des priorités du projet est de renforcer la confiance dans cette technologie et dans les méthodes utilisées en les rendant plus compréhensibles.

Le troisième indicateur, **autodétermination et autonomie**, vise à déterminer dans quelle mesure les décisions peuvent toujours être influencées par l'homme et si des interactions pertinentes avec l'IA sont possibles. Les possibilités de contrôle de l'IA sont également pertinentes.

Le quatrième et dernier indicateur de l'évaluation sociale s'intéresse à l'**équité** et à la **non-discrimination**. Cet indicateur se centre sur la définition fondamentale du rapport à l'équité au sein de l'IA et sur la prise en compte des biais présents dans les données et les algorithmes, c'est-à-dire dans quelle mesure ces biais peuvent être identifiés et signalés.

Les liens avec les autres dimensions de l'évaluation, par exemple en ce qui concerne la responsabilisation (cf. partie 3.3) ou encore le bien-être social et écologique (cf. partie 3.2), ne sont plus abordés en détail dans l'évaluation sociale qui suit.

3.4.1 Évaluation sociopolitique générale de tous les champs d'application

Utilité sociale

La question de l'utilité sociale de l'IA par sa contribution à la transition énergétique intégrée a déjà été abordée dans l'évaluation technique. Dans le cadre de l'évaluation sociopolitique, d'autres aspects de l'utilité sociale sont à examiner. Cela inclut notamment les effets des applications de l'IA sur la sécurité de l'approvisionnement et sur la résilience du système énergétique (cf. partie 2.2.6). D'autres avantages, qui n'ont pas d'impact économique direct, découlent de la participation des utilisateurs (cf. 2.2.7). L'analyse des champs d'application considérés ici n'a pas identifié d'application critique de l'IA qui causerait des dommages à la société ou qui ne présenterait aucune utilité sociale. À la lumière de ces indicateurs, l'évaluation des champs d'application est par conséquent élevée dans la plupart des cas.

Transparence et intelligibilité des applications de l'IA

L'évaluation de la transparence au sein des différents champs d'application comprend la transparence et l'intelligibilité des algorithmes exploités pour les utilisateurs de l'IA. En fonction de l'utilisateur et du domaine d'application, les possibilités varient et par conséquent l'évaluation de la transparence également. Les exploitants d'installations, mais aussi les vendeurs et négociants d'électricité utilisent des algorithmes d'IA à des fins d'optimisation, et ces outils, ainsi que les données utilisées, leur sont en général très familiers. Cela concerne en particulier les champs d'application des *clusters* **bases décisionnelles générales** et **entretien et sécurité**. Par ailleurs, étant donné que les utilisateurs voient directement les résultats et les effets de l'utilisation de l'IA, il leur est possible, en cas de résultats peu clairs, d'appliquer immédiatement des ajustements aux méthodes et ainsi de gagner en transparence. Ils restent responsables des résultats produits par l'IA et doivent donc rendre des comptes dans la durée en ce qui concerne l'application des algorithmes d'IA. Par conséquent, le niveau de satisfaction de cet indicateur est globalement jugé élevé pour ces champs d'application. Les méthodes d'IA étant de plus en plus complexes, de premières approches et stratégies existent déjà pour garantir leur transparence et leur intelligibilité par une certification de l'IA (Heesen, 2020). À cet égard, on peut à l'avenir s'attendre à une évaluation élevée de cet indicateur.

Les exigences de clarté et d'intelligibilité posées aux algorithmes d'IA et la possibilité de donner des *feedbacks* concernent avant tout les développeurs d'algorithmes ou encore les cas d'utilisations qui, par exemple, ont recours à des algorithmes d'IA basés sur le *cloud* et dont la responsabilité est partagée (on peut par exemple citer les systèmes de maintenance exploités par le fabricant et non par l'exploitant des installations). Afin de répondre ici aussi aux exigences de transparence, l'application de l'IA doit également être claire et intelligible pour les non-experts en informatique. À cet égard, des éditeurs de logiciels proposent des outils facilitant la compréhension des résultats.[121]

C'est dans le *cluster* **services de distribution et aux consommateurs** que les exigences en matière de transparence sont les plus importantes, car des données personnelles de clients finaux sont utilisées. Les champs d'application qui ont pour but d'accroître la participation des consommateurs ou les interactions avec les consommateurs doivent satisfaire aux exigences de transparence afin de ne pas freiner la mise en œuvre et la diffusion de leurs systèmes. À cet égard, le RGPD détermine déjà quelles données peuvent être utilisées et dans quelle mesure (cf. partie 3.3). Ainsi, la réglementation actuelle reprend déjà les exigences de la société, et c'est pour cela que celles-ci sont jugées satisfaites en ce qui concerne les applications actuellement disponibles.

[121] Par exemple, l'AI Explainability 360 Open Source Toolkit, accessible en ligne : http://aix360.mybluemix.net

À ce jour, la collecte dans les foyers de données spécifiques aux clients finaux n'est pas encore largement répandue, si bien que les applications de l'IA, et par là même les exigences relatives à leur transparence, ne concernent qu'un groupe relativement petit d'utilisateurs. La réutilisation de données à caractère personnel, qui peuvent par exemple être saisies par les clients eux-mêmes sur une plateforme neutre et mises ensuite à disposition de prestataires de services d'efficacité énergétique, implique des exigences plus élevées en matière de transparence et d'intelligibilité, mais est déjà définie dans le cadre juridique existant.

Autodétermination/autonomie

L'évaluation de l'autonomie de l'action humaine et de la garantie de l'autodétermination humaine est particulièrement importante dans le *cluster* **services de distribution et aux consommateurs**. En effet, des méthodes d'IA peuvent ici contribuer à faciliter la participation ou encore permettre aux différents acteurs d'agir en autonomie, par exemple via des approches communautaires. La prise en compte des préférences individuelles et l'optimisation locale des applications ne sont possibles que si la mise en œuvre entraîne des coûts très bas. Des méthodes d'IA offrent pour cela des approches permettant par exemple l'automatisation de processus de gestion des petites installations et des consommateurs flexibles.[122]

Dans les cas d'utilisation des *clusters* **bases décisionnelles générales** et **entretien et sécurité**, les méthodes d'IA sont avant tout utilisées comme outils d'aide à la décision. Elles fournissent des recommandations aux gestionnaires de réseau, exploitants d'installations, négociants d'électricité ou équipes de maintenance. L'autodétermination et l'autonomie de l'humain restent donc intactes. À moyen terme, on peut s'attendre à ce que l'amélioration des systèmes d'IA et l'expérience acquise de l'utilisation de l'IA augmentent sensiblement son degré d'automatisation et sa diffusion, et ainsi que les exigences relatives à l'autodétermination et à l'autonomie acquièrent à l'avenir une plus grande importance. Les aspects à prendre en compte sont alors la pertinence de l'interaction avec les systèmes d'IA et la possibilité d'influencer et de contrôler les décisions.

Équité/transparence

En termes d'IA, l'équité et la non-discrimination sont des sujets vivement débattus. À l'heure actuelle, des recommandations et des approches de portée générale ont déjà été définies pour répondre à ces exigences sociales.[123] Cependant, ces aspects ne jouent pas un rôle crucial dans les applications d'IA actuellement commercialisées dans le secteur de l'énergie, car les méthodes d'IA utilisées ne prennent pas de décisions autonomes et servent seulement d'outils d'aide à la décision. Les exigences relatives à l'équité et à la non-discrimination doivent être prises en compte par les acteurs concernés eux-mêmes. À moyen terme, les possibilités croissantes pour l'IA d'agir de manière autonome présentent un potentiel élevé pour le secteur de l'énergie, par exemple pour l'optimisation de l'exploitation du réseau. Ainsi, les exigences en matière d'équité et de non-discrimination devraient également augmenter. On peut ici prendre exemple sur des approches existantes issues d'autres secteurs d'activité (évaluation de la solvabilité, médecine, etc.). Sur la base des données disponibles pour l'entraînement des systèmes d'IA, il est possible de mettre en place des outils dédiés à l'équité et à la non-discrimination qui évaluent les résultats pour identifier d'éventuels biais et les corriger. Cette démarche suppose de définir des exigences d'équité particulières ainsi que les modalités de leur prise en compte dans le traitement des données par les méthodes d'IA.

[122] Citons par exemple, ShineHub, un système numérique de gestion de l'énergie pour l'auto-approvisionnement qui utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour l'optimisation. Plus d'informations sur www.shine.eco/presse/vollautomatische-eigenstromproduktion-mit-shinehub/
[123] Par exemple, l'AI Fairness 360 Open Source Toolkit, accessible en ligne : https://aif360.mybluemix.net

Les discriminations peuvent non seulement résulter de données biaisées, qui sont par exemple utilisées pour l'entraînement des systèmes d'IA, mais également d'algorithmes d'IA biaisés, dont les arbres de décision peuvent ne pas prévoir certaines possibilités ou bien ne pas mettre en œuvre certaines solutions possibles.

Dans les champs d'application des *clusters* **bases décisionnelles générales** et **entretien et sécurité**, il s'agit généralement d'optimisations techniques ou économiques qui se basent sur des données techniques. Ainsi, ces champs d'application n'impliquent aucune décision liée à des personnes spécifiques, raison pour laquelle l'équité et la non-discrimination y ont une moindre importance. En revanche, l'importance de ces aspects est bien plus élevée dans le *cluster* **services de distribution et aux consommateurs**, car des données à caractère personnel y sont fréquemment utilisées. Si les méthodes d'IA de ce *cluster* viennent à se répandre, le respect des exigences en question devra donc être garanti. Il en va de même si l'utilisation de méthodes d'IA via des plateformes basées sur le *cloud* augmente, car la responsabilité de l'utilisation de l'IA peut se retrouver partagée entre plusieurs acteurs. Les développeurs et fournisseurs de méthodes d'IA, ainsi que les prestataires qui aident les entreprises à utiliser l'IA, travaillent déjà à l'élaboration d'outils et de systèmes de gestion pour satisfaire à ces exigences d'équité et de non-discrimination.[124]

3.4.2 Particularités sociales des champs d'application

Les paragraphes qui suivent examinent plus en détail les particularités des neuf champs d'application au regard des enjeux de société qui se posent.

Prévisions

Les prévisions constituent une base importante pour l'intégration des énergies renouvelables et peuvent être améliorées de manière significative grâce à l'IA. L'utilisation commerciale de cette application de l'IA est déjà répandue et divers acteurs ont déjà massivement recours à cette technologie. La satisfaction des exigences en matière de transparence, d'équité et de non-discrimination est aujourd'hui déjà garantie par la publicité de l'accès aux données utilisées (données météorologiques, données de prix, de production, etc.). En outre, l'exploitation ultérieure des prévisions et leur comparaison avec les événements prévus tels qu'ils se sont réellement déroulés permettent d'effectuer une vérification et ainsi de donner un *feedback* direct pour améliorer les futures prévisions. L'autodétermination humaine n'est actuellement pas limitée étant donné que les prévisions ne sont typiquement utilisées qu'à des fins d'aide à la décision et qu'elles n'interviennent de pas manière complètement automatisée.

D'une manière générale, les indicateurs retenus indiquent un niveau élevé de satisfaction des exigences sociales pour ce champ d'application. En effet, d'un point de vue social, il n'existe pas d'aspects critiques qui compliqueraient la mise en œuvre de l'IA ou qui constitueraient des critères d'exclusion.

[124] Parallèlement à l'AI Fairness 360 Open Source Toolkit d'IBM, des services de conseil aux entreprises proposent également des outils, comme par exemple Perform AI de Capgemini (https://www.capgemini.com/service/perform-ai/), AI in Control de KPMG (https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2018/12/kpmg-artificial-intelligence-in-control.html) ou encore le *framework* Trustworthy AI™ de Deloitte (https://www2.deloitte.com/us/en/pages/deloitte-analytics/solutions/ethics-of-ai-framework.html).

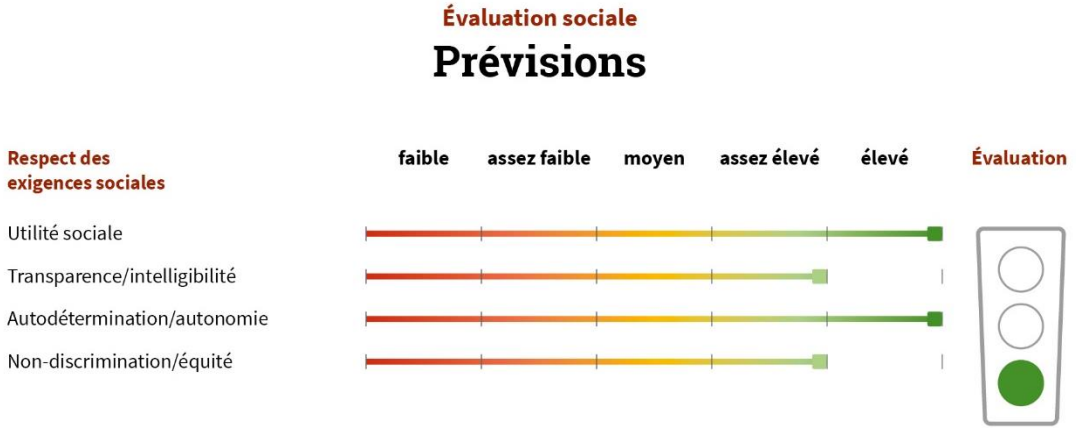

Figure 48 : évaluation sociale du champ d'application « prévisions »

Optimisation de l'exploitation pour la production et les réseaux

L'IA devrait apporter une contribution importante en matière d'optimisation des réseaux d'électricité en augmentant les capacités d'utilisation des réseaux tout en évitant les surcharges. Elle devrait également permettre d'éviter de devoir réguler l'utilisation des énergies renouvelables à cause de la formation de goulots d'étranglement. Parallèlement à ces aspects déjà examinés dans le cadre de l'évaluation technique, le recours à l'IA dans ce champ d'application peut accroître la sécurité de l'approvisionnement et ainsi présenter un avantage supplémentaire. Le regroupement d'expériences et de connaissances sur l'état et le comportement des réseaux sous la forme de données de mesure pour assurer la formation et la qualification de nouveaux collaborateurs représente un avantage supplémentaire pour la société. À l'aide de jumeaux numériques de la topologie du réseau, il est également possible de collecter des données relatives à des événements qui ne se produisent sur le réseau que rarement dans la réalité. L'identification facilitée d'états critiques ou de défaillances peut également améliorer la protection et la sécurité des employés, par exemple dans le domaine de l'entretien et de la maintenance des réseaux.

L'IA peut servir d'aide à la conduite de l'exploitation du réseau par l'identification de situations critiques sur la base d'un grand nombre de données d'état du réseau et par la déduction de recommandations d'action adaptées. On peut toutefois s'attendre à ce que des applications de l'IA puissent à l'avenir effectuer des opérations d'optimisation de l'exploitation de manière automatisée. On assiste par ailleurs au développement d'applications possibles de l'IA visant à contrôler des installations de consommation en basse tension. Les critères de transparence et d'intelligibilité revêtent ici une importance toute particulière étant donné que l'IA prend ici des décisions de manière autonome. Les exigences en la matière font l'objet de vifs débats au niveau européen (CE, 2020a) comme au niveau national. En ce qui concerne les infrastructures critiques, la certification d'applications de l'IA est une option adaptée et déjà prometteuse. La différenciation des différentes applications à certifier est par exemple possible en échelonnant les exigences de sécurité, tel que le suggère l'avis de la Commission d'éthique des données (*Datenethikkommission*) avec la « pyramide de criticité » (BMI, 2019). De cette manière, il serait possible de définir des exigences adaptées à chaque champ d'application. Celles-ci seraient sensiblement plus basses pour les applications de l'IA au faible potentiel de dommages (comme la validation de données de compteurs intelligents) que pour celles au potentiel de dommages élevé (comme l'automatisation du *redispatching* de la production des installations). En outre, la MsbG prévoit déjà des règles exhaustives en matière de compteurs intelligents (cf. partie 3.3).

L'optimisation de l'exploitation d'installations de production sans prendre en compte l'état du réseau peut conduire à des états critiques pour le système. L'IA est ici utilisée pour stabiliser davantage l'exploitation du réseau et atteindre un niveau de résilience plus élevé. Le recours à des méthodes d'IA très complexes donne souvent des résultats encore peu intelligibles.

Ainsi, l'intelligibilité de l'IA est un sujet de recherche important pour ce champ d'application. Si son intelligibilité est garantie, l'IA peut alors être utilisée pour augmenter la résilience du réseau ou bien optimiser les performances des installations sur différents marchés de l'électricité. En revanche, les systèmes actuellement commercialisés, moins complexes, servent uniquement d'outils d'aide à la décision et n'effectuent aucune tâche automatisée, si bien que l'autodétermination et l'autonomie de l'action humaine ne sont ici pas limitées (Nowak, 2020).

Les installations en basse tension impliquent un lien avec des foyers spécifiques, et donc avec des personnes. C'est pourquoi il convient de prêter attention aux questions d'équité et de non-discrimination dans l'application de l'IA à ce domaine. La réglementation prévoit déjà le respect de cette exigence, mais il reste à savoir dans quelle mesure celle-ci pourra être satisfaite lorsque des méthodes d'IA seront utilisées pour l'optimisation de l'exploitation au niveau des foyers.

Dans l'ensemble, les indicateurs individuels révèlent que le niveau de satisfaction des exigences de la société peut être considéré comme élevé.

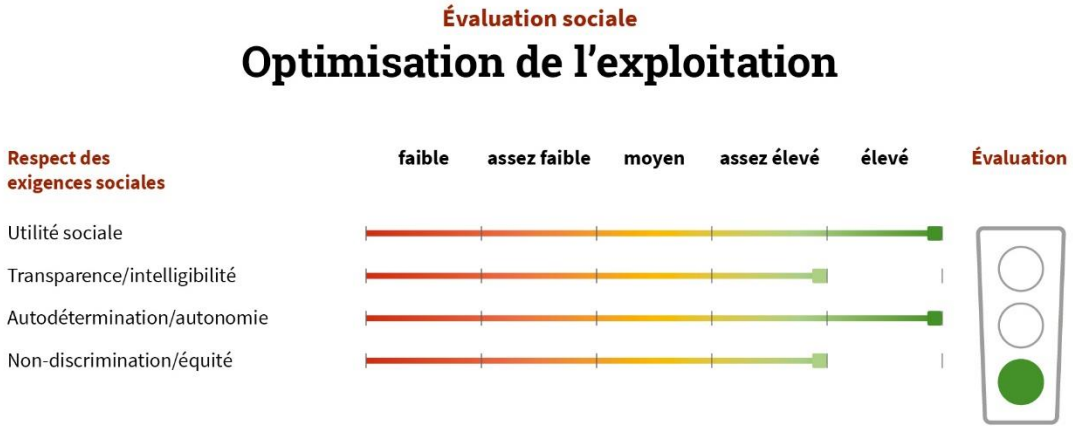

Figure 49 : évaluation sociale du champ d'application « optimisation de l'exploitation »

Optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques

Outre les bénéfices pour la société examinés dans les évaluations technique et économique (planification des sites, renforcement du réseau en fonction des besoins, etc.), ce champ d'application recèle d'autres effets positifs d'une utilisation optimisée des moyens d'exploitation du réseau. En raison du potentiel d'optimisation déjà exploité en matière de production grâce aux systèmes existants de collecte de données (systèmes SCADA, entre autres) et à l'utilisation de méthodes non basées sur l'IA, les retombées positives supplémentaires du recours à l'IA sont jugées plus faibles qu'en matière de réseaux. L'utilisation de jumeaux numériques combinée avec une optimisation de l'exploitation permet de tester et valider les résultats de l'optimisation des stocks, sans que l'IA intervienne dans le système réel. Sur la base des conclusions tirées à partir des systèmes virtuels, des ajustements peuvent alors être effectués dans le système réel.

Dans ce champ d'application, l'IA est généralement mise en œuvre par l'utilisateur (exploitant d'installations ou gestionnaire de réseau), qui se sert des résultats de l'IA comme base d'aide à la décision. Les exigences en matière de transparence, d'équité et de non-discrimination jouent ici un rôle important pour que les utilisateurs aient confiance dans les applications et ainsi mettent en œuvre les recommandations déduites par l'IA.

En ce qui concerne la mise en œuvre elle-même, ces exigences ne sont pas considérées comme cruciales car elles n'impliquent en général pas l'utilisation de données à caractère personnel. Les décisions sont toujours prises par un humain, si bien que l'autodétermination humaine n'est actuellement pas influencée.

Sur la base des indicateurs étudiés, la satisfaction des exigences sociales est dans l'ensemble jugée élevée dans ce champ d'application.

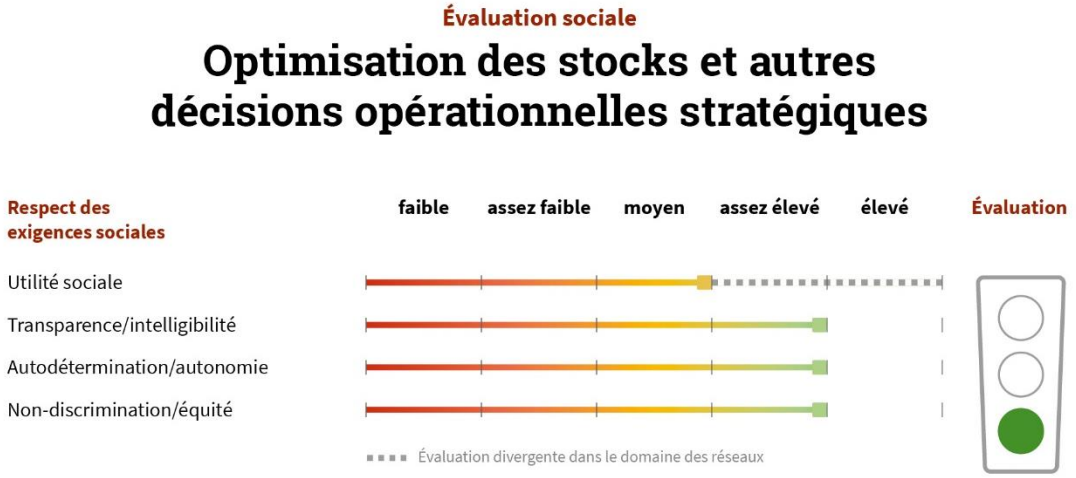

Figure 50 : évaluation sociale du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques »

Maintenance prédictive

Le champ d'application « maintenance prédictive » comprend en particulier l'optimisation de la planification des opérations de maintenance et de réparation et possède donc de nombreuses zones de chevauchement avec le champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement », qui se concentre sur la mise en œuvre des opérations. Outre l'amélioration de l'efficience et les avantages économiques qui découlent du recours à l'IA dans ce champ d'application, d'autres avantages existent d'un point de vue social. On peut par exemple constater des retombées positives sur la sécurité du personnel de maintenance, l'IA permettant de réduire le nombre de réparations imprévues dues à des défaillances ou des perturbations de l'exploitation du réseau d'électricité. En effet, le risque d'accident pour les employés est en général sensiblement plus bas dans le cadre d'opérations de maintenance planifiées que de réparations imprévues.

Dans ce domaine d'application, la transparence et l'intelligibilité sont assurées lorsque les utilisateurs de l'IA sont d'une part propriétaires et fournisseurs des données d'entraînement et d'autre part qu'ils vérifient attentivement les résultats et les mesures proposées par l'IA avant de les mettre en œuvre. Toutefois, en cas d'automatisation plus poussée des processus de maintenance prédictive, la transparence et l'intelligibilité pour les utilisateurs de l'IA peuvent au début être réduites dans la mesure où ces derniers n'ont pas pris part au développement de l'IA. Dans ce cas de figure, il existe des outils pour éviter que l'application de l'IA ne soit une « boîte noire » et rendre les résultats compréhensibles pour les utilisateurs. Si des stratégies de maintenance conditionnelle basées sur les recommandations de l'IA venaient à être mises en œuvre dans le cas d'infrastructures critiques, une certification de l'IA pourrait permettre de garantir la transparence et l'intelligibilité.

L'autodétermination est également jugée élevée étant donné que l'IA est utilisée comme outil d'aide à la décision et ne prend pas de décisions autonomes concernant des personnes. Les considérations relatives à l'équité et à la non-discrimination sont moins pertinentes dans ce champ d'application puisque seules sont utilisées des données techniques et non des données à caractère personnel. En vérifiant les données d'entrée et les recommandations qui en sont déduites, les discriminations peuvent être identifiées et corrigées.

Sur la base des indicateurs considérés, la satisfaction des exigences sociales est jugée bonne dans ce champ d'application.

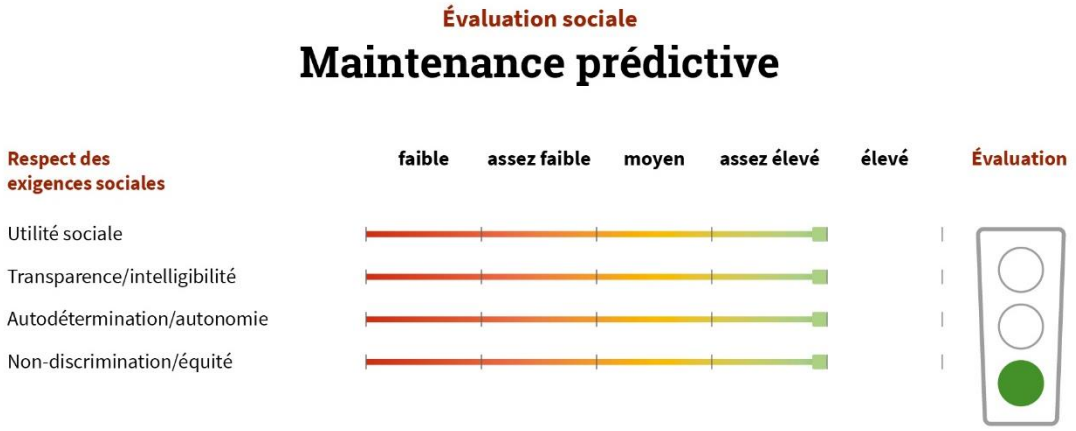

Figure 51 : évaluation sociale du champ d'application « maintenance prédictive »

Maintenance, réparation et démantèlement

Dans ce champ d'application, le recours à des applications de l'IA pour assister la maintenance augmente la sécurité des techniciens et du personnel de maintenance, présentant ainsi une utilité sociale. Il ne se pose ici aucun problème de transparence ou d'intelligibilité dans la mesure où les données sont fournies par l'utilisateur et que c'est lui, par exemple suite à l'identification d'une défaillance, qui procède lui-même aux évaluations et aux conclusions. Ainsi, à titre d'exemple, l'utilisateur de l'IA commence par rassembler des photos de composants défaillants du réseau de distribution, lesquelles serviront de base à l'identification de défaillances par l'IA. Les résultats et conclusions générés par les méthodes d'IA sont ensuite examinés.

Les méthodes d'IA complexes comme les systèmes experts imposent des exigences aux développeurs qui doivent rendre leurs applications intelligibles et pratiques pour les utilisateurs. Par exemple, il est nécessaire de présenter de manière transparente et intelligible les données d'entrée essentielles aux algorithmes de classification basés sur l'IA. Si l'IA est utilisée par un prestataire ou via une plateforme basée sur le *cloud*, le prestataire ou le développeur sont soumis à des exigences supplémentaires en termes de transparence et d'intelligibilité. Il existe des outils pour expliquer les résultats aux utilisateurs de l'IA. Les possibilités d'autodétermination et d'action autonome de l'homme ne sont pas affectées dans ce domaine, puisque la responsabilité des décisions incombe toujours à l'être humain. L'IA ne sert ici que d'outil d'aide à la décision. L'équité est également facile à garantir dans la mesure où les utilisateurs de l'IA fournissent en général eux-mêmes les données et vérifient les résultats, pouvant ainsi identifier les éventuels biais et les corriger.

Dans le champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement », le niveau de satisfaction des exigences sociales est donc jugé élevé à l'aune des indicateurs retenus.

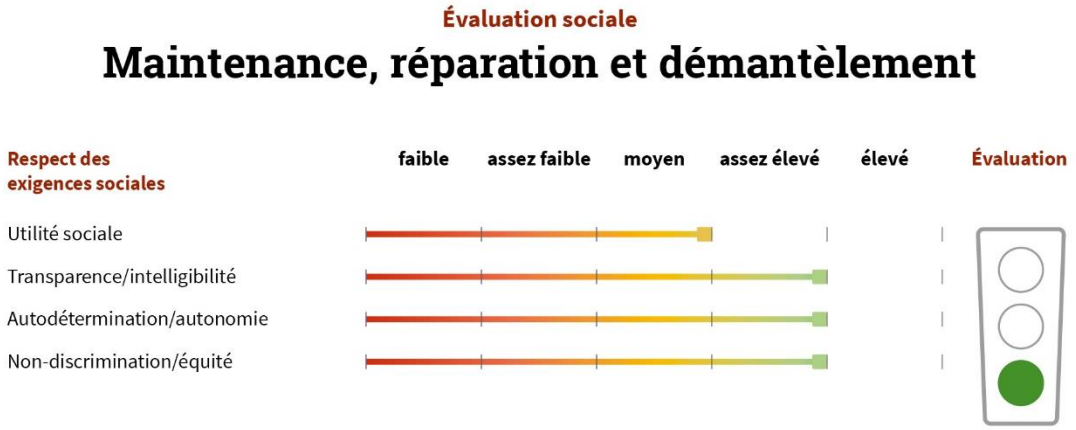

Figure 52 : évaluation sociale du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »

Mesures de sécurité

Un aspect très important de l'IA est l'augmentation de la résilience des systèmes énergétiques, par exemple au moyen de jumeaux numériques qui permettent d'identifier des états critiques dans un système virtuel et d'en déduire des mesures à appliquer dans le système réel. Le comportement abusif d'acteurs du marché peut également être repéré plus rapidement et plus précisément grâce aux applications de l'IA (p. ex. en identifiant des anomalies systématiques au sein des périmètres d'équilibre).

Comme pour les autres champs d'application du *cluster* **entretien et sécurité**, la transparence et l'intelligibilité sont ici aussi garanties si l'utilisateur de l'IA peut fournir lui-même les données d'entraînement et vérifier lui-même les résultats. En ce qui concerne les systèmes et modèles complexes comportant de nombreuses variables et données d'entrée, comme les modèles dédiés à l'état du réseau, les exigences posées aux méthodes d'IA utilisées sont néanmoins plus élevées en termes d'intelligibilité. Ainsi, cette question représente actuellement une priorité des travaux de recherche en la matière. La certification de l'IA offre une possibilité de satisfaire à ces exigences, mais elle doit encore davantage se concrétiser. Dans ce champ d'application, les utilisateurs restent eux-mêmes responsables de leurs décisions et utilisent les systèmes d'IA comme outils d'aide à la décision. Toutefois, si le recours à l'IA dans des processus automatisés est plus important, les exigences en termes de vérification des données d'entrée et des méthodes d'IA pour identifier d'éventuels biais et les corriger augmentent également. Ces mesures pouvant être mises en œuvre dans ce champ d'application, le niveau de satisfaction de l'indicateur d'équité est jugé assez élevé.

L'examen des différents indicateurs permet de conclure que les exigences sociales posées aux applications de l'IA du champ « mesures de sécurité » sont bien satisfaites.

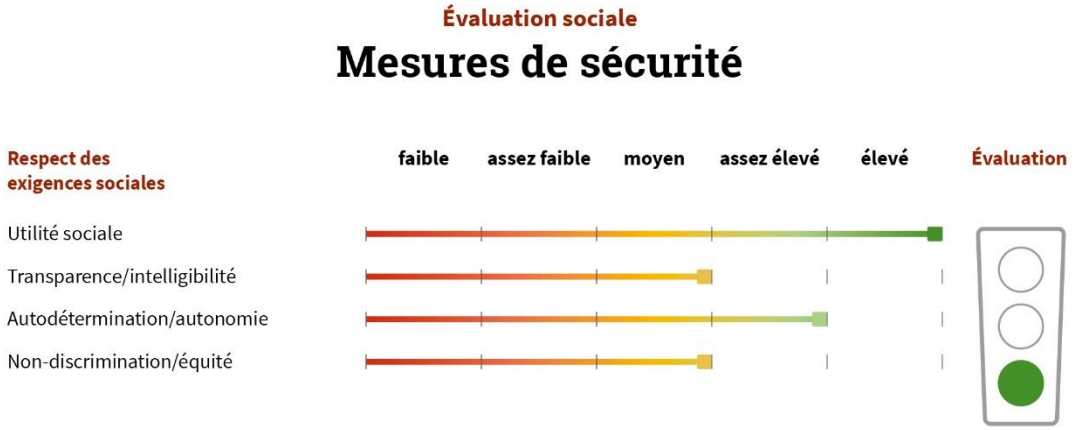

Figure 53 : évaluation sociale du champ d'application « mesures de sécurité »

Participation simplifiée des consommateurs actifs

D'un point de vue social, l'évaluation du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » est élevée, étant donné que l'IA permet une plus forte participation des consommateurs. Ainsi, l'implication active des consommateurs est par exemple rendue possible par des plateformes d'engagement client. La mise en place des mesures concernées se base sur des méthodes d'IA, qui apprennent les préférences utilisateurs et prennent ainsi en compte une multitude de contraintes de manière automatisée. Les approches existantes donnent aux utilisateurs la possibilité de communiquer leurs préférences et ainsi de prendre part aux marchés de l'électricité à plus grande échelle. En comparaison avec les autres *clusters*, le *cluster* **services de distribution et aux consommateurs**, auquel appartient ce champ d'application, implique une transmission de données à caractère personnel plus importante, raison pour laquelle cet aspect ne doit pas être négligé. Grâce à une approche décentralisée et des optimisations effectuées localement, ces données pourraient en principe ne pas quitter les utilisateurs de l'IA. D'une manière générale, il est ainsi possible de protéger le traitement des données et de garantir une transparence et une intelligibilité satisfaisantes. Seules les données utiles au négoce d'électricité ou à l'exploitation du réseau doivent être transmises à des acteurs centralisés ou assurant des tâches de coordination.

L'objectif des applications de l'IA de ce champ d'application est de renforcer l'autodétermination et l'autonomie des consommateurs du secteur de l'énergie. L'IA aide les utilisateurs à prendre en compte leurs préférences individuelles de consommation d'électricité et à les appliquer dans le cadre du négoce d'électricité ou de l'exploitation du réseau, par exemple en signalant des potentiels de flexibilité disponibles.

Exemple pratique : OFFIS – optimiser l'intégration des EnR grâce à la flexibilité décentralisée des réseaux intelligents

La flexibilité des batteries de stockage permet d'équilibrer les fluctuations à court terme des systèmes dépendant des conditions extérieures, comme les installations éoliennes ou photovoltaïques, et de les aligner sur les besoins énergétiques des particuliers et des entreprises de l'industrie et des services. Afin d'amortir les investissements toujours relativement élevés dans les systèmes de batteries de stockage de manière optimale sur le plan économique et technique, OFFIS élabore des stratégies d'utilisation polyvalente des batteries de stockage en étroite collaboration avec l'Université Leibniz de Hanovre et la société be.storaged GmbH. Ainsi, différentes batteries de stockage sont interconnectées sous forme de réseau intelligent afin de proposer la flexibilité disponible sur différents marchés. À cette fin, des procédés modernes d'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle distribuée sont utilisés pour analyser, prévoir et optimiser les potentiels de flexibilité de chaque utilisateur de manière décentralisée.[125]

Les processus d'IA utilisés dans ce champ d'application sont fortement automatisés, et il est donc nécessaire de garantir la satisfaction du critère de transparence et d'intelligibilité. Les stratégies actuellement développées pour une IA équitable et compréhensible reprennent ces exigences, si bien que le niveau de satisfaction de l'indicateur de non-discrimination est également jugé assez élevé.

Dans l'ensemble, les indicateurs examinés témoignent d'un niveau élevé de respect des exigences sociales dans ce champ d'application.

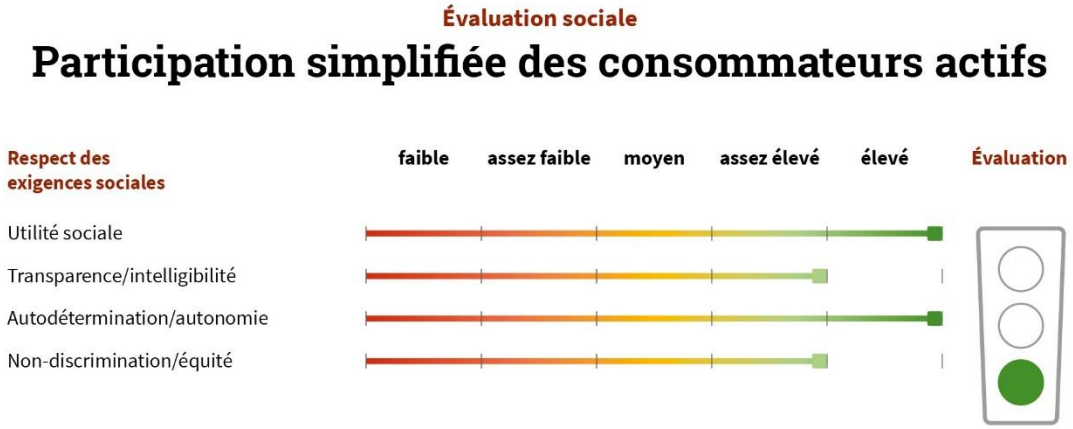

Figure 54 : évaluation sociale du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »

Individualisation de produits et mesures marketing

Du point de vue de l'entreprise, les avantages de l'individualisation des produits résident généralement dans l'augmentation des interactions avec les clients, l'amélioration de leur satisfaction et donc la consolidation de leur fidélité. Le plus gros avantage pour la transition énergétique découle de la mise en place de mesures d'efficacité énergétique ou de l'augmentation de l'attractivité des énergies renouvelables. Toutefois, ces retombées positives, ainsi que les autres avantages pour la société directement attribuables à l'utilisation de l'IA dans ce champ d'application, sont considérées comme assez limitées.

[125] Plus d'informations sur www.offis.de/offis/projekt/mirage.html

Dans ce champ d'application, l'IA peut tout au plus contribuer à renforcer les interactions sociales et proposer des mesures ciblées, par exemple en matière d'efficacité énergétique. Et à ce jour, seuls quelques exemples d'application présentant une utilité sociale élevée ont été mis en œuvre.

Ce champ d'application est celui qui utilise le plus de données à caractère personnel, de telle sorte que les exigences en termes de transparence et d'intelligibilité sont ici particulièrement importantes. Par ailleurs, les clients finaux doivent avoir la possibilité de donner un retour sur les résultats de l'IA, étant donné qu'ils ne sont normalement pas directement utilisateurs des méthodes d'IA, mais qu'ils en voient uniquement les résultats attendus. Avec le RGPD et la BDSG, il existe déjà un cadre réglementaire étendu en la matière, lequel impose des obligations d'information et des règles en ce qui concerne les décisions automatisées (cf. partie 3.3).

L'autodétermination et l'autonomie de l'action humaine sont particulièrement affectées dans ce champ d'application, étant donné que les offres de produits et les actions commerciales sont de plus en plus souvent générées automatiquement par l'IA. Les exigences en termes d'équité et de non-discrimination sont plus élevées que dans d'autres champs d'application, car les acteurs concernés ici par les décisions de l'IA ne sont pas les développeurs et les utilisateurs eux-mêmes.

D'une manière générale, le niveau de satisfaction des exigences sociales de ce champ d'application est jugé moyen, l'utilité sociale étant par exemple considérée comme assez faible.

Figure 55 : évaluation sociale du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »

Automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution

Dans ce champ d'application, l'augmentation générale de l'efficience des processus de marché et de distribution présente une utilité pour la société (cf. exemple pratique). L'IA trouve par ailleurs diverses applications dans l'exploitation du réseau, par exemple pour vérifier les annonces de programmes prévisionnels. Toutefois, il existe déjà des normes d'exploitation entraînant une augmentation de l'efficience même sans l'IA. Le recours à l'IA peut également présenter des avantages lorsqu'il permet une action autonome et une optimisation décentralisée. Son utilité pour la société et pour la transition énergétique intégrée est jugée plus faible que celle d'autres champs d'application.

Exemple pratique : eprimo – une assistance client rapide grâce au *chatbot* Sophie

Chez eprimo, le *chatbot* Sophie connaît très bien les principaux services, répond aux questions d'ordre général sur l'approvisionnement énergétique des clients et gère des processus standards comme la modification des informations de contact, la détermination du montant des remises et des échéances ainsi que la communication des relevés de compteur. Neuf requêtes sur dix liées à un problème connu peuvent ainsi être traitées de manière concluante par la conseillère virtuelle en ligne. Fin 2019, eprimo enregistrait 50 000 à 70 000 échanges par mois. Au cours du confinement imposé en raison de la pandémie de coronavirus, les requêtes via le *chat* ont encore légèrement augmenté : en avril 2020, Sophie a traité environ 3 000 contacts par jour ; fin avril 2020, la barre symbolique du million d'échanges était franchie.[126]

À l'instar de l'individualisation de produits et mesures marketing, ce champ d'application utilise des données à caractère personnel de clients finaux, raison pour laquelle les exigences relatives à la transparence et à l'intelligibilité sont ici particulièrement importantes. Toutefois, ces exigences sont déjà largement reprises par le cadre réglementaire existant (RGPD, MsbG, EnWG). Dans ce champ d'application, les critères d'autodétermination et d'autonomie ne sont que partiellement satisfaits, car si ce sont toujours des humains qui décident, ces décisions sont malgré tout de plus en plus influencées par l'automatisation des processus. L'utilisation de données à caractère personnel impose aux projets d'IA des exigences plus élevées en termes de mise en œuvre équitable. Le développement et l'utilisation de l'IA impliquent dans ce champ d'application différents acteurs. Les clients finaux, dont les données sont utilisées, ne sont pas impliqués dans l'élaboration et la vérification des résultats de l'application de l'IA. La contrôlabilité des biais et leur correction sont par conséquent considérées comme cruciales.

Sur la base des indicateurs examinés, le niveau de satisfaction des exigences sociales de ce champ d'application est dans l'ensemble jugé moyen.

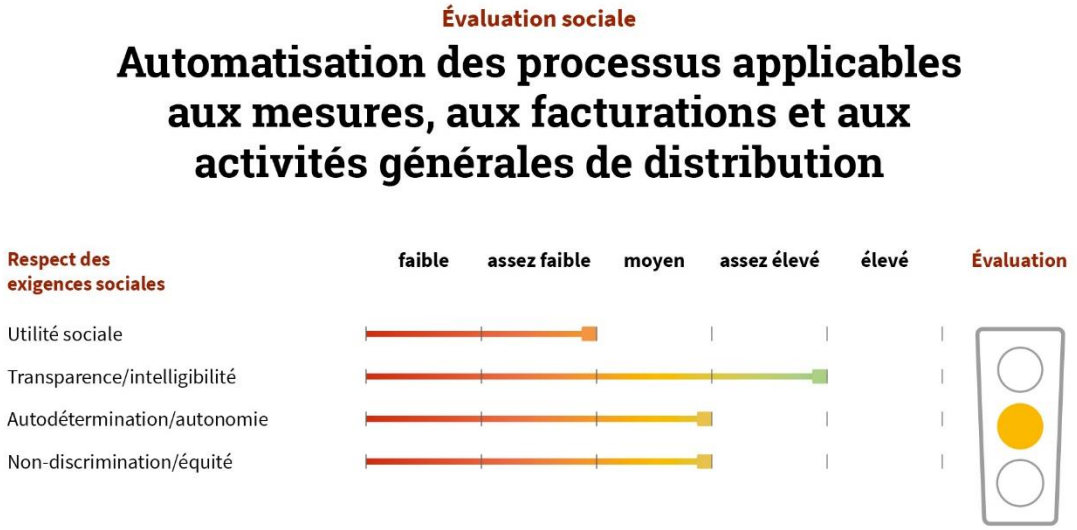

Figure 56 : évaluation sociale du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »

[126] Plus d'informations sur www.eprimo.de/hilfe/unser-service/eprimo-ist-fuer-sie-da/wer-ist-sophie-und-wie-hilft-sie-mir-weiter/42c0e2bd62d41a490162d8d8f5a2512a

Synthèse de l'évaluation sociale

Contrairement à l'utilisation de l'IA dans d'autres domaines (santé, ressources humaines, etc.), le recours à l'IA dans le secteur de l'énergie satisfait en grande partie aux exigences sociales qui existent en la matière. Les applications ne servant pas seulement d'outils d'aide à la décision, mais prenant également des décisions autonomes, notamment sur des humains, constituent une exception. Hormis ce cas de figure, les exigences relatives à l'autonomie de l'action humaine et à l'autodétermination ne sont pas critiques. De nombreux processus basés sur l'IA n'utilisent que des données accessibles au public ainsi que des données issues d'installations de production et de moyens d'exploitation du réseau et ne nécessitent pas de données à caractère personnel. Afin de satisfaire aux exigences de transparence et d'intelligibilité, il est nécessaire d'associer étroitement les utilisateurs aux étapes de développement, de formation et de validation. Si l'IA est utilisée sans cette association, alors les fournisseurs d'applications de l'IA doivent garantir le respect des critères en question. Cela est notamment valable lorsque des méthodes d'IA, de plus en plus basées sur des plateformes, sont proposées par des éditeurs de logiciels sous forme de services et intégrées aux processus du secteur de l'énergie sans que les utilisateurs aient de connaissances préalables importantes. En outre, les critères à respecter en matière de transparence sont plus stricts lorsque des données à caractère personnel sont utilisées. L'utilité du recours à l'IA et le fonctionnement de celle-ci doivent alors est clairs et intelligibles. Enfin, l'utilisation de l'IA doit être adaptée du point de vue éthique et digne de confiance.

4 Bilan et perspectives

4.1 Regroupement de tous les champs d'application

L'analyse approfondie montre que l'IA apporte une contribution tout aussi importante qu'indispensable à la réussite de la transition vers un système énergétique fortement numérisé. Afin d'illustrer la contribution de cette technologie en ce sens, des actions pertinentes seront identifiées pour les différents acteurs de l'écosystème. À cette fin, les éléments essentiels des trois *clusters* (« bases décisionnelles générales », « entretien et sécurité » et « services de distribution et aux consommateurs ») sont tout d'abord résumés puis, sur cette base, des recommandations d'action sont proposées.

Des conditions favorables à l'exploitation du potentiel de l'IA pour le secteur de l'énergie

L'évaluation des neuf champs d'application de la Figure 57 illustre l'étendue des possibilités d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie et l'importance des opportunités pour le secteur. De même, afin de parvenir à une diffusion effective et efficace de l'IA dans les différents processus du secteur de l'énergie, des décisions complexes nous attendent, notamment en ce qui concerne la rapidité de la mise en œuvre, la fiabilité de l'utilisation et la confiance en celle-ci en termes de sécurité et de protection des données, de respect des attentes et exigences réglementaires du système énergétique et de diversité des applications possibles, y compris à l'égard de leurs promesses d'utilité et de leur acceptation par la société. Ces décisions dépendent fortement des particularités de chaque cas et ne sauraient être prises de manière uniforme pour tous les cas d'utilisation. Néanmoins, les différentes mesures doivent être élaborées et mises en place de manière à ce qu'elles soient adaptées à plusieurs cas d'utilisation.

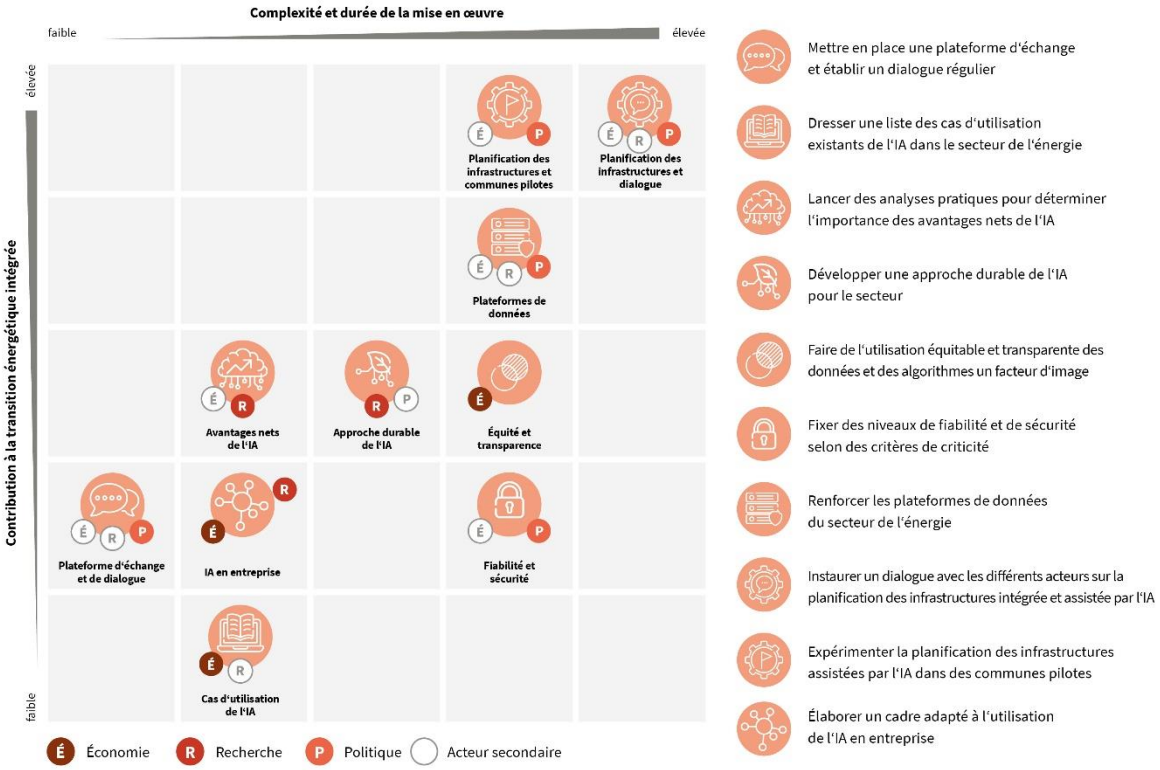

Figure 58 classe les neufs champs d'application de l'IA en fonction de leur contribution à la transition énergétique intégrée ainsi que de leur niveau de développement technique et de leur évaluation économique. On peut ainsi constater que le *cluster* « bases décisionnelles générales », qui comprend les champs d'application **prévisions (1)**, **optimisation de l'exploitation (2)** et **optimisation des stocks (3)**, fournit ou est susceptible de fournir une contribution particulièrement élevée à la transition énergétique intégrée et qu'en termes de mise en œuvre, des projets performants sont déjà sur le marché ou bien en cours d'élaboration.

Cette vue d'ensemble nous montre par ailleurs la situation quelque peu différente du *cluster* « entretien et sécurité », qui comprend les champs d'application **maintenance prédictive (4)**, **maintenance, réparation et démantèlement (5)** et **mesures de sécurité (6)**. Aussi bien la contribution à la transition énergétique intégrée que le rapport coûts-avantages résultant de facteurs techniques et économiques sont jugés plus faibles que dans le premier *cluster*. D'un point de vue social, les champs d'application des deux *clusters* ne connaissent pas d'obstacles majeurs, même si les champs **optimisation de l'exploitation (2)** et **mesures de sécurité (6)** sont toutefois confrontés à des défis réglementaires.

Dans le troisième *cluster*, « services de distribution et aux consommateurs », qui englobe la **participation simplifiée des consommateurs actifs (7)**, l'**individualisation de produits et mesures marketing (8)** et l'**automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution (9)**, il apparaît clairement que les facteurs sociaux sont plus importants, mais que les obstacles réglementaires ne sont guère un problème. La contribution à la transition énergétique intégrée varie d'un champ d'application à l'autre. Ainsi, la **participation simplifiée des consommateurs actifs (7)** se voit attribuer un potentiel conséquent de transformation du système énergétique, tandis que l'utilisation de l'IA pour l'**optimisation des processus (9)** et à des **fins marketing (8)** renforce en premier lieu l'efficience des entreprises.

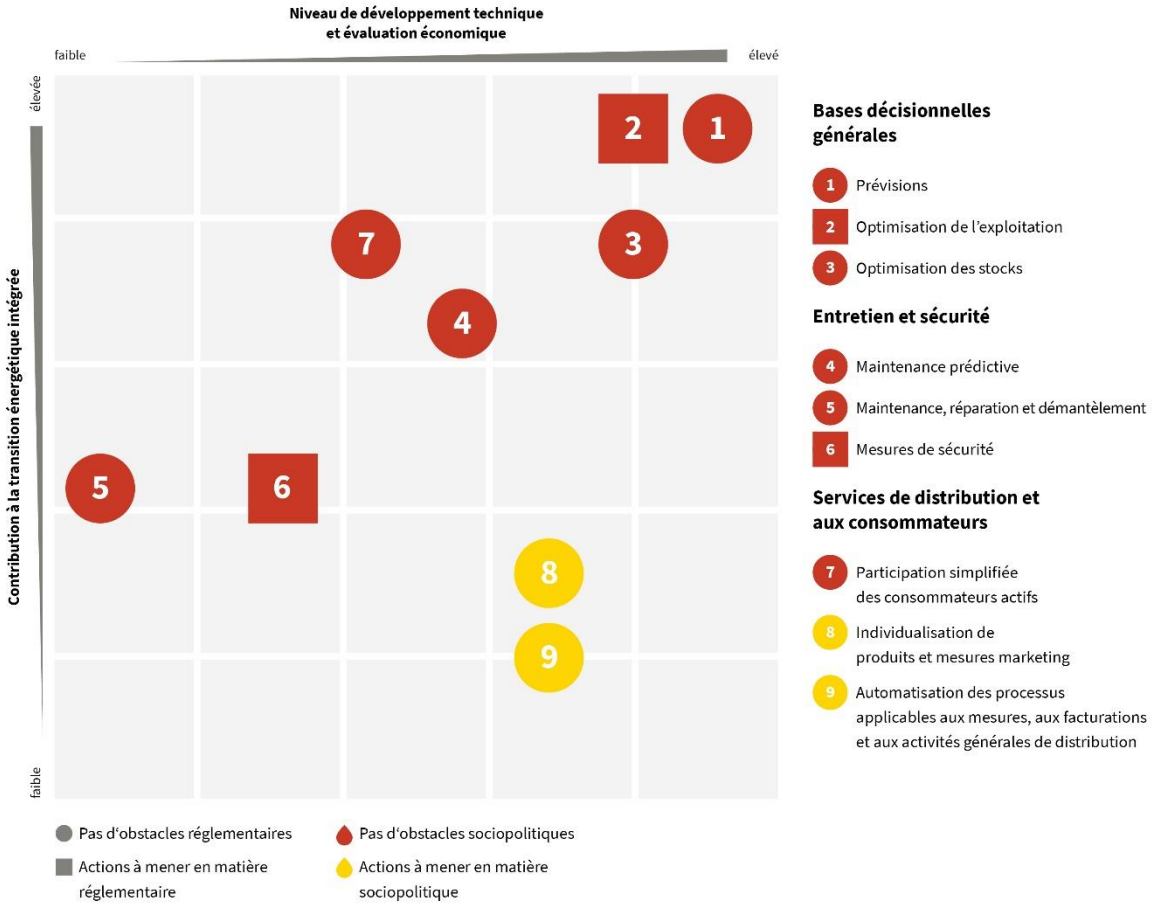

Figure 57 : évaluation synthétique des champs d'application

Cluster « bases décisionnelles générales »

L'IA offre avant tout une base très performante et innovante pour l'optimisation du secteur de l'énergie, dans la mesure où son utilisation permet d'exploiter une très grande quantité de données sur lesquelles se baser pour prendre des décisions en matière de planification et de mise en œuvre. Avec la généralisation prévue des données de capteurs (déploiement des compteurs intelligents, IdO) et l'intégration de sources de données alternatives (données météorologiques, données structurelles, etc.), on peut supposer que la masse de données utilisée pour développer les processus basés sur l'IA augmentera encore sensiblement dans les prochaines années. Cet accroissement est en particulier nécessaire pour les prévisions de l'état du réseau électrique ainsi que pour l'optimisation de l'exploitation et des stocks, par exemple au niveau du réseau. Il manque encore souvent les données de mesure nécessaires issues des niveaux inférieurs du réseau, à savoir des consommateurs flexibles, des producteurs et des systèmes de stockage. Sur la base de ces données, l'**optimisation de la gestion (2)** de la congestion du réseau (Redispatch 2.0) peut contribuer à éviter les goulots d'étranglement. Cette contribution s'avérera particulièrement pertinente lorsque davantage de petits producteurs et un grand nombre de consommateurs contrôlables seront raccordés au réseau. Une réglementation en la matière existe déjà (cf. p. ex. loi sur l'accélération de l'extension des réseaux de transport haute tension transrégionaux et transnationaux – NABEG). Des tarifs variables peuvent également contribuer à exploiter pleinement le potentiel de ces petits acteurs et des installations à venir. À cet égard, le recours à l'IA offre la possibilité de prendre en compte de très nombreux paramètres isolés pour la détermination des prix.

Dans le champ d'application **optimisation des stocks (3)**, l'intégration d'une multitude de données (données SIG, séries chronologiques des prix de l'électricité et d'autres énergies, données historiques d'utilisation, etc.) est utilisée pour entraîner les modèles d'IA, par exemple pour la planification des sites et la planification du réseau en fonction des besoins sur une période prolongée. Bien que cela nécessite souvent un effort de modélisation et une puissance de calcul plus élevés par rapport aux méthodes classiques, cet effort est justifié dans le cas de tâches de planification complexes (p. ex. renforcement plus ciblé des infrastructures de recharge) par un résultat nettement meilleur. Les **prévisions (1)** assistées par l'IA sont particulièrement au point sur le plan technique et attractives d'un point de vue économique. En permettant une commercialisation plus précise de la production EnR, une connaissance plus étendue de l'utilisation du réseau aux niveaux de tension inférieurs et une compréhension plus fine de la demande d'électricité et de l'évolution de la charge, l'IA peut apporter une contribution importante à la transition énergétique intégrée tout en servant de base à d'autres champs d'application de l'IA. D'une manière générale, les exigences réglementaires et sociales ne constituent pas d'obstacles majeurs dans ce *cluster*. Les réglementations existantes applicables au secteur de l'énergie, notamment le RGPD en matière de protection des données et la MsbG, doivent être respectées. Dans la mesure où l'IA ne prend pas de décisions autonomes, mais sert seulement d'outil d'assistance, la satisfaction des critères d'équité et d'autodétermination humaine doit être vérifiée par l'utilisateur et non garantie par l'IA elle-même.

Cluster « entretien et sécurité »

Dans ce groupe tant exigeant d'un point de vue technologique que coûteux d'un point de vue économique, les processus basés sur des algorithmes utilisés pour faire fonctionner des robots, des drones et des systèmes d'assistance se fondent essentiellement sur des données internes aux entreprises. Il n'est ainsi pas nécessaire de se procurer des données externes ni de s'assurer de leur qualité. Les applications dans les domaines de la maintenance et du contrôle automatisés (sécurité) se trouvent encore majoritairement au stade de la recherche. Néanmoins, leur attractivité et par conséquent leur diffusion devraient croître dans les prochaines années en raison de la dégression attendue des coûts. Les applications prometteuses du champ **maintenance prédictive (4)** ont recours à des modèles d'IA simples de régression et de classification et se basent actuellement sur les capteurs existants.

Étant donné que la mise en œuvre des modèles peut ici aussi exiger des investissements de départ élevés (drones, robots), le développement et la diffusion des applications peuvent s'en trouver freinés. La même chose s'applique au champ **maintenance, réparation et démantèlement (5)**, où le recours à des drones et à des robots occupe une place centrale. Les coûts des robots de maintenance, des systèmes d'assistance intelligents et des drones étant appelés à diminuer, les processus de maintenance assistée par l'IA (identification de défauts à l'aide de la réalité augmentée ou de drones, mise en place de systèmes experts, exécution autonome de processus de maintenance par des robots, etc.) fourniront également une contribution économique en faisant baisser les coûts grâce à une maintenance adaptée aux besoins, en améliorant la sécurité de l'approvisionnement et en réduisant les risques pour le personnel de maintenance. Les champs d'application « maintenance prédictive » et « maintenance, réparation et démantèlement » contribuent tous deux à éviter les pannes et les temps d'arrêt inutiles des installations et à accroître la rentabilité.

Dans ces deux champs d'application, c'est le recours aux robots, drones et systèmes d'assistance qui constitue le facteur principal en matière de complexité technique. En revanche, dans le champ d'application **mesures de sécurité (6)**, la complexité se trouve avant tout accrue par la nécessité d'une IA autonome qui puisse parer aux éventuelles attaques et aux dommages pouvant ainsi être causés au système énergétique.

Les exigences réglementaires relatives à la nécessaire sécurité des données sont ici particulièrement élevées étant donné que ce sont en grande partie des infrastructures critiques qui sont concernées. La prise de mesures de sécurité appropriées est donc essentielle dans ce champ d'application basé sur l'IA et augmente significativement les coûts de mise en œuvre. En tant que préalable à l'utilisation de l'IA dans d'autres champs d'application (participation simplifiée des consommateurs actifs, gestion intelligente du réseau avec un grand nombre de producteurs et de consommateurs flexibles), la résilience du système énergétique peut être renforcée en utilisant l'IA. En outre, des méthodes d'IA performantes renforcent la confiance dans la transformation du système et contribuent ainsi à la transition énergétique.

Cluster « services de distribution et aux consommateurs »

Dans ce groupe, les services aux consommateurs améliorés par l'IA occupent le devant de la scène. L'implication des clients requiert le traitement de données à caractère personnel, et le nombre d'autant plus important d'acteurs directement concernés accroît donc la pertinence des exigences posées par la société. En ce qui concerne l'**individualisation de produits et mesures marketing (8)**, le respect du RGPD et de la BDSG est un préalable essentiel. Ces procédés et innovations (comme le microciblage basé sur l'IA ou les systèmes de traitement du langage naturel (TLN) tels qu'Amazon Alexa) sont déjà très largement répandus dans de nombreux secteurs et contribuent de manière considérable au chiffre d'affaires des entreprises concernées. Le secteur de l'énergie peut ici s'appuyer sur l'expérience d'autres secteurs et, en appliquant des mesures qui s'en inspirent, accroître par exemple l'attractivité et l'adéquation des produits énergétiques (tarifs d'électricité adaptés à des groupes cibles, systèmes de stockage PV ou encore logiciels d'efficacité énergétique pour les bâtiments). En revanche, le champ d'application **participation simplifiée des consommateurs actifs (7)** vise à rendre les processus contrôlés par l'IA en usage dans le secteur de l'énergie (prévisions, contrôle combiné de la production PV et du stockage, etc.) économiquement accessibles aux plus petits acteurs. La possibilité d'interagir sur le marché de l'énergie leur est ainsi facilitée, voire tout simplement rendue possible. À long terme, la simplification des processus peut ainsi ouvrir de nouveaux domaines d'activité et augmenter le nombre d'acteurs sur le marché. Dans ce champ d'application, l'utilisation de l'IA est actuellement limitée par la diffusion encore faible des consommateurs contrôlables et par la disponibilité toujours insuffisante d'infrastructures de mesure et de contrôle efficaces et normalisées. L'**automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution (9)** est tout aussi importante pour le futur paysage énergétique décentralisé.

Dans ce champ d'application, le recours à l'IA aide à rendre les processus existants plus efficaces (temps, ressources) et donc plus économiques, ce qui ouvre ainsi la voie à d'autres applications de l'IA que seul un plus haut degré d'automatisation peut rendre techniquement ou économiquement viables (analyse automatisée des contacts avec les clients par TLN, par exemple). Parallèlement à la contribution directe à la transition énergétique intégrée apportée par une mise à disposition facilitée de la flexibilité et par une intégration des EnR encore mieux adaptée à la demande d'électricité, y compris à travers des petits acteurs, il est possible de dégager une plus-value supplémentaire en augmentant la demande en EnR par des conseils ciblés ou des tarifs variables.

4.2 Les prochaines actions à entreprendre pour l'IA dans le secteur de l'énergie

L'IA promet une contribution à la transition énergétique particulièrement importante là où des systèmes complexes sont déjà soumis à la pression de la numérisation et/ou disposent d'une grande quantité de données pour des performances de calcul accrues et/ou une meilleure exploitation des données. Une action précoce visant les obstacles présents dans les différents champs d'application permettra à l'avenir de mettre en œuvre la technologie de l'IA dans le secteur de l'énergie avec l'intensité nécessaire à la réussite de la transition énergétique. Les champs d'application établis devraient être renforcés et le potentiel des applications actuellement moins répandues devrait quant à lui était développé. Les exigences de transparence et d'intelligibilité des processus d'IA doivent être systématiquement rappelées, et la proportion des besoins en ressources et en énergie nécessaires à l'IA doit être mise en avant afin d'orienter positivement les débats importants et opportuns sur le développement des processus basés sur l'IA. À cet égard, c'est à la sphère politique qu'il revient de mettre en place les conditions favorables, mais également aux entreprises, dans la mesure où une gestion responsable des ressources pour le développement et l'exploitation des technologies numériques est un facteur d'image rentable.

En premier lieu, il est important que les différents acteurs favorisent individuellement le recours à une IA qui puisse contribuer à la transition énergétique intégrée. Dans le même temps, il serait également opportun de former des réseaux et de mener des projets communs. Le dialogue entre les différents acteurs et les projets collaboratifs présentent l'avantage de garantir les échanges d'expérience en matière de développement d'IA et par la même occasion de ne surtout pas perdre de vue les objectifs fondamentaux. Le dialogue peut également permettre un échange de connaissances sur l'importance des données à disposition et sur l'infrastructure numérique nécessaire (puissance de calcul) à différents projets d'IA. Il est essentiel qu'une connaissance minimale de la mise en place et de l'utilisation de l'IA se développe à toutes les étapes de la chaîne de valeur et à tous les niveaux hiérarchiques de l'entreprise. L'IA n'est pas une technologie que l'on peut classiquement intégrer dans les processus de l'entreprise par une simple décision *make or buy* de la direction. Dans la plupart des cas, il s'agit bien davantage d'un véritable projet commun qui implique la collaboration entre des experts de cette technologie et les équipes spécialisées de l'entreprise. Seuls les spécialistes des différents secteurs sont en mesure de juger si les procédés à remplacer ou à mettre en place au moyen de l'IA remplissent leur fonction respective et si les objectifs fixés sont effectivement atteints en termes qualitatifs. Dans les années à venir, l'entraînement et le développement permanents de l'IA vont redéfinir les priorités de travail et le domaine de responsabilité des équipes spécialisées.

4.2.1 Pérennisation de l'IA dans le secteur de l'énergie : une mobilisation nécessaire à tous les niveaux

Afin de créer un cadre qui donne aux acteurs de l'économie, de la recherche et de la politique des orientations quant aux mesures à prendre, différents facteurs ont leur importance. Parallèlement à l'estimation de la contribution que pourrait apporter telle ou telle recommandation d'action à la réussite de la transformation du système énergétique, la complexité de la mise en œuvre et la durée attendue de celle-ci jouent également un rôle essentiel. En outre, il est important d'identifier les acteurs impliqués par chaque mesure. Ainsi, le secteur de la recherche et le monde politique doivent se mobiliser tout autant que les entreprises du secteur.

La thématique de l'intelligence artificielle présente actuellement une très forte dynamique alors que, dans l'ensemble, les connaissances en la matière ne sont pas encore clairement constituées. Par conséquent, le secteur de l'énergie devrait prendre des mesures globales pour renforcer la compétence technique et tester la

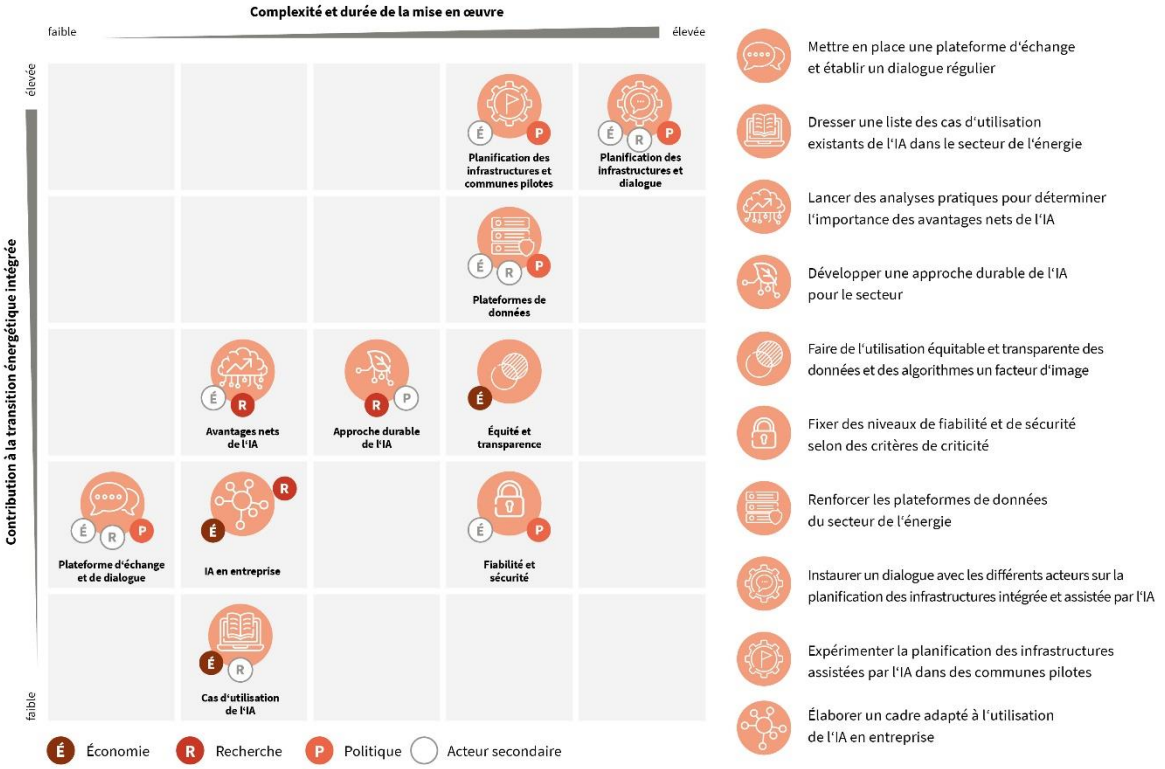

Figure 58 illustre les recommandations qui présentent un intérêt général pour l'ensemble du secteur, puis la Figure 59 présente des propositions qui doivent contribuer au développement positif des champs d'application concrets du secteur de l'énergie.

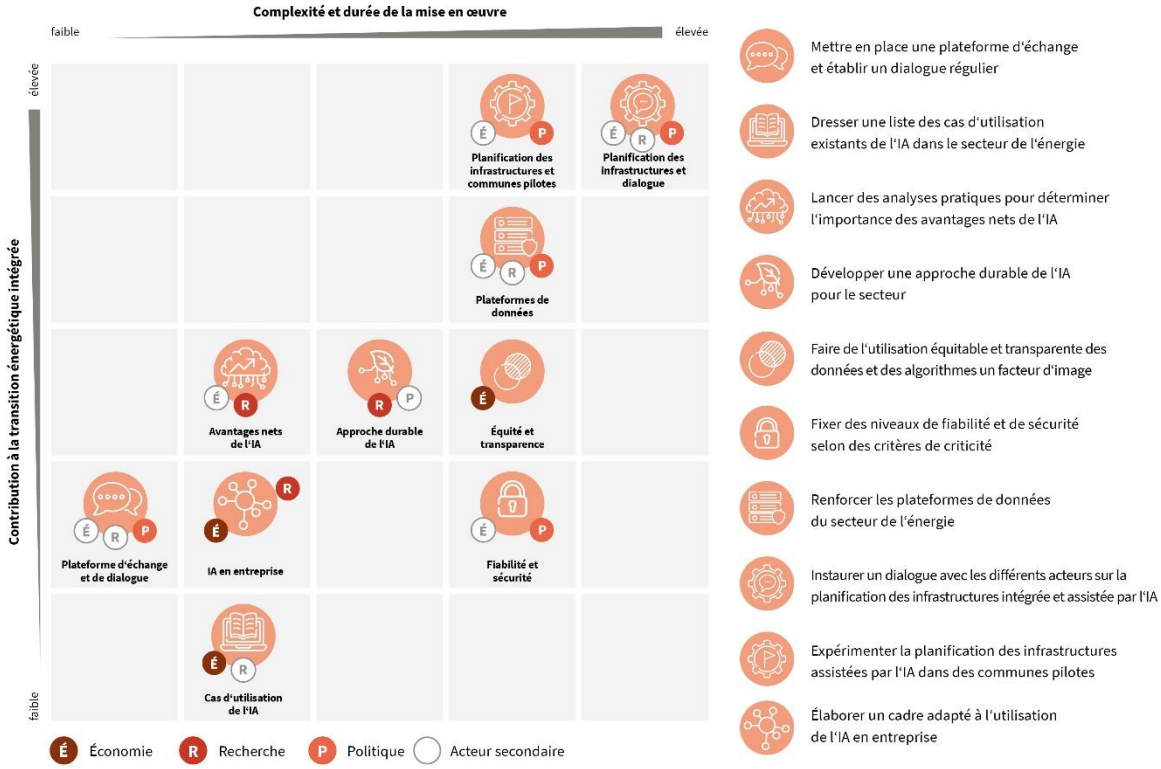

Figure 58 : classification des recommandations d'action générales[127]

A : mettre en place une plateforme d'échange et établir un dialogue régulier

Les premiers projets sur l'IA appliquée au domaine de l'énergie montrent que, outre le développement essentiel des connaissances technico-numériques, l'interconnexion des secteurs de l'énergie et du numérique est particulièrement décisive pour assurer le déploiement complet de l'intelligence artificielle. À cette fin, il convient de définir un cadre approprié dans lequel les entreprises et instituts de recherche intéressés puissent se regrouper en réseau de manière simple et efficace et échanger des informations. L'expérience des acteurs établis du secteur de l'énergie devrait y jouer un rôle tout aussi important que les nouvelles solutions de jeunes start-ups innovantes et d'experts du secteur de l'IA. En renforçant cette plateforme d'échange par des réunions virtuelles régulières, à l'occasion desquelles l'état des connaissances serait facilement mis à jour grâce à l'intervention d'invités et à des sessions questions-réponses, il est certain que le statu quo des aspects de développements pertinents en la matière sera largement diffusé.

Cette plateforme d'échange pourrait offrir un pilier supplémentaire aux Future Energy Labs existants et rendre d'autres technologies numériques également accessibles au secteur de l'énergie.

B : dresser la liste des cas d'utilisation de l'IA existants dans le secteur de l'énergie

En se basant sur les neuf champs d'application de l'IA identifiés dans le secteur de l'énergie et répartis en trois *clusters*, les cas d'utilisation concrets déjà exploités en entreprise ou en institut de recherche devraient être recensés, classés et rendus visibles. Cela permettrait aux acteurs des secteurs de l'énergie et du numérique de

[127] Seules les parties prenantes directes sont indiquées (les acteurs principaux, en couleur, et les acteurs secondaires, en blanc), bien que d'autres acteurs puissent également être impliqués.

trouver de l'inspiration pour leurs applications respectives et en outre d'échanger avec des acteurs qui utilisent déjà l'IA sous une forme donnée ou dans un but comparable au leur. Le seul recensement des cas d'utilisation devrait également s'accompagner d'une possibilité d'échange afin de renforcer les activités (cf. recommandation A). Un premier tour d'horizon a récemment été effectué par le BDEW en collaboration avec l'entreprise appliedAI. Celui-ci pourrait servir de base à un élargissement continu mené par les acteurs précités (BDEW, 2020).

- **C : lancer des analyses pratiques pour déterminer l'importance des avantages nets de l'IA**

Si, d'une part, les applications de l'IA sont souvent critiquées en raison de l'énorme consommation de ressources et d'énergie nécessaire à leur développement, leur formation et leur exploitation, on attend d'autre part beaucoup de la plus-value et des avantages qu'elles peuvent apporter pour réussir la transformation du système énergétique et respecter les objectifs climatiques. À l'aide d'une sélection d'exemples de procédés concrets, déjà en usage ou encore en phase de conception dans l'industrie ou le secteur de l'énergie, les avantages nets que représente chaque application de l'IA utilisée devraient être calculés ou le cas échéant estimés. Ainsi, à l'aide d'un scénario de référence, on détermine par exemple la valeur ajoutée, comme le potentiel d'économies en CO_2, et on la compare avec la consommation accrue de ressources et d'énergie. Outre ces aspects mesurables en termes quantitatifs, il convient également de prendre en compte des facteurs qualitatifs, tels que la meilleure intégration des énergies renouvelables par le recours à l'IA, la réduction de la puissance de réglage nécessaire ou encore l'efficacité accrue du travail. Les résultats de ces premières évaluations peuvent être progressivement intégrés dans un projet de classification préliminaire des utilisations de l'IA en termes d'avantages nets d'un point de vue énergétique. Compte tenu de l'importance considérable et durable que l'IA devrait à l'avenir revêtir en ce qui concerne les méthodes de travail et les processus de calcul de tous les secteurs, il est nécessaire de mettre au point un système de calcul sous forme de processus continu et dynamique à développer en permanence. Ce travail devrait être entrepris sans attendre en coopération avec la recherche et la sphère politique.

- **D : développer une approche durable de l'IA pour le secteur**

Dans le cadre d'une série d'ateliers regroupant les acteurs des secteurs de l'énergie et du numérique, il convient de développer une approche durable pour la mise en œuvre de l'IA dans le secteur de l'énergie. Afin de prendre en compte d'éventuels facteurs d'influence, des projets pilotes doivent être menés au préalable, réduisant la complexité de l'approche (cf. recommandation C). Dans un premier temps, il convient de désigner un cercle d'experts indépendants (procédure de nomination ou de candidature), noyau dur du groupe de travail, qui, à travers des échanges réguliers, enrichira le débat de diverses considérations liées à l'environnement, l'économie, l'innovation, la réglementation et la société autour de l'idée d'une IA transparente et durable pour le secteur de l'énergie. Un tel groupe de travail devrait être mis en place immédiatement afin d'orienter en conséquence et au plus tôt les applications de l'IA déjà en cours de développement ou de mise en œuvre et d'accompagner efficacement les projets pratiques. Le politique devrait également être représenté dans ce groupe consultatif et pourrait agir en tant qu'initiateur.

- **E : faire de l'utilisation équitable et transparente des données et des algorithmes un facteur d'image**

Les exigences d'équité et de transparence posées aux modèles d'IA doivent être prises en compte et intégrées par les développeurs et les entreprises qui utilisent l'IA. Pour cela, il est nécessaire d'établir un cadre et des procédures qui soient également compréhensibles et applicables par des non-experts en informatique. Les initiatives existantes en la matière, telles que la feuille de route pour la normalisation de l'IA sous la direction du DIN ou le livre blanc sur l'IA au niveau européen, fournissent déjà un socle solide dans lequel les acteurs

des secteurs de l'énergie et du numérique devraient s'investir activement. Afin de garantir leur intelligibilité, il convient de définir clairement ce que les différentes applications apportent concrètement et au moyen de quel procédé. Il sera également important pour les entreprises de comprendre que des conditions d'équité et de transparence dans le traitement des données et des algorithmes constituent un argument de vente vis-à-vis de leurs interlocuteurs bien plus qu'une limitation, et donc de les promouvoir de leur propre initiative. Une analyse d'exemples de bonnes pratiques, y compris issues d'autres secteurs, associée à un dialogue avec les différents acteurs pourrait servir de point de départ à la définition d'un ensemble de valeurs communes pour le secteur de l'énergie au niveau national et européen.

- **F : fixer des niveaux de fiabilité et de sécurité selon des critères de criticité**

Le recours à l'IA dans le cadre d'applications critiques pour le système énergétique place la fiabilité et la sécurité de son fonctionnement au cœur des préoccupations. Dans le même temps, les procédures de certification complexes réclamées par certains peuvent rendre l'utilisation de l'IA fastidieuse et donc peu attrayante pour un grand nombre d'utilisateurs. Il convient ici de saluer les approches pondérées visant à catégoriser les cas d'utilisation en fonction du niveau de réglementation qu'ils exigent, comme la pyramide de criticité de la Commission d'éthique des données[128]. En raison de leur criticité, les applications de l'IA dans le secteur de l'énergie devraient toujours être évaluées par un organisme central et cette évaluation devrait permettre de définir des exigences en matière de certification en collaboration avec les institutions compétentes. Un tel organisme pourrait alors jouer le rôle d'instance centrale de certification des applications de l'IA dans le secteur de l'énergie. En raison de l'importance systémique élevée du secteur de l'énergie et de l'utilisation d'algorithmes à la fois exigeants d'un point de vue technique et en rapide évolution, la complexité de ce processus est considérée comme élevée. Dans le cas d'applications moins critiques, il est possible de déroger aux exigences de certification, mais l'intelligibilité doit malgré tout être garantie. Les procédures de certification peuvent à long terme garantir la confiance dans ces systèmes complexes et donc l'utilisation de ces derniers par tous les acteurs du secteur de l'énergie, ce qui témoigne également de leur contribution à la transition énergétique intégrée, bien qu'elle soit de nature plutôt indirecte.

- **G : renforcer les plateformes de données du secteur de l'énergie**

En général, les données nécessaires ne sont pas toujours en libre accès. Des données externes peuvent en partie être achetées auprès de fournisseurs de données (p. ex. données météorologiques) ou bien récupérées à partir de plateformes de données ouvertes et de banques de données soumises à publication. Toutefois, les données anonymisées et pseudonymisées, comme celles des gestionnaires d'infrastructures de réseau, ne sont généralement pas accessibles et utilisables par des tiers pour entraîner l'IA et développer de nouveaux modèles commerciaux.

Pour diverses raisons (clarification de la légitimité, maintien des avantages concurrentiels, etc.), il existe également dans d'autres branches du secteur de l'énergie une réserve, en partie compréhensible, à l'égard de la mise à disposition « complètement libre » des données. De nombreux acteurs voient de nouveaux et importants marchés dans l'acquisition, la valorisation et le commerce des données.

Une infrastructure de données performante et compétitive est nécessaire pour avoir accès à des données de haute qualité pour la mise en œuvre de l'IA et en faire un usage sûr et transparent. Dans le cadre du projet de

[128] La pyramide de criticité répartit les applications en cinq niveaux et leur associe des mesures : 1) potentiel de dommages nul ou faible, 2) potentiel de dommages peu élevé, 3) potentiel de dommages moyen/certain, 4) potentiel de dommages important, 5) potentiel de dommages inacceptable. Plus d'informations sur https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/it-digitalpolitik/gutachten-datenethikkommission.pdf?__blob=publicationFile&v=6

cloud européen GAIA-X, cette ambition est portée par des entreprises, mais aussi des administrations publiques et des organisations de toutes tailles et toutes orientations. À travers le renforcement de la confiance dans la souveraineté des données (utilisation de normes d'interopérabilité, stockage des données sur le territoire national), une acquisition plus rapide auprès des administrations ou encore un cadre juridique sûr pour les groupes cibles, ce type d'initiatives peut non seulement diminuer les obstacles infrastructurels aux applications de l'IA, mais aussi, à long terme, les préoccupations de la société (comme la protection des données) et les difficultés rencontrées par les utilisateurs (comme la compréhension de procédés complexes). Le potentiel d'optimisation élevée du secteur de l'énergie, dû à l'interconnexion de ses acteurs à toutes les étapes de la chaîne de valeur, montre la nécessité d'adopter une approche interopérable et de pouvoir agréger des données. Néanmoins, certains questionnements critiques liés à l'économie des données doivent également être abordés. Outre les prérequis en matière d'infrastructures, des possibilités équitables et transparentes d'échange de données sont également nécessaires dans le cadre à la fois concurrentiel et réglementé du secteur de l'énergie. Ce projet devrait être renforcé afin de pouvoir exploiter d'autres potentiels d'application de l'IA dans le secteur de l'énergie.

- **H : instaurer un dialogue avec les différents acteurs sur la planification des infrastructures intégrée et assistée par l'IA**

À l'aide de procédés assistés par l'IA, la planification des infrastructures basée sur l'exploitation optimisée des systèmes existants peut devenir nettement plus efficace (p. ex. SIG assisté par l'IA pour améliorer la planification du tracé). On observe une augmentation constante des exigences liées aux infrastructures physiques des réseaux (réseaux d'électricité, de chauffage, de gaz et de transport), mais également aux infrastructures numériques correspondantes. Et c'est notamment la rencontre des infrastructures physiques et numériques qui rend l'optimisation des réseaux d'énergie et d'information de demain de plus en plus complexe. Les facteurs sociaux (comme la proximité des installations EnR) ne doivent pas non plus être négligés.

À l'heure actuelle, la planification des infrastructures implique déjà souvent des calculs informatiques. En raison de la nécessité d'une planification coordonnée de la transition énergétique intégrée et des besoins en infrastructures numériques qui l'accompagnent, le nombre de paramètres à prendre en compte et donc la complexité de la planification continueront à augmenter. Ainsi, il faut prendre en compte la réglementation propre à chaque Land ainsi que la situation géographique ou encore des éléments liés à la planification à long terme, tels que des programmes de soutien structurel. La planification des infrastructures n'est donc en aucun cas une tâche relevant du seul secteur de l'énergie : elle nécessite une approche intégrée impliquant divers secteurs d'infrastructure (électricité, bâtiment, mobilité, construction, etc.) le long de toute la chaîne de valeur. Afin que l'IA puisse soutenir la mise en œuvre de projets aussi complexes, il est au préalable nécessaire que tous les acteurs concernés partagent une compréhension commune. Le dialogue indispensable entre représentants des différents secteurs en collaboration avec des experts de l'IA devrait tout d'abord être fortement axé sur l'échange et être abordé d'emblée comme un processus. La politique et la recherche ainsi que l'industrie devraient être impliquées afin de trouver des solutions techniquement réalisables, politiquement judicieuses, économiquement viables à long terme et socialement acceptables.

L'objectif serait de rassembler les exigences et procédés complexes de tous les secteurs d'infrastructure concernés et de développer une solution commune servant de base à la suite de la planification. La priorité porte ici sur la compatibilité et l'orientation générales au niveau national, même si une perspective européenne doit également être adoptée. Toutefois, avant de pouvoir mettre en place au niveau national un tel projet de planification des infrastructures assistée par l'IA, il est nécessaire de le faire valider et d'en préciser les contours (cf. recommandation d'action I).

I : expérimenter la planification des infrastructures assistée par l'IA dans des communes pilotes

Afin de mettre en œuvre concrètement le potentiel de la planification des infrastructures assistée par l'IA, il est nécessaire de trouver un moyen de faire passer la planification de la théorie à la pratique. Dans un premier temps, plusieurs projets pilotes peuvent être lancés en parallèle dans différentes communes sur la base des mesures élaborées dans le cadre du dialogue entre les différents acteurs. De cette manière, il sera possible de jeter les bases d'une future planification des infrastructures intégrée, transsectorielle et assistée par l'IA. Une large dispersion des communes pilotes en termes de taille, de situation géographique et d'intérêt économique garantira la prise de compte de tous les facteurs nécessaires à la validation et à la définition précise du projet (cf. recommandation H) pour une mise en œuvre au niveau national. L'IA peut ici assister l'exécution des mesures hautement complexes afin de réussir la transition énergétique intégrée. Les conclusions tirées de ces projets pilotes serviront ensuite de base à la formulation de recommandations pour la mise en œuvre d'une planification des infrastructures optimisée et assistée par l'IA dans toute l'Allemagne.

J : élaborer un cadre adapté à l'utilisation de l'IA en entreprise

La disposition des entreprises à s'impliquer est une condition préalable essentielle à la réussite de la mise en œuvre de l'IA pour la transition énergétique. Dans le paysage très hétérogène des entreprises du secteur de l'énergie, il est tout d'abord nécessaire de répertorier et d'évaluer les processus d'entreprise au cas par cas quant à leurs caractéristiques et leurs possibilités d'automatisation, afin de pouvoir ensuite identifier les stratégies d'optimisation possibles de manière ciblée. Les exemples actuels montrent que l'IA est souvent utilisée dans des processus qui promettent de grands avantages en raison de leur potentiel fondamental de numérisation (cf. pression de l'innovation), mais qu'il manque des critères généraux et/ou internes pour la sélection des champs d'application. Si ce genre de technologies innovantes laissent de toute façon un certain nombre de questions en suspens quant à leurs avantages comparés au capital à investir, la probabilité d'une mise en œuvre réussie de l'IA peut néanmoins être influencée positivement par une approche systémique ciblée.

Les questions relatives aux données actuelles et futures (quantité et/ou qualité), à la complexité de l'algorithme à former (conception et exploitation), aux ressources humaines (capacité et volonté), aux éventuels effets rebonds (p. ex. en raison d'une consommation d'énergie plus élevée) ou encore à la sécurité des processus au regard de leur délégation parfois totale à des machines (niveau de confiance), sont des exemples parmi d'autres qui illustrent clairement l'importance capitale de procédures de test standardisées dans la phase de préparation à l'introduction de l'IA. Ainsi, les entreprises au stade de la sélection devraient recueillir l'avis d'experts et, au cours de l'introduction, se forger elles-mêmes progressivement une idée des critères à adopter pour étayer leurs décisions. Cela garantit ainsi l'implication de la direction tout en instaurant une confiance dans la démarche elle-même. L'encadré ci-dessous détaille quelques mesures importantes pour préparer les entreprises à l'utilisation de l'IA.

- **Préparer les entreprises à l'IA sur le plan technique et organisationnel**

  La mise en place et l'exploitation de l'IA dans le secteur de l'énergie requiert de la direction de l'entreprise un renforcement général des compétences des employés, par exemple en adoptant une vision des processus et des applications fondée sur les données. Outre les spécialistes de l'IA (ingénieurs de données/scientifiques de données), les collaborateurs situés à l'interface entre l'IA et le secteur de l'énergie doivent également être formés et mobilisés. Condition préalable, la direction de l'entreprise doit promouvoir une culture de l'expérimentation et permettre de nouvelles approches.

- **Mettre en place des méthodes de sélection analytique pour le déploiement de l'IA dans l'entreprise**

  Au cours de la sélection d'un processus pour la potentielle utilisation de l'IA, les entreprises manquent à l'heure actuelle de critères généraux et/ou internes. Les questions initiales relatives aux données actuelles et futures (quantité et/ou qualité), à la complexité des méthodes à appliquer, aux ressources humaines (capacité et volonté) et aux éventuels effets rebonds doivent être examinées systématiquement avant de prendre une décision, toujours en comparant les différentes approches possibles.

- **Intégrer des ambassadeurs de l'IA en l'entreprise en qualité de médiateurs**

  L'intégration d'ambassadeurs de l'IA peut être un moyen approprié pour identifier les potentiels de l'IA dans l'entreprise, disposer d'experts en informatique et mettre en place le cadre nécessaire à l'utilisation de l'IA dans les différents services de l'entreprise. La création de ce rôle de médiateur favorise l'identification des potentiels de l'IA, soutient la planification opérationnelle en entreprise et permet de renforcer la confiance dans cette technologie.

- **Dresser une liste de mesures pour l'acquisition de compétences en IA**

  Le recrutement ou la formation en interne d'experts informatiques, ou encore l'externalisation des processus basés sur l'IA font partie des outils dont disposent les entreprises pour développer et/ou intégrer des compétences en IA. Une liste de mesures, établie par exemple par les fédérations sectorielles, devrait aider les entreprises à faire le bilan de leurs possibilités d'acquisition de compétences en IA. Il conviendrait de distinguer les mesures en fonction de catégories telles que le domaine d'utilisation de l'IA, la taille de l'entreprise, l'orientation stratégique ou la structure du personnel. Sur cette base, les entreprises pourraient définir leurs propres lignes directrices, adaptées à leurs contraintes spécifiques, en vue du développement des connaissances en IA, et ensuite sélectionner des mesures adaptées à leur situation. Cette démarche vise à présenter aux entreprises toutes les possibilités d'acquisition de connaissances spécialisées et dans le même temps à garantir une procédure standardisée grâce à une liste de mesures propres au secteur. Par cette approche, les fédérations sectorielles et le monde politique peuvent contribuer au transfert des connaissances, à la collecte d'exemples de bonnes pratiques ainsi qu'au renforcement de la confiance dans l'IA.

- **Mettre les connaissances individuelles à la disposition de tous les collaborateurs de l'entreprise grâce à un système expert**

  Grâce à l'apprentissage automatique (apprentissage par renforcement) et au développement des systèmes experts, les connaissances jusque-là individuelles peuvent être rendues plus facilement accessibles et exploitables pour l'ensemble des collaborateurs (notamment les professionnels peu expérimentés). Les solutions et recommandations d'action issues de la base de connaissances ainsi constituée sont déterminées par des relations si-alors permettant à l'IA de tirer elle-même des conclusions tout en expliquant à l'utilisateur la logique qui les sous-tend. Dans la phase de développement, les collaborateurs et leurs équipes appelés à travailler à partir des connaissances des systèmes d'IA doivent être étroitement impliqués dès le début afin de se familiariser avec les capacités du système.

4.2.2 Convertir les défis en opportunités

Outre les recommandations de portée générale pour l'économie, la politique et la recherche, les résultats de l'analyse pointent également des besoins d'action spécifiques à chaque champ d'application. Ceux-ci sont souvent de nature technique (p. ex. données disponibles en quantité ou qualité insuffisante) et concernent avant tout la recherche appliquée. Le potentiel d'optimisation (nécessaire) est particulièrement élevé en matière de réseaux, même s'il subsiste des obstacles techniques, économiques, réglementaires et sociaux à sa concrétisation. Suivant la même logique que la

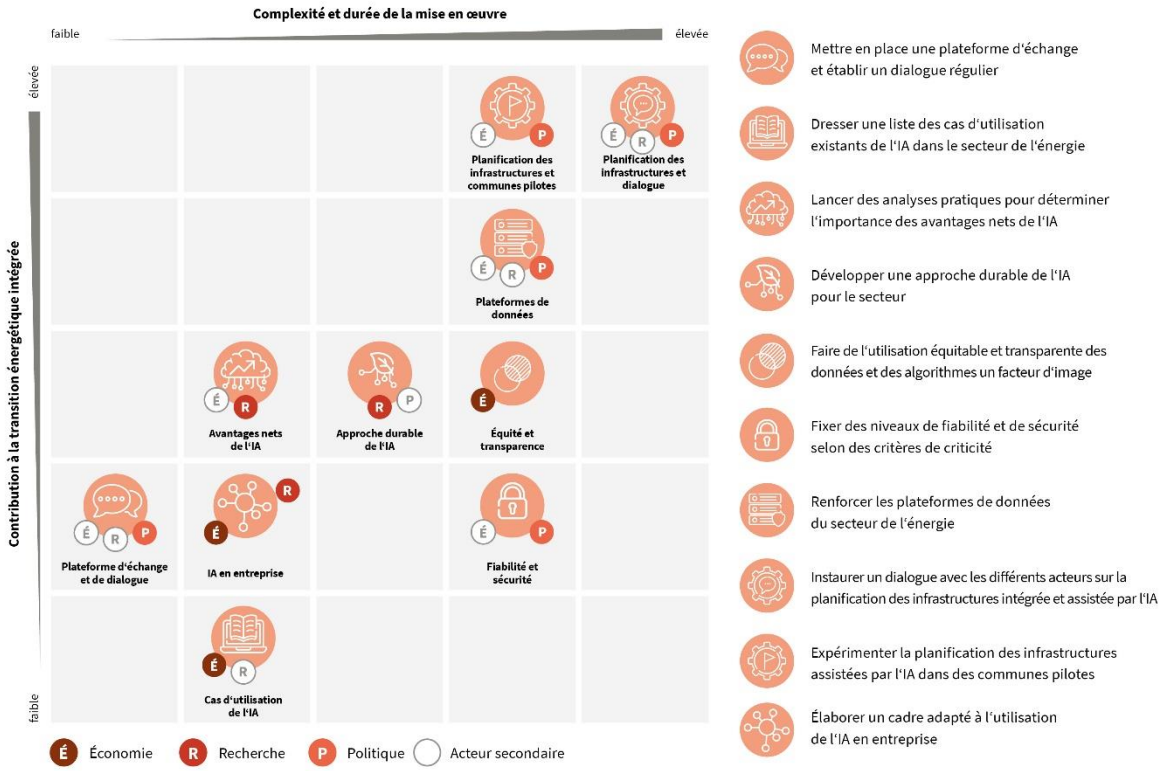

Figure 58, la Figure 59 présente une classification des recommandations relatives aux défis identifiés dans le rapport en termes de complexité et de durée de la mise en œuvre et de contribution à la transition énergétique intégrée.

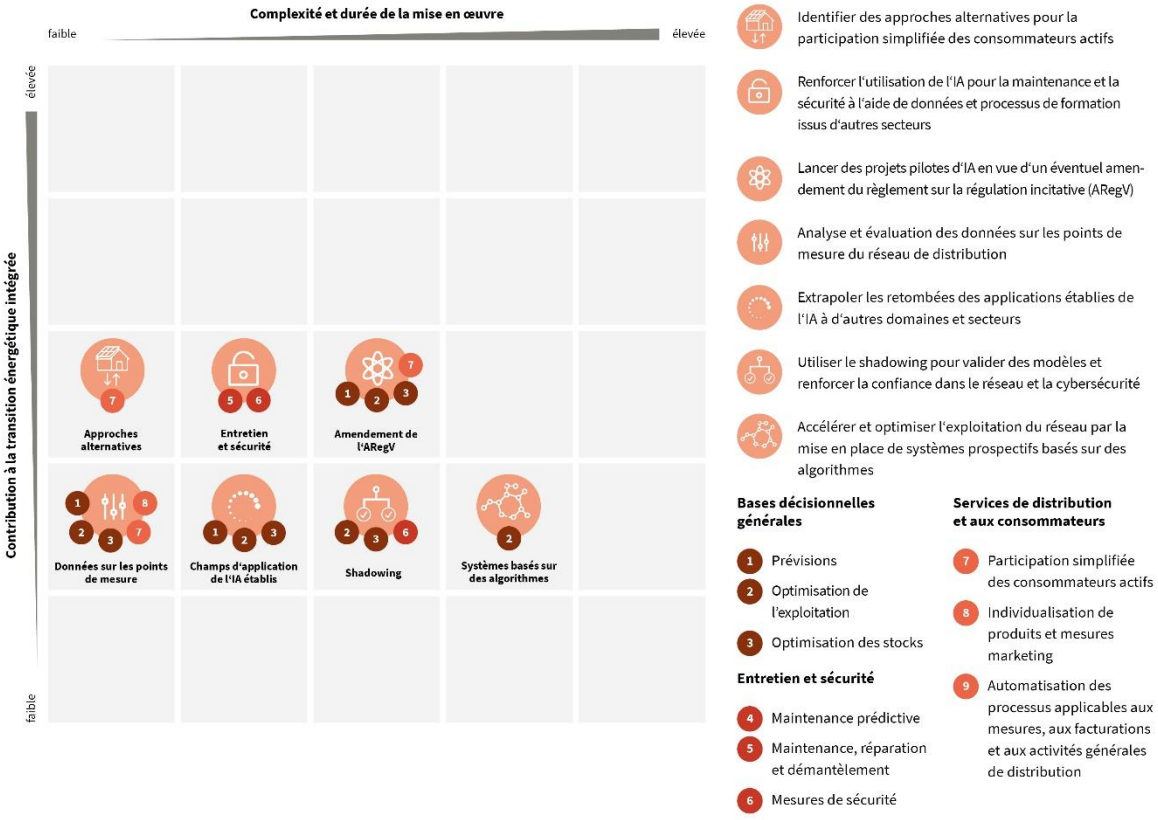

Figure 59 : classification des recommandations d'action spécifiques à chaque champ d'application[129]

[129] Seuls les champs d'application les plus pertinents sont indiqués, bien que d'autres champs d'application puissent également être concernés.

Renforcer les champs d'application établis et développer le potentiel des applications actuellement moins répandues

À l'avenir, l'IA contribuera de manière considérable à accroître l'efficacité du secteur de l'énergie en améliorant la qualité des prévisions et en optimisant la distribution physique et numérique de l'énergie et des données. Grâce au recours à l'IA, l'intégration des EnR au système énergétique peut être améliorée tant au niveau du réseau que de la production. La précision accrue des prévisions, qui prennent en compte de manière simultanée et continue de nombreux paramètres comme les données météorologiques ou les signaux de prix de différents marchés et composantes de prix, optimise le rapport coûts-avantages, par exemple pour le négoce d'électricité. Aussi s'agit-il moins d'une activité complémentaire que d'une véritable nécessité pour pouvoir refléter au plus juste la dynamique croissante des marchés de l'énergie induite par la tendance de décentralisation. Dans ce contexte, la plupart des entreprises du secteur de l'énergie utilisent déjà des applications de l'IA dans le domaine du négoce algorithmique.

Il existe également un fort potentiel d'optimisation en ce qui concerne l'exploitation du réseau d'électricité, laquelle pose un défi croissant dû à l'intégration d'un grand nombre de petits producteurs et de consommateurs flexibles, tels que les pompes à chaleur, et de la recharge optimisée d'un vaste parc de véhicules électriques. Le recours à différentes formes d'IA sera très utile pour contrôler ces systèmes alors beaucoup plus complexes, qui devront satisfaire simultanément aux exigences variées de différents groupes d'utilisateurs. Ces formes d'IA comprennent les RNA pour les prévisions quantitatives des résultats à venir, les analyses de sensibilité pour le positionnement optimal des points de mesure par simulation, l'utilisation du TLN pour l'identification et la classification des besoins des clients ou bien la classification des composants défectueux et non défectueux des installations. La disponibilité et l'utilisabilité des données sont des prérequis à toutes ces applications de l'IA.

- **K : extrapoler les implications des champs d'applications établis de l'IA dans d'autres domaines et secteurs**

L'analyse ne révèle pas seulement le potentiel élevé des champs d'application du *cluster* « bases décisionnelles générales » (**prévisions (1)**, **optimisation de l'exploitation (2)** et **optimisation des stocks (3)**), mais également la diversité des cas d'utilisation déjà établis ainsi que les obstacles techniques, économiques, réglementaires et sociaux relativement faibles existant dans ce domaine. Il serait intéressant d'extrapoler les implications de la mise en œuvre de l'IA dans d'autres domaines du secteur de l'énergie ou dans d'autres secteurs, ce qui est déjà une pratique largement répandue dans l'industrie. Dans le cadre d'une série d'ateliers avec des représentants de l'industrie, il conviendrait d'identifier des analogies, de partager les expériences des cas d'utilisation du *cluster* « bases décisionnelles générales » et d'ouvrir la voie à leur mise en œuvre dans d'autres domaines. Une liste des cas d'utilisation pourrait alors s'avérer utile (cf. recommandation B). La contribution à la transition énergétique et la complexité augmentent respectivement avec la disponibilité des données et le niveau de détail des cas d'utilisation établis. Des mesures incitatives doivent être mises en place, en particulier pour les entreprises, afin que ces dernières soient elles aussi disposées à partager des informations concernant leurs propres procédés et produits.

- **L : renforcer l'utilisation de l'IA pour la maintenance et la sécurité à l'aide de données et de méthodes d'entraînement issues d'autres secteurs**

Dans les champs d'application **maintenance, réparation et démantèlement (5)** et **mesures de sécurité (6)**, le manque de données induit une utilisation commerciale de l'IA plus faible, bien que l'automatisation des processus entraînerait une augmentation considérable de l'efficacité. Toutefois, les données nécessaires à l'identification de processus défaillants et de situations critiques font actuellement toujours défaut.

Afin de remplacer ces données et méthodes manquantes, notamment pour la formation des IA, les entreprises concernées devraient se tourner vers d'autres secteurs ayant des processus similaires pour compléter ou remplacer leurs propres méthodes (cf. recommandation M). Les entreprises ayant déjà développé et mis en œuvre des méthodes d'IA peuvent notamment servir de modèles.

- **M : identifier des approches alternatives pour la participation simplifiée des consommateurs actifs**

La **participation simplifiée des consommateurs actifs (7)** devrait apporter une contribution tout aussi importante à la transition énergétique intégrée, bien qu'on ne puisse espérer une mise en œuvre plus active qu'à moyen terme en raison du manque actuel de données. En effet, l'infrastructure technique de collecte des données (IdO, passerelles de compteurs intelligents) est encore en cours de déploiement tandis que l'utilisation des données d'entreprise ou à caractère personnel est soumise légitimement à des exigences restrictives en matière de sécurité et de protection. Les plateformes de services et d'échange de données (systèmes ouverts et fermés), qui mettent à disposition des données tout en respectant les droits à l'autodétermination de leurs propriétaires, se trouvent encore aujourd'hui en phase de conception ou doivent être testées dans le cadre de projets de démonstration. Les services énergétiques intelligents, qui s'appuient sur les données des entreprises et des clients finaux, promettent ici une plus-value. D'une part, leur mise en place devrait améliorer l'efficacité énergétique aussi bien dans l'industrie et le tertiaire que pour les clients finaux, et d'autre part, ces services devraient favoriser une utilisation optimisée des installations de production décentralisées, des systèmes de stockage et des applications énergétiques flexibles. Dans un premier temps, il est nécessaire d'identifier des démarches alternatives de collecte des données qui satisfassent aux exigences de fiabilité des données du secteur de l'énergie. Cette première étape, moins complexe, consistant à identifier les normes, interfaces et plateformes existantes, peut montrer la voie et conduire à court terme à une meilleure compréhension des données nécessaires à la numérisation du système énergétique. Si les approches alternatives identifiées peuvent être mises en œuvre avec succès, leur réussite pourra en outre fournir une contribution élevée, voire très élevée, à la transition énergétique intégrée, bien que la complexité du projet augmente considérablement en conséquence.

L'IA pour l'exploitation du réseau

À moyen terme, la diffusion croissante de capteurs et de systèmes de mesure ainsi que le déploiement des compteurs intelligents entraîneront une augmentation de la quantité de données disponibles pour la formation des applications de l'IA en vue de l'automatisation de l'exploitation du réseau. En ce qui concerne le pilotage des réseaux de distribution et de transport, il existe déjà des logiciels et des outils de planification adaptés pouvant être exploités avec une quantité de données relativement faible. Ainsi, la connaissance de l'état du réseau en basse et moyenne tension, fortement pénétré par de nouveaux points de production, de stockage et de consommation, devrait à l'avenir être meilleure. Ici, des données de mesure prises en quelques points critiques sont souvent suffisantes pour déterminer l'état du réseau. En outre, l'amélioration de l'équipement en capteurs améliorera les algorithmes basés sur les données de ces derniers.

- **N : analyse et évaluation des données de mesure sur l'état du réseau de distribution**

Les compteurs intelligents jouent un rôle clé dans la mise à disposition des données en basse tension. La compatibilité des systèmes de mesure avec les services à valeur ajoutée et leur matériel ainsi que l'offre de fonctions étendues, comme la mise à disposition de valeurs de mesure à une fréquence élevée, sont des exigences centrales qu'il convient de promouvoir davantage. En ce qui concerne la **participation simplifiée des consommateurs actifs (7)**, l'intégration rapide des petites installations de production, des consommateurs d'électricité flexibles et des systèmes de stockage est particulièrement importante dans le cadre de la MsbG. Toutes ces installations doivent être équipées de dispositifs de mesure appropriés le plus rapidement possible.

Si la répartition des systèmes de mesure entre consommateurs et producteurs est déjà définie par la MsbG, l'installation de dispositifs de mesure et de capteurs dans le réseau de distribution nécessite une analyse préalable pour identifier les nœuds de réseau pertinents. Les dépenses liées à l'installation de systèmes de mesure sont à mettre en regard des économies découlant notamment du *redispatching* des installations de production et des consommateurs flexibles. À cet égard, il est logique d'inciter rapidement les gestionnaires de réseau à installer des systèmes de mesure pour collecter des données et déterminer l'état du réseau.

- **O : utiliser le *shadowing* pour la validation de modèles et ainsi renforcer la confiance dans le réseau et la cybersécurité**

Une opération temporaire de test menée en parallèle et confiant à l'IA les processus existants peut servir à valider les modèles et renforcer la confiance dans les systèmes numériques. Par exemple, il est possible de simuler des mesures d'élimination des goulots d'étranglement ou d'augmentation des capacités d'utilisation du réseau électrique à l'aide d'un jumeau numérique, sans devoir réellement mettre en œuvre ces mesures. En permettant l'identification précoce des états critiques du réseau, le recours à cette méthode dite de *shadowing* peut également servir à éviter les cyberattaques sur des infrastructures menaçant la sécurité de l'approvisionnement.

La conduite d'une opération parallèle de test est ici particulièrement pertinente en raison du manque de données liées à des processus défaillants et à des attaques. Afin de permettre un recours généralisé au *shadowing* pour garantir la sécurité du système, des projets pilotes servant de référence doivent donc être lancés rapidement. Pour cela, il est avant tout nécessaire de mener une analyse complexe des processus et des infrastructures système pour ensuite pouvoir contribuer indirectement à la transition énergétique intégrée en renforçant la sécurité des systèmes.

- **P : optimiser l'exploitation du réseau à l'aide de systèmes prospectifs basés sur des algorithmes**

L'attention se porte aujourd'hui sur les avantages d'une approche de la gestion de la congestion davantage basée sur le marché (notamment en raison de l'ouverture de marchés régionaux de services de flexibilité). En matière de pilotage de réseau, les mesures de suivi basées sur l'IA et la gestion de l'injection assistée par l'IA sont confrontées à des obstacles à l'investissement. Des redevances de réseau variables peuvent ici créer des incitations supplémentaires pour optimiser l'exploitation du réseau, mais la complexité du cadre réglementaire a jusqu'à présent compliqué la recherche d'une solution. Une solution à ce dilemme réglementaire peut passer par un recours accru aux systèmes basés sur des algorithmes à des fins de prévision et d'anticipation pour une gestion préventive des goulots d'étranglement.

- **Q : lancer des projets pilotes d'IA en vue d'un éventuel amendement du règlement sur la régulation incitative (ARegV)**

En ce qui concerne le cadre d'investissement des réseaux de distribution, les projets « vitrines » sont à privilégier. En effet, ces projets pilotes peuvent être utilisés pour déterminer à l'avance si un déploiement plus large de l'IA entraînera par exemple une réduction des coûts pour les gestionnaires de réseau. En se basant sur ces résultats, l'autorité de régulation peut ainsi prendre des décisions précises au cas par cas quant à l'homologation des prix dans la régulation des réseaux. Grâce aux outils d'IA testés dans le cadre des projets pilotes, les GRD disposeront de nouvelles possibilités, déjà éprouvées sur le terrain, pour recenser plus intelligemment les injections et les soutirages décentralisés et les mettre au service du réseau. Bien qu'un amendement de l'ARegV en ce sens soit de nature très complexe, l'optimisation de l'exploitation du réseau est particulièrement importante pour la transformation décentralisée du système énergétique. Des mesures d'incitation au recours à l'IA peuvent accélérer la numérisation du secteur de l'énergie et ainsi faire avancer la transition énergétique intégrée.

À propos de la plateforme

Avec la mise en œuvre de la transition énergétique en France et en Allemagne, les deux pays se sont en effet engagés dans une transformation profonde de leurs systèmes énergétiques. C'est dans le but de renforcer une approche européenne que les agences de l'énergie française, l'Agence de la transition écologique – ADEME - et allemande, la Deutsche Energie-Agentur – dena -, réalisent cette plateforme énergétique commune.

La création de cette plateforme a été décidée par le conseil des ministres franco-allemand en 2014. Les deux agences nationales de l'énergie ont alors signé un mémorandum de coopération pour sa mise en œuvre.

L'objectif important de cette collaboration consiste à développer des projets concrets de coopération contribuant à un approvisionnement énergétique durable – avec des partenaires issus des administrations, des entreprises, des associations et fédérations professionnelles, des milieux scientifiques ou des ONG des deux pays. Les thèmes prioritaires de coopération portent sur l'efficacité énergétique, les réseaux intelligents, l'hydrogène, les bâtiments, l'intelligence artificielle et la mobilité. Ces projets auront pour ambition de proposer des solutions communes aux défis énergétiques actuels – et serviront de référence à des approches nationales.

Les projets communs issus de la plateforme constituent une excellente opportunité pour servir de modèle pour d'autres coopérations européenne. L'atteinte des objectifs énergétiques et climatiques de l'UE, durablement et à moindre coût, nécessite en effet la mobilisation de tous les Etats membres.

www.d-f-plattform.de/fr

Deutsch-Französische Energieplattform
Plateforme énergétique franco-allemande

Liste des figures

Figure 1 : évaluation générale des champs d'application 9

Figure 2 : classification des recommandations d'action générales 12

Figure 3 : classification des recommandations d'action spécifiques à chaque champ d'application 14

Figure 4 : les neuf champs d'application de l'IA dans le réseau de valeur du secteur de l'énergie 22

Figure 5 : exemple de processus du champ d'application « prévisions » (production et négoce) 24

Figure 6 : exemple de processus du champ d'application « prévisions » (réseaux) 26

Figure 7 : exemple de processus du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (production et négoce) 28

Figure 8 : exemple de processus du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (réseaux) 30

Figure 9 : exemple de processus du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (production et négoce) 32

Figure 10 : exemple de processus du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (réseaux) 33

Figure 11 : exemple de processus du champ d'application « maintenance prédictive » 34

Figure 12 : exemple de processus du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement » 36

Figure 13 : exemple de processus du champ d'application « mesures de sécurité » 37

Figure 14 : exemple de processus du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » 39

Figure 15 : exemple de processus du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » 41

Figure 16 : exemple de processus du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution » 44

Figure 17 : évaluation technique du champ d'application « prévisions » 51

Figure 18 : évaluation technique du champ d'application « optimisation de l'exploitation » 52

Figure 19 : évaluation technique du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » 53

Figure 20 : évaluation technique du champ d'application « maintenance prédictive » 55

Figure 21 : évaluation technique du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement » 56

Figure 22 : évaluation technique du champ d'application « mesures de sécurité » 57

Figure 23 : évaluation technique du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » 58

Figure 24 : évaluation technique du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » 59

Figure 25 : évaluation technique du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution » 60

Figure 26 : classification chronologique et économique des champs d'application 62

Figure 27 : évaluation économique du champ d'application « prévisions » 68

Figure 28 : évaluation économique du champ d'application « optimisation de l'exploitation » 69

Figure 29 : évaluation économique du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » 71

Figure 30 : évaluation économique du champ d'application « maintenance prédictive » 72

Figure 31 : évaluation économique du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement » 73

Figure 32 : évaluation économique du champ d'application « mesures de sécurité » 74

Figure 33 : évaluation économique du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » 75

Figure 34 : évaluation économique du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » 77

Figure 35 : évaluation économique du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution » 78

Figure 36 : les trois piliers de l'analyse réglementaire 81

Figure 37 : méthodologie d'évaluation des neuf champs d'application 82

Figure 38 : triangle de la collecte et de la réutilisation des données 86

Figure 39 : évaluation réglementaire du champ d'application « prévisions » 96

Figure 40 : évaluation réglementaire du champ d'application « optimisation de l'exploitation » 99

Figure 41 : évaluation réglementaire du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » 103

Figure 42 : évaluation réglementaire du champ d'application « maintenance prédictive » 106

Figure 43 : évaluation réglementaire du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement » 108

Figure 44 : évaluation réglementaire du champ d'application « mesures de sécurité » 110

Figure 45 : évaluation réglementaire du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » 112

Figure 46 : évaluation réglementaire du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » 114

Figure 47 : évaluation réglementaire du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution » 117

Figure 48 : évaluation sociale du champ d'application « prévisions » 123

Figure 49 : évaluation sociale du champ d'application « optimisation de l'exploitation » 124

Figure 50 : évaluation sociale du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » 125

Figure 51 : évaluation sociale du champ d'application « maintenance prédictive » 126

Figure 52 : évaluation sociale du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement » 127

Figure 53 : évaluation sociale du champ d'application « mesures de sécurité » 128

Figure 54 : évaluation sociale du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs » 129

Figure 55 : évaluation sociale du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing » 130

Figure 56 : évaluation sociale du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution » 131

Figure 57 : évaluation synthétique des champs d'application 135

Figure 58 : classification des recommandations d'action générales 140

Figure 59 : classification des recommandations d'action spécifiques à chaque champ d'application 147

Liste des tableaux

Tableau 1 : présentation du champ d'application « prévisions » (production et négoce)..... 24

Tableau 2 : présentation du champ d'application « prévisions » (réseaux)..... 25

Tableau 3 : présentation du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (production et négoce)..... 28

Tableau 4 : présentation du champ d'application « optimisation de l'exploitation » (réseaux)29

Tableau 5 : présentation du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (production et négoce)..... 31

Tableau 6 : présentation du champ d'application « optimisation des stocks et autres décisions commerciales stratégiques » (réseaux)..... 32

Tableau 7 : présentation du champ d'application « maintenance prédictive »..... 34

Tableau 8 : présentation du champ d'application « maintenance, réparation et démantèlement »..... 35

Tableau 9 : présentation du champ d'application « mesures de sécurité »..... 37

Tableau 10 : présentation du champ d'application « participation simplifiée des consommateurs actifs »..... 38

Tableau 11 : présentation du champ d'application « individualisation de produits et mesures marketing »..... 40

Tableau 12 : présentation du champ d'application « automatisation des processus applicables aux mesures, aux facturations et aux activités générales de distribution »..... 43

Références bibliographiques

Abdelkafi, Nizar *et al.* (2019): Künstliche Intelligenz im Unternehmenskontext, Literaturanalyse und Thesenpapier des Fraunhofer IWM.

Agora Energiewende (2014): Analyse Negative Strompreise: Ursachen und Wirkungen. Eine Analyse der aktuellen Entwicklungen – und ein Vorschlag für ein Flexibilitätsgesetz.

Agora Energiewende (2017): Smart-Market-Design in deutschen Verteilnetzen. Entwicklung und Bewertung von Smart Markets und Ableitung einer Regulatory Roadmap.

AIE (2019): Data centres and data transmission networks. [En ligne] URL: https://www.iea.org/reports/tracking-buildings/data-centres-and-data-transmission-networks (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Albers, Marion; Veit, Raoul-Darius (2018): DSGVO Art. 6 – Rechtmäßigkeit der Verarbeitung. In: BeckOK Datenschutzrecht, 28. Edition.

Albrecht, Jan Philipp; Jotzo, **Florien (2016)**: Das neue Datenschutzrecht der EU.

Amodei, Dario *et al.* (2016): Concrete Problems in AI Safety, CoRR, abs/1606.06565. [En ligne] URL: http://arxiv.org/abs/1606.06565 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Anderl, Sibylle (2019): Warum wir KI nicht vertrauen sollten. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung. [En ligne] URL: https://www.faz.net/aktuell/wissen/computer-mathematik/cybersicherheit-warum-wir-ki-nicht-vertrauen-sollten-16492230.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Bakovic, Tonci; Makala, Baloko (2020): Artificial Intelligence in the Power Sector. IFC. [En ligne] URL: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/bd3a196d-a88f-45af-bbc6-e0b00790fba8/EMCompass_Note_81-05-web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n72pj5g (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Bartsch, Alexander (2018): In: Danner, Wolfgang/Theobald Christian (Hrsg.). Energierecht, 98. EL

Bartsch, Alexander; Rieke, **Inga (2017)**: Das neue Datenschutzrecht mit Auswirkungen auch auf Energieversorger. In: Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft (EnWZ), Heft 12.

BDEW (2020): Künstliche Intelligenz für die Energiewirtschaft, [En ligne] URL: https://www.bdew.de/energie/digitalisierung/kuenstliche-intelligenz-fuer-die-energiewirtschaft/ (consulté pour la dernière fois le 17 juillet 2020).

Berman, Daniel *et al.* (2019): A Survey of Deep Learning Methods for Cyber Security. In: Information, Nr. 4.

Beyhs, Oliver; Poymanov; Artem (2019): Digitalisierung im Accounting und Reporting – Überblick und Systematisierung aktueller praktischer Entwicklungen. In: Zeitschrift für Internationale Rechnungslegung (IRZ), Heft 1.

Bitkom (2017): Stellungnahme zum Kommissionsentwurf der e-Privacy Verordnung (COM (2017) 10 final). [En ligne] URL: https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/FirstSpirit-1493795654847201704 27-E-Privacy-Stellungnahme-FIN.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BMBF (2019): Der intelligente Windpark. [En ligne] URL: https://www.bmbf.de/de/der-intelligente-windpark-10174.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BMWi (2019a): Das Projekt GAIA-X – Eine vernetzte Dateninfrastruktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems. [En ligne] URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BMWi (2019b): Künstliche Intelligenz und Recht im Kontext von Industrie 4.0. [En ligne] URL: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/kuenstliche-intelligenz-und-recht.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BNetzA (2015a): Bericht der Bundesnetzagentur zur Netzentgeltsystematik Elektrizität. [En ligne] URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Strom/Netzentgeltsystematik/netzentgeltsystematik-node.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BNetzA (2015b): Evaluierungsbericht nach § 33 Anreizregulierungsverordnung. [En ligne] URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2015/ARegV_Evaluierungsbericht_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BNetzA (2017a): Beschluss BK6-15-158. [En ligne] URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2015/BK6-15-158/BK6-15-158_Beschluss_vom_13_06_2017.html?nn=269594 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

BNetzA (2017b): Beschluss BK6-15-159. [En ligne] URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Service-Funktionen/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2015/BK6-15-159/BK6-15-159_Beschluss_vom_13_06_2017.html?nn=269594 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Borges, Georg (2018): Rechtliche Rahmenbedingungen für autonome Systeme. In: Neue Juristische Wochenschrift (NJW), Heft 14.

BPA (Office de presse et d'information du gouvernement fédéral) (2019): Eckpunkte einer Datenstrategie der Bundesregierung.

Briman, Eran (2016): Another look at AlphaGo vs. Lee Sedol: The Power Angle. [En ligne] URL: https://www.ceva-dsp.com/ourblog/artificial-intelligence-leaps-forward-mastering-the-ancient-game-of-go/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Brown, Arnold (2007): Othersourcing: technological outsourcing. In: Strategy and Leadership.

BSI (2017): Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland. [En ligne] URL: https://www.bsi.bund.de/DE/Publikationen/Lageberichte/lageberichte_node.html (consulté pour la dernière fois le 28 juin 2018).

BSI (2020): Zertifizierte Produkte – Intelligente Messsysteme. [En ligne] URL: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ZertifizierungundAnerkennung/Produktzertifizierung/Zertifizierung-nachCC/ZertifizierteProdukte/Intelligente_Messsysteme/Intelligente_Messsysteme_node.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Buchner, Benedikt; Petri, Thomas (2018): DSGVO Art. 6 – Rechtmäßigkeit der Verarbeitung. In: Kühling, Jürgen; Buchner, Benedikt: DSGVO/BDSG, 2. Auflage.

Calabrese, **Nico (2019)**: Chancen und Herausforderungen bei der Anwendung von künstlicher Intelligenz in der Energiewirtschaft – Eine ökonomische Analyse am Beispiel der Vorhersage von Elektrofahrzeuglasten. Masterarbeit am Karlsruher Institut für Technologie in Kooperation mit Fraunhofer ISI.

Capgemini (2017): Datenqualität: Ein Must-have für Machine Learning. [En ligne] URL: https://www.capgemini.com/de-de/2017/12/data-quality-must-have-machine-learning/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Climate Change AI (2020). [En ligne] URL: https://www.climatechange.ai/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Comité européen de la protection des données (2019): Guidelines 2/2019 on the processing of personal data under Article 6(1) (b) GDPR in the context of the provision of online services to data subjects. [En ligne] URL: https://edpb.europa.eu/our-work-tools/public-consultations/2019/guidelines-22019-processing-personal-data-under-article-61b_de (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission d'éthique sur les données du BMI (2019): Gutachten der Datenethikkommission. [En ligne] URL: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/it-digitalpolitik/gutachten-datenethikkommission.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission européenne (CE) (2016): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the internal market for electricity. In: COM(2016) 861 final. [En ligne] URL: https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/COM-2016-861-F1-EN-MAIN.PDF (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission européenne (CE) (2018): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions – Coordinated Plan on Artificial Intelligence. In: COM(2018) 795 final. [En ligne] URL: https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/EN/COM-2018-795-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission européenne (CE) (2019a): Hochrangige Expertengruppe für künstliche Intelligenz – Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI. [En ligne] URL: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60425 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission européenne (CE) (2019b): High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, Ethical Guidelines for Trustworthy AI. [En ligne] URL: https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission européenne (CE) (2020a): Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz – Ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen. [En ligne] URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_de.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Commission européenne (CE) (2020b): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions – A European strategy for data. In: COM(2020) 66 final. [En ligne] URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Danner, Wolfgang; Missling, Stefan; Theobald, Christian (2015): EnWG § 14a Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen in Niederspannung. 84. EL April 2015.

Deloitte (2019): Smart Grid 2019: Netzdienliche Leistungen über Smart Metering als neues und standardisiertes Instrument im Verteilernetz. Studie im Auftrag von Netze BW, Avacon, e.dis, Schleswig-Holstein, Bayernwerk.

dena (2019): Künstliche Intelligenz für die integrierte Energiewende. Einordnung des technologischen Status quo sowie Strukturierung von Anwendungsfeldern in der Energiewirtschaft

dena (2020): Globale Trends der künstlichen Intelligenz und deren Implikationen für die Energiewirtschaft.

Dettling, Heinz-Uwe; Krüger, Stefan (2019): Erste Schritte im Recht der Künstlichen Intelligenz – Entwurf der „Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI". In: Zeitschrift für IT-Recht und Recht der Digitalisierung (MMR).

Diehm, Jürgen; Benzinger, Lukas (2018): Digital Finance: Digitale Rechnungsverarbeitung und Workflows als Basis für ein Rechnungswesen 4.0. In: Der Betrieb (DB), Nr. 15.

Djeffal, Christian (2019): IT-Sicherheit 3.0: Der neue IT-Grundschutz – Grundlagen und Neuerungen unter Berücksichtigung des Internets der Dinge und Künstlicher Intelligenz. In: MultiMedia und Recht, 2019(5).

dpa (Agence de presse allemande) (2020): Google reduziert CO_2-Emissionen mit Künstlicher Intelligenz. [En ligne] URL: https://www.zeit.de/news/2020-04/22/google-reduziert-co2-emissionen-mit-kuenstlicher-intelligenz (consulté pour la dernière fois le 27 juillet 2020).

Dreyer, Stephan; Schulz, Wolfgang (2018): Was bringt die Datenschutz-Grundverordnung für automatisierte Entscheidungssysteme? Potenziale und Grenzen der Absicherung individueller, gruppenbezogener und gesellschaftlicher Interessen. Bertelsmann Stiftung (Hrsg.).

Durner, Wolfgang (2011): Schutz der Verbraucher durch Regulierungsrecht. In: Veröffentlichungen der Vereinigung der Deutschen Staatsrechtslehrer (VVDStRL), Band 70.

Ebe, Falko (2018): Abstimmungskaskade als Werkzeug für eine zellbasierte Infrastruktur. Poster im Rahmen der Tagung „Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien" (Berlin).

E-Bridge (2016): Zukünftige Rolle des Verteilernetzbetreibers in der Energiewende. Studie im Auftrag der MITNETZ STROM. [En ligne] URL: https://www.bdew.de/media/documents/20160906_Studie-E-Bridge-MITNETZ-DSO2.0-Praesentation.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

E-Bridge (2017): Sichere und effiziente Koordinierung von Flexibilitäten im Verteilnetz. Studie im Auftrag deutscher Verteilnetzbetreiber.

Eifert, Martin (2010): Die gerichtliche Kontrolle der Entscheidungen der Bundesnetzagentur. In: Zeitschrift für das gesamte Handels- und Wirtschaftsrecht (ZHR) 174.

Einhellig, Ludwig; Kappl, Johanna (2017): Die Standardisierung von (netzdienlichen) Zusatzleistungen und Entflechtung nach Messstellenbetriebsgesetz, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 5/2017.

EnBW (2018): Intelligente Videosensorik und Datenschutz – kein Widerspruch mehr. [En ligne] URL: https://dev.enbw.com/intelligente-videosensorik-und-datenschutz/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Ernst & Young (EY) (2018): Digitalisierung der Energiewende – Topthema 2: Regulierung, Flexibilisierung und Sektorkopplung. Gutachten im Auftrag des BMWi.

Faber, Tobias *et al.* (2018): Predictive Maintenance – Hürden und Chancen zur sinnvollen Nutzung von Maschinendaten. In: Der Sachverständige, Heft 11.

Fehling, Michael (2014): Neues Regulierungsrecht im Anschluss an die Energiewende. In: Die Verwaltung, Vol. 47.

Franke, Peter (2013): Beschleunigung der Planungs- und Zulassungsverfahren beim Ausbau der Übertragungsnetze. In: Festschrift für Peter Salje.

Franzius, Claudio (2012): Bedarfsplanung als spezifisches Regulierungsrecht. In Peter Lang (Hrsg.): Braucht das Gesundheitswesen ein eigenes Regulierungsrecht?

Franzius, Claudio (2015a): Ansätze eines analytisch-deliberativen Verfahrensmodells für die Stromnetzplanung. In: Verwaltungsarchiv (VerwArch), Vol. 106.

Franzius, Claudio (2015b): Regulierung und Innovation im Mehrebenensystem. Was kann und muss europäisches Energierecht leisten und welche Handlungsfreiheiten brauchen die Mitgliedsstaaten? In: Die Verwaltung, Vol. 48

Franzius, Claudio (2018): Planungsrecht und Regulierungsrecht. In: Zeitschrift für Umweltrecht, Heft 1.

Fraunhofer (2018): Maschinelles Lernen – Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung. [Online] URL: https://www.bigdata.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publikationen/Fraunhofer_Studie_ML_201809.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Fritz, Wolfgang *et al*. (2019): Regulatorische Bewertung von Maßnahmenvorschlägen zur Erschließung netzdienlicher Flexibilität. Im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Gates, Bill (2017): Dear class of 2017… In: GatesNotes. [En ligne] URL: https://www.gatesnotes.com/About-Bill-Gates/Dear-Class-of-2017 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Gausling, Tina (2019): Künstliche Intelligenz im digitalen Marketing – Datenschutzrechtliche Bewertung KI-gestützter Kommunikations-Tools und Profiling-Maßnahmen. In: Zeitschrift für Datenschutz (ZD), Heft 8.

Geers, Theo (2019): Fehlender Strom und die Folgen. [En ligne] URL: https://www.deutschlandfunk.de/blackout-risiko-im-juni-fehlender-strom-und-die-folgen.1766.de.html?dram:article_id=452828 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Geospin (2018): Die Thüga-Gruppe möchte mithilfe von Geospin die Elektromobilität voranbringen. [En ligne] URL: https://www.geospin.de/2018/12/17/die-thuga-gruppe-mochte-mithilfe-von-geospin-die-elektromobilitat-voranbringen/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Geospin (2020): Produkte – Potenzialanalyse für Ladeinfrastruktur. [En ligne] URL: https://www.geospin.de/ladeinfrastruktur/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Groß, Christian *et al.* (2020): Wunsch und Wirklichkeit – Was der Digitale Zwilling für Gebäude leisten kann. [En ligne] URL: https://www.researchgate.net/publication/340396492_Wunsch_und_Wirklichkeit_Was_der_Digitale_Zwilling_fur_Gebaude_leisten_kann (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Habel, Oliver (2018): Need to know: Rechtliche Vertragsregelungen für den Vertrieb von IoT- und Big-Data-Anwendungen. In: Deutsche Stiftung für Recht und Informatik, Tagungsband Herbstakademie (DSRITB).

Hammond, Kris (2016): The Periodic Table of AI. [En ligne] URL: https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/the-periodic-table-of-ai (consulté pour la dernière fois le 08 août 2019).

Hassabis, Dennis; Silver, David (2017): AlphaGo Zero: Starting from scratch. [En ligne] URL: https://deepmind.com/blog/article/alphago-zero-starting-scratch (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Hayek, Ordo (2014): Zum Regulierungswissen Hoffmann-Riem. In: Bora/Henkel/Reinhardt (Hrsg.), Wissensregulierung und Regulierungswissen.

He, Youbiao; **Mendis**, **Gihan**; **Wei**, **Jin (2018)**: Real-time detection of false data injection attacks in smart grid: A deep learning-based intelligent mechanism. In: IEEE Transitions on Smart Grid.

Heberlein, Horst (2018): DSGVO Art. 6 – Rechtmäßigkeit der Verarbeitung. In: Ehmann, Eugen; Selmayr, Martin: DSGVO, 2. Auflage.

Heesen, Jessica *et al.* (2020): Zertifizierung von KI-Systemen – Impulspapier. Hrsg.: Lernende Systeme – Die Plattform für künstliche Intelligenz. [En ligne] URL: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/AG3_Impulspapier_290420.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Henselmann, Klaus; Seebeck, Andreas (2018): Digitalisierung der Finanzberichterstattung in Europa – So funktioniert iXBRL. In: Zeitschrift für Internationale Rechnungslegung (IRZ). Heft 10.

Hermes, Georg (2014): Planungsrechtliche Sicherung einer Energiebedarfsplanung – ein Reformvorschlag. In: Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR), Heft 5.

Hetmank, Sven; Lauber-Rönsberg, Anne (2018): Künstliche Intelligenz – Herausforderungen für das Immaterialgüterrecht. In: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht (GRUR), Heft 6.

IDC (2019): Update of the European Data Market – SMART 2016/0063. Story 5 – AI paving the way for the Cognitive Revolution across European Utilities. [En ligne] URL: http://datalandscape.eu/sites/default/files/report/D3.5_AI_and_Energy_27.06.2019.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Jakl, Bernhard (2019): Das Recht der künstlichen Intelligenz – Möglichkeiten und Grenzen zivilrechtlicher Regulierung. In: Zeitschrift für IT-Recht und Recht der Digitalisierung (MMR), Heft 11.

Jandt, Silke (2018): Art. 32 Sicherheit der Verarbeitung. In: Kühling, Jürgen; Buchner, Benedikt: DSGVO BDSG, 2. Auflage.

Kelber, Ulrich (2020): Im Spannungsfeld zwischen Datenschutz und Künstlicher Intelligenz. Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche Potenziale. [En ligne] URL: https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw03-pa-enquete-kuenstliche-intelligenz-673918 (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Kersten, Jens (2010): Herstellung von Wettbewerb als Verwaltungsaufgabe. In: Veröffentlichungen der Vereinigung der Deutschen Staatsrechtslehrer (VVDStRL), Band 69.

Klar, Manuel (2019): Künstliche Intelligenz und Big Data – algorithmenbasierte Systeme und Datenschutz im Geschäft mit Kunden. In: Betriebs-Berater (BB), Heft 39.

Köck, Wolfgang (2016): Die Bedarfsplanung im Infrastrukturrecht. In: Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR), Heft 11.

Köck, Wolfgang *et al.* (2017): Das Instrument der Bedarfsplanung – Rechtliche Möglichkeiten für und verfahrensrechtliche Anforderungen an ein Instrument für mehr Umweltschutz. [En ligne] URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-05_texte_55-2017_bedarfsplanung_v2.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Köppl, Simon *et al.* (2019): Altdorfer Flexmarkt – Decentral flexibility for distribution networks. In: Internationaler ETG-Kongress 2019.

Koreng, Ansgar; Lachenmann, Matthias (2018): Rechenschaftspflicht (Art. 5, 24 DS-GVO). In: Formularhandbuch Datenschutzrecht, 1. Organisationsstruktur Datenschutz, 2. Auflage.

Krawinkel, Holger (2012): Der Infrastrukturausbau im Rahmen der Energiewende benötigt umfassende Planungsinstrumente. In: Zeitschrift für Neues Energierecht (ZNER). 2012, 461-465.

Lachenmann, Matthias (2017): Rechtshandbuch Industrie 4.0. In: Sassenberg, Thomas; Faber, Tobias. MMR-Aktuell, Ausgabe 21.

Lauber-Rönsberg, Anne (2019): Autonome „Schöpfung" – Urheberschaft und Schutzfähigkeit. In: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht (GRUR), Heft 3.

Lüdemann, Volker; Ortmann, Manuel Christian; Pokrant, Patrick (2016): Das neue Messstellenbetriebsgesetz – Wegbereiter für ein zukunftsfähiges Smart Metering. In: EnWZ, Heft 8.

Lülsdorf, **Tanja (2019)**: § 14 EEG 2014. In: Danner, Wolfang; Theobald, Christian (Hrsg.). Energierecht.

Mantz, Reto; Spittka, Jan (2020): Rechtshandbuch Industrie 4.0. In: Sassenberg, Thomas; Faber, Tobias. Teil 2, E, Rn. 22.

Martini, Mario (2018): DS-GVO Art. 22 Automatisierte Entscheidungen im Einzelfall einschließlich Profiling. In: Paal, Boris P.; Pauly, Daniel A.: DS-GVO/BDSG, 2. Auflage.

Martini, Mario; Damm, Matthias (2014): Der Zugang der Öffentlichkeit zu hochauflösenden Satellitenbildern. In: Neue juristische Wochenschrift (NJW), Heft 3.

Missling, Tanja (2019): § 14 EEG 2014. In: Danner, Wolfang; Theobald, Christian (Hrsg.). Energierecht.

Nowak, Matthias (2020): Moderne Technologie hilft Netzbetreibern in schwierigen Zeiten. [En ligne] URL: https://venios.de/moderne-technologie-hilft-netzbetreibern-in-schwierigen-zeiten/ (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Nussbaum, Ulrich (2019): Künstliche Intelligenz braucht Normen und Standards. In: Gemeinsame Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie mit VDE und DIN vom 16.10.2019.

Ory, Stephan; Sorge, Christoph (2019): Schöpfung durch Künstliche Intelligenz? In: Neue Juristische Wochenschrift (NJW). 72(11).

Parlement allemand (2011): Gesetzesentwurf der Fraktionen CDU/CSU und FDP, Entwurf eines Gesetzes zur Neuerung energiewirtschaftlicher Vorschriften. In: BT-Drs. 17/6072. [En ligne] URL: http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/060/1706072.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Parlement européen (PE) (2013): Amendments (3) 886 - 1188. [En ligne] URL: http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/libe/am/928/928600/928600en.pdf (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Pieper, Fritz-Ulli; Wessing, Taylor (2019): Wenn Maschinen Verträge schließen: Willenserklärungen beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz. In: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht, Praxis im Immaterialgüter- und Wettbewerbsrecht (GRUR-Prax), Heft 13.

Plath (Hrsg.) (2018): Art. 6 DSGVO. In: DSGVO BDSG, 3. Auflage.

Redman, Thomas (2018): If Your Data Is Bad, Your Machine Learning Tools Are Useless. [En ligne] URL: https://hbr.org /2018/04/if-your-data-is-bad-your-machine-learning-tools-are-useless (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Reinsel, David; Gantz, John; Rydning, John (2018): Data Age 2025, The Digitization of the World – From Edge to Core. In: IDC-Report.

Sarkar, Tirthajyoti (2018): Synthetic data generation — a must-have skill for new data scientists. [En ligne] URL: https://towardsdatascience.com/synthetic-data-generation-a-must-have-skill-for-new-data-scientists-915896c0c1ae (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Schäfer-Stradowsky, Simon; Timmermann, Daniel (2018): Verschiebung von Kompetenzen zwischen ÜNB und VNB durch die Digitalisierung der Energiewende – Bedarf einer Mittelebene? In: Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft (EnWZ), Heft 6.

Schmidtchen, Marcus (2014): Klimagerechte Energieversorgung im Raumordnungsrecht.

Schmitt, Tobias (2015): Die Bedarfsplanung von Infrastrukturen als Regulierungsinstrument.

Schulz, Sebastian (2018): Art. 6. In: Gola, Peter. DS-GVO, 2. Auflage.

Schwintowski, Hans-Peter (2018): Messstellenbetrieb und Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen – Grundfragen. In: Zeitschrift des Instituts für Energie- und Wettbewerbsrecht in der Kommunalen Wirtschaft e. V. (EWeRK), Heft 3.

Seibel, Mark (2013): Abgrenzung der „allgemein anerkannten Regeln der Technik" vom „Stand der Technik". In: Neue juristische Wochenschrift (NJW), Heft 41.

Shruthi, C. M.; Sudheer, A. P.; Joy, M. L. (2019): Dual arm electrical transmission line robot: motion through straight and jumper cable, Automatika, 60:2.

Spiecker gen. Döhmann, Indra; Bretthauer, Sebastian (Hrsg.) (2018): Dokumentation zum Datenschutz mit Informationsfreiheitsrecht.

Steinkamp, Dieter (2017): Rechte der Verteilnetzbetreiber stärken. In: Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft (EnWZ), Heft 10.

Süme, Oliver (2020): Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche Potenziale. In: Deutscher Bundestag, Parlamentsnachrichten, Datenschutz in der KI-Entwicklung; Ausschuss vom 13.01.2020.

Tobien, Jenny (2020): Cyberattacken: Wie Forscher Angriffsziele sicherer machen. In: Weser-Kurier. [En ligne] URL: https://www.weser-kurier.de/deutschland-welt/deutschland-welt-politik_artikel,-cyberattacken-wie-forscher-angriffsziele-sicherer-machen-_arid,1697589.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Ueberfeldt, Lara (2018): Cyber Security – neue Wege für Analytics und Produktentwicklung. In: Deutsche Stiftung für Recht und Informatik, Tagungsband Herbstakademie (DSRITB).

vom Scheidt, Frederik *et al.* (2020): Data Analytics in the Electricity Sector – A Quantitative and Qualitative Literature Review. In: Energy and AI.

Wandtke, **Artur-Axel; Bullinger, Winfred (2019)**: Praxiskommentar zum Urheberrecht, 5. Auflage.

Weiler, Adrian *et al.* (2018): Agile Optimierung in Unternehmen: Das Unplanbare digital managen.

Welt (2018): Künstliche Intelligenz ist Treiber des digitalen Wandels. In: Die Welt. [En ligne] URL: https://www.welt.de/newsticker/dpa_nt/infoline_nt/netzwelt/article185402946/Kuenstliche-Intelligenz-ist-Treiber-des-digitalen-Wandels.html (consulté pour la dernière fois le 26 juin 2020).

Weyer, Hartmut; Iversen, Thore (2019): Regionale Flexibilitätsmärkte als Instrument des Engpassmanagements. In: Recht der Energiewirtschaft 2019.

Wißmann, **Hinnerk (2014)**: Die Anforderungen an ein zukünftiges Infrastrukturrecht. In: VVDStRL, Band 73, 2014.

Wolff, Hans J. *et al*. (2010): Verwaltungsrecht Band II, 7. Auflage.

ZEW (*Centre Leibniz pour* la *recherche économique européenne*) (2020): Künstliche Intelligenz braucht Fachkräfte: Studie zum Stand der Nutzung von KI in Unternehmen in Deutschland. [En ligne] URL: https://www.zew.de/presse/pressearchiv/kuenstliche-intelligenz-braucht-fachkraefte/ (consulté pour la dernière fois le 17 juillet 2020).

Zülch, Henning; Weuster, Carl W. (2018): Change before you have to. In: International und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung (KoR). 18. Jahrgang.

Zweig, Katharina (2020): Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale. In: Sitzung der Enquete-Kommission vom 10.02.2020.

Abréviations

AA	apprentissage automatique
ARegV	*Anreizregulierungsverordnung* (règlement sur la régulation incitative)
BDEW	*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft* (Fédération allemande des secteurs de l'énergie et de l'eau)
BDSG	*Bundesdatenschutzgesetz* (loi fédérale sur la protection des données)
Bitkom	*Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien* (Fédération des technologies de l'information, des télécommunications et des nouveaux médias)
BMBF	*Bundesministerium für Bildung und Forschung* (ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche)
BMI	*Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat* (ministère fédéral allemand de l'Intérieur, de la Construction et du Territoire)
BMWi	*Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* (ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie)
BNetzA	*Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen* (Agence fédérale des réseaux *d'électricité*, de gaz, de télécommunications, des postes et des chemins de fer)
BSI	*Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik* (Office fédéral pour la sécurité des technologies de l'information)
CE	Commission européenne
CEN	Comité européen de normalisation
CJUE	Cour de justice de l'Union européenne
DFKI	*Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz* (Centre de recherche allemand pour l'intelligence artificielle)
DIN	*Deutsches Institut für Normung* (Institut allemand de normalisation)
EDIFACT	Échange de données informatisées pour l'administration, le commerce et le transport
EEG	*Erneuerbare-Energien-Gesetz* (loi sur les énergies renouvelables)
EnEG	*Energieeinspargesetz* (loi sur les économies d'énergie)
EnEV	*Energieeinsparverordnung* (règlement sur les économies d'énergie)
ENISA	Agence européenne pour la cybersécurité
EnR	énergies renouvelables

EnWG	*Energiewirtschaftsgesetz* (*loi sur le secteur de l'énergie)*
ePR	règlement ePrivacy
ESEF	*European Single Electronic Format* (format électronique unique européen)
GEHN IA	groupe d'experts indépendants de haut niveau sur l'intelligence artificielle
GRD	gestionnaire de réseau de distribution
GRT	gestionnaire de réseau de transport
GWB	*Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen* (loi contre les restrictions à la concurrence)
HT	haute tension
IA	intelligence artificielle
IdO	Internet des objets
ISO	Organisation internationale de normalisation
iXBRL	*inline eXtensible Business Reporting Language*
KIT	*Karlsruher Institut für Technologie* (Institut de technologie de Karlsruhe)
KWKG	*Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz* (loi sur le couplage chaleur-force)
Luft-VO	*Luftverkehrsordnung* (règlement sur le trafic aérien)
M2M	*machine to machine*
MaStR	*Marktstammdatenregister* (registre de données de référence du marché)
MaStRV	Marktstammdatenregisterverordnung (règlement sur le registre de données de référence du marché)
MsbG	*Messstellenbetriebsgesetz* (loi sur la gestion des compteurs)
PE	Parlement européen
PV	photovoltaïque
RGPD	règlement général sur la protection des données
RNA	réseaux de neurones artificiels
SatDSiG	*Satellitendatensicherheitsgesetz* (loi relative à la sécurité des données satellites)
SIG	système d'information géographique
StromNEV	*Stromnetzentgeltverordnung* (règlement relatif aux tarifs d'accès au réseau électrique)
StromNZV	*Stromnetzzugangsverordnung* (règlement sur l'accès au réseau d'électricité)
TKG	*Telekommunikationsgesetz* (loi sur les télécommunications)
TLN	traitement du langage naturel

TMG *Telemediengesetz* (loi sur les télémédias)

XHTML *eXtensible HyperText Markup Language*

Zo zettaoctet

www.dena.de/ki

dena
Agence allemande de l'énergie