

PROJET DE FIN D'ETUDES
Juin 2020

Stratégies collectives en Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie

Mélanie FLAMENT
Carine PEGOURET

Programme Grande École
emlyon business school

*Sous la direction d'Olivier Cateura, professeur
d'Entrepreneuriat & Management de l'innovation
et spécialiste du secteur de l'énergie*

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons en premier lieu adresser nos plus sincères remerciements à Olivier Cateura, notre directeur de mémoire, pour son temps, son encadrement, ses conseils et son expertise.

Nos travaux de recherche se sont déroulés dans le cadre d'un partenariat avec Think Smartgrids qui nous a permis de comprendre les enjeux des stratégies collectives dans le secteur de l'énergie ainsi que d'entrer en contact avec des professionnels de l'énergie et des stratégies collectives.

Aussi nous souhaitons remercier en particulier Valérie-Anne Lencznar, Déléguée Générale de Think Smartgrids, qui nous a partagé le besoin de la filière de connaître l'avancée et la place de la France en IA, en particulier dans le secteur de l'énergie, ainsi que de cerner comment les stratégies collectives peuvent porter leurs membres à l'international et les aider à développer leurs avantages concurrentiels.

Nous remercions également l'ensemble des personnes interrogées dans le cadre de cette étude pour le temps qu'elles nous ont consacré, en particulier Filipe Afonso (Yélé Consulting), Pierre Blanchet (Vinci Energies), Nicolas Bonnerot (RTE), Bertrand Cassar (DGE), Christophe Delahaye (Sagemcom Energy & Telecom), Caroline Dornstetter (Yélé Consulting), Martin Fourdrignier (CRE), Nicolas Gadacz (GE Grids solutions), Estelle Kleffert (Enercoop), Didier Laffaille (CRE), Vincent Lefieux (RTE), Hervé Luthringer (EDF), Valentin Maillot (Tenerdis), Martin Meffre (Talan Consulting), Georges Mosditchian (Evolen), Thomas Mouly (Yélé Consulting), Juliette Petit (Business France – Brésil), Stephane Rousselet (Bain) et Bernard Salha (EDF).

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Le secteur de l'énergie est confronté à de nombreux défis auxquels l'Intelligence Artificielle semble pouvoir répondre. Suite à la libéralisation des marchés de l'énergie, elle est d'abord un moyen de faire face à l'arrivée des nouveaux entrants en proposant des services plus performants et moins chers aux consommateurs. Elle facilite également la transition énergétique en permettant une plus grande efficacité énergétique et l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux. Enfin, elle répond aux attentes du nouveau consommateur, qui souhaite plus de transparence et d'information en temps réel, mais qui souhaite également produire et vendre son énergie sur des boucles locales.

Si cette technologie émergente a déjà entamé son entrée dans le secteur, elle n'est encore que peu mature et inégalement déployée à l'échelle de l'écosystème. Les ressources qu'elle nécessite et le contexte hyperconcurrentiel révèlent la pertinence de la mise en place de stratégies collectives pour permettre aux acteurs du secteur d'innover et de rester compétitifs.

L'étude s'appuie sur des recherches académiques et sectorielles ainsi que sur vingt entretiens semi-directifs avec des acteurs clés du secteur, à savoir des acteurs de l'énergie, des équipementiers, des acteurs du conseil en stratégie, des acteurs publics ainsi que des structures collectives.

Ce travail de recherche propose en premier lieu un état de l'art de l'organisation et de l'évolution de l'écosystème d'acteurs de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie. La filière apparaît très dynamique, forte de ses leaders nationaux et son écosystème de startups, et dynamisée par l'ouverture à la concurrence et l'arrivée des nouveaux entrants. Des partenariats et stratégies collectives sont déjà à l'œuvre dans le secteur mais semblent manquer de synergie.

En second lieu, cette étude met en avant les spécificités et enjeux de la filière française : celle-ci est forte d'un puissant écosystème d'acteurs soutenu par un état engagé, mais fait face à un manque de ressources et au déploiement inégal de l'IA entre les acteurs qui la composent. Les enjeux de la filière regroupent à la fois la nécessité de saisir l'opportunité d'une coopération européenne et des marchés émergents, et de faire face à une concurrence accrue et aux barrières normatives.

Enfin, ce travail de recherche propose l'analyse de la concurrence internationale de la filière française ainsi que le détail de trois modèles collectifs : celui de l'Allemagne, du Japon et du Royaume-Uni. Ces analyses nous ont permis de dresser six recommandations de stratégies collectives pour la filière française.

Stratégies collectives en Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	1
RÉSUMÉ EXÉCUTIF	2
TABLE DES MATIÈRES	3
INTRODUCTION	4
1. REVUE DE LITTÉRATURE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE ET DES STRATÉGIES COLLECTIVES	5
1.1. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE SECTEUR DE L'ÉNERGIE	6
1.1.1. LES ENJEUX DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE	6
1.1.2. L'IA COMME REPONSE AUX ENJEUX DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE	9
1.1.3. DEFINITION DU MARCHÉ DE L'IA DANS LE SECTEUR DE L'ÉNERGIE	17
1.2. STRATEGIES COLLECTIVES DANS LE SECTEUR DE L'IA APPLIQUEE A L'ÉNERGIE	23
1.2.1. REVUE DE LITTÉRATURE DES STRATEGIES COLLECTIVES	23
1.2.2. PERTINENCE DES STRATEGIES COLLECTIVES DANS LE SECTEUR DE L'IA APPLIQUEE A L'ÉNERGIE	25
1.3. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE	28
1.3.1. PROBLEMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE	28
1.3.2. METHODOLOGIE DE RECHERCHE	28
2. ANALYSE DES STRATÉGIES COLLECTIVES DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE	31
2.1. L'ECOSYSTEME FRANÇAIS DU MARCHÉ DE L'IA APPLIQUEE A L'ÉNERGIE	32
2.1.1. ACTEURS HISTORIQUES DU MARCHÉ FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE	33
2.1.2. NOUVEAUX ENTRANTS PAR L'IA	37
2.1.3. STRATEGIES COLLECTIVES MISES EN ŒUVRE	38
2.2. ANALYSE STRATEGIQUE DE LA FILIERE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUEE A L'ÉNERGIE	45
2.2.1. UN PUISSANT ECOSYSTEME D'ACTEURS SOUTENU PAR UN ÉTAT ENGAGÉ	45
2.2.2. UN MANQUE DE RESSOURCES ET UN DEPLOIEMENT INÉGAL QUI FREINENT LA FILIERE	48
2.2.3. DES OPPORTUNITÉS LIÉES À LA COOPÉRATION EUROPÉENNE ET AUX MARCHÉS ÉMERGENTS	52
2.2.4. UNE MENACE SUSCITÉE PAR UNE CONCURRENCE ACCRUE ET DES BARRIÈRES NORMATIVES	54
2.3. CONCURRENTS ET STRATEGIES COLLECTIVES INTERNATIONALES	58
2.3.1. CONCURRENTS INTERNATIONAUX ET STRATEGIES COLLECTIVES	58
2.3.2. ANALYSE STRATEGIQUE DE TROIS LEADERS	67
3. ÉVALUATION ET RECOMMANDATIONS POUR LA FILIÈRE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE	80
3.1. ÉVALUATION DE LA FILIERE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUEE A L'ÉNERGIE	81
3.2. RECOMMANDATIONS	83
3.2.1. PLAN DE STRUCTURATION DE LA FILIERE FRANÇAISE	83
3.2.2. STRATEGIE COLLECTIVE COMMERCIALE EN SOUTIEN À L'EXPORTATION DE LA FILIERE	86
3.2.3. PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT DES SYNERGIES À L'ÉCHELLE EUROPÉENNE	86
3.2.4. PLAN DE SOUTIEN AU TRANSFERT TECHNOLOGIQUE	87
3.2.5. CAMPAGNE DE FAMILIARISATION ET DE FORMATION À L'IA	88
3.2.6. CONSTRUCTION D'UN MODÈLE EUROPÉEN DES GAFAM	88
BILAN CRITIQUE	90
CONCLUSION ET OUVERTURE	91
INDEX	93
INDEX DES ILLUSTRATIONS	97
RÉFÉRENCES	98

INTRODUCTION

Des bouleversements sans précédent sont aujourd'hui à l'œuvre dans le secteur de l'énergie. Tout d'abord, la libéralisation des marchés européens du gaz et de l'électricité initiée en 1999 engendre l'entrée de nouveaux concurrents sur les territoires nationaux. Ensuite, des mesures comme le paquet climat énergie obligent les pays européens à s'engager dans la transition énergétique, afin de réduire les gaz à effet de serre, notamment en ayant recours aux énergies renouvelables et en améliorant l'efficacité énergétique. Enfin, la transition numérique et l'avènement du consommateur, notamment liés à l'ubérisation de l'économie, forcent non seulement les énergéticiens à offrir une énergie plus verte et des services plus transparents et personnalisés, mais font également naître un nouveau modèle économique : celui de l'autoproduction et de l'autoconsommation d'énergie.

L'augmentation de la concurrence sur le marché ainsi que la nouvelle attente des consommateurs poussent donc les énergéticiens à offrir une énergie moins chère, maîtrisée, renouvelable, accessible et bientôt mutualisée. Si ces défis et cette transformation à venir paraissent propres au secteur de l'énergie, l'émergence de nouveaux services plus flexibles, plus rapides et plus performants a déjà lieu dans les autres secteurs. Des transformations rapides sont ainsi à l'œuvre dans les secteurs de l'assurance, de la banque ou de la santé, permises par le recours aux nouvelles technologies.

En particulier, le développement de l'Intelligence Artificielle, qui coïncide avec l'émergence de ces nouveaux enjeux, semble trouver des cas d'application dans le secteur de l'énergie qui permettraient d'accroître la performance et la compétitivité des acteurs du secteur. Cependant, l'Intelligence Artificielle est une technologie qui nécessite de nombreuses ressources ; il paraît donc essentiel de former des partenariats, notamment avec des acteurs spécialisés dans cette discipline, afin de développer de nouvelles solutions. De nombreuses « stratégies collectives » se sont donc formées au croisement du secteur de l'énergie et de celui de l'Intelligence Artificielle, à l'instar de l'association Think Smartgrids, et du pôle de compétitivité Tenerrdis.

Ce concept de « stratégie collective » est né dans les années 1980 suite aux travaux de Astley et Fombrun¹. Il explique que les acteurs trouvent intérêt à s'associer lorsque le marché présente de fortes turbulences, afin de se protéger collectivement de cette instabilité. Le secteur de l'IA appliquée à l'énergie semble aujourd'hui correspondre à ce critère d'instabilité auquel font référence les auteurs. Aussi nous avons choisi de poser l'hypothèse selon laquelle mettre en place des stratégies collectives permet aux acteurs français de développer leurs atouts technologiques et commerciaux, et contribue ainsi à renforcer la compétitivité de la filière.

Cette étude s'appuie sur des recherches académiques et sectorielles ainsi que sur vingt entretiens semi-directifs avec des acteurs clés du secteur, dont l'objectif est de valider cette hypothèse et de répondre à la problématique suivante : « **Comment les stratégies collectives peuvent-elles permettre de renforcer la compétitivité de la filière française de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie ?** ».

En première partie, nous dressons l'état de l'art de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie et démontrons la pertinence des stratégies collectives pour l'enjeu de compétitivité du secteur. En seconde partie, nous étudions l'organisation et l'évolution de l'écosystème d'acteurs de la filière française ainsi que ses spécificités et enjeux. Nous étudions également les écosystèmes et stratégies des acteurs internationaux de l'IA appliquée à l'énergie afin d'en extraire des modèles applicables à la filière française pour développer sa compétitivité à l'échelle internationale. Cette étude a pour objectif final d'adresser des recommandations aux acteurs de la filière pour renforcer le rayonnement et la compétitivité de la filière française à l'international.

¹ Astley, W. G., & Fombrun, C. J. (1983). Collective Strategy : Social Ecology of Organizational Environments. *Academy of Management Review*, 8(4), 576-587. <https://doi.org/10.5465/amr.1983.4284657>



1. REVUE DE LITTÉRATURE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE ET DES STRATÉGIES COLLECTIVES

1.1. Intelligence Artificielle dans le secteur de l'énergie

1.1.1. Les enjeux du secteur de l'énergie

« *Autoproduction, circuits courts, multiplication des acteurs, intégration des énergies renouvelables, etc. En 5 ans, le secteur a subi plus de mutations que durant les 50 dernières années et ce n'est que le début* »² ainsi François Brottes, Président du Directoire de RTE, résume-t-il parfaitement les enjeux du secteur de l'énergie.

En effet, depuis quelques années, le secteur de l'énergie fait face à de nombreux défis qui nécessitent une transformation sans précédent. En France, l'un des défis majeurs est la transformation réglementaire, qui ouvre la voie à la libéralisation d'un secteur historiquement hautement réglementé. Cela ouvre la concurrence à des acteurs européens de l'énergie et à de nouveaux entrants.

Notre société fait également face aux défis de transformation sociale et environnementale, en lien avec les préoccupations que l'on connaît de développement durable. Celles-ci provoquent une modification profonde des consommations et des usages, dorénavant orientés vers des produits et services à la fois plus respectueux de l'environnement et plus personnalisés. L'inclusion des énergies renouvelables, la naissance des circuits courts, la volonté de permettre l'autoconsommation : tous ces enjeux nécessitent une adaptation sans précédent des infrastructures énergétiques et des modèles d'affaires des énergéticiens.

1.1.1.1. Libéralisation des marchés de l'énergie

La libéralisation des marchés de l'énergie est sûrement l'un des premiers enjeux qui frappe les énergéticiens du marché français. C'est un impératif réglementaire duquel vont découler de nouvelles dynamiques : nouveaux marchés à explorer mais surtout nouveaux entrants à affronter. Une nouvelle concurrence s'immisce sur un marché historiquement construit en duopole autour de EDF et ENGIE (anciennement GDF Suez).

L'ouverture à la concurrence des marchés du gaz et de l'électricité s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique de l'Union Européenne et répond à l'objectif de la construction d'un marché européen de l'énergie qui soit à la fois ouvert, concurrentiel et régulé. Cette ouverture a en particulier pour objectifs de construire un marché plus sûr (sécurité en approvisionnement de l'énergie) et plus compétitif (assurer un prix abordable à tous les consommateurs). Le marché ouvert permettra également d'assurer le libre choix du fournisseur pour les consommateurs ainsi que la liberté d'établissement pour les producteurs³.

Cette ouverture s'est faite par étapes : pour certains industriels, grands consommateurs d'énergie, l'ouverture à la concurrence a commencé dès 1999. Elle s'est ensuite progressivement étendue à l'ensemble des professionnels et des collectivités locales. Pour finir, l'ouverture à la concurrence a été élargie pour les particuliers au 1er juillet 2007.

L'enjeu pour les énergéticiens français est donc en premier lieu de faire face à la menace des nouveaux entrants et de conserver leurs parts de marché sur le territoire français. Il s'agit donc de fidéliser leur clientèle via de nouvelles offres et nouveaux services, mais aussi d'améliorer l'efficacité opérationnelle pour réduire les coûts et améliorer le service de fourniture d'énergie.

L'enjeu est aussi de profiter de l'opportunité que représente cette ouverture et d'envisager une stratégie d'implantation et d'acquisition de parts de marché dans l'Union Européenne.

² Le Monde. (2019, 24 septembre). RTE embarque plus de 6 000 personnes sur le réseau électrique de demain. Consulté à l'adresse <https://www.lemoniteur.fr/article/rte-embarque-plus-de-6-000-personnes-sur-le-reseau-electrique-de-demain.944319>

³ Le médiateur national de l'énergie. (2019, 8 novembre). L'ouverture du marché de l'électricité et du gaz naturel à la concurrence. Consulté à l'adresse https://www.energie-info.fr/fiche_pratique/louverture-du-marche-de-lelectricite-et-du-gaz-naturel-a-la-concurrence/

1.1.1.2. Transition énergétique

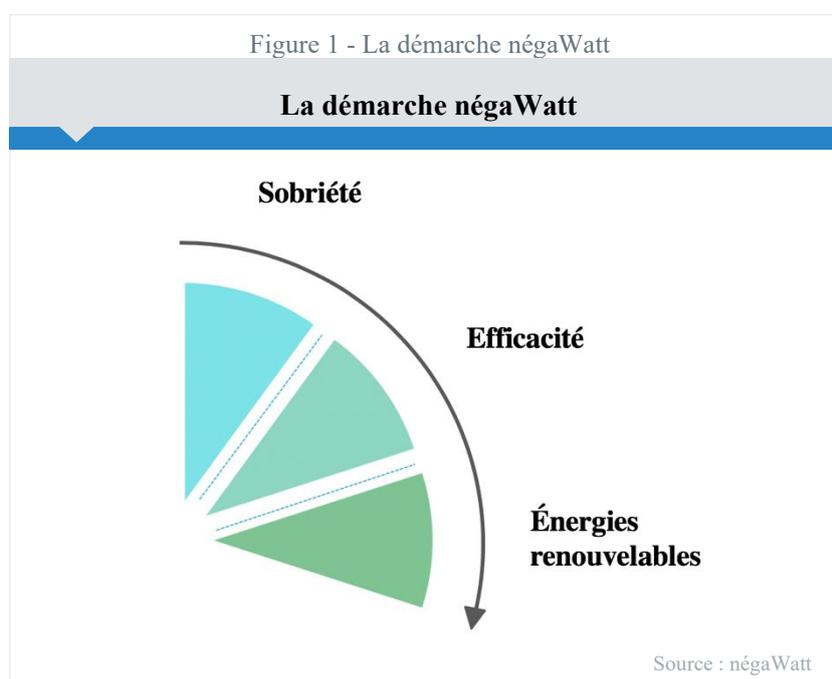
La transition énergétique est un enjeu de taille, qui s'inclut dans la transition écologique. La prise de conscience environnementale a mené à repenser nos modèles de production et de consommation, y compris dans l'énergie.

A l'échelle Européenne, **le paquet climat énergie**, adopté en décembre 2008 et révisé en octobre 2014 par l'Union Européenne fixe les objectifs de transition énergétique des 27, communément appelés les « 3x20 », à savoir :

- « **réduire les émissions de gaz à effet de serre de 20 %** (par rapport aux niveaux de 1990);
- **porter à 20 % la part des énergies renouvelables** dans la consommation d'énergie de l'UE;
- **améliorer l'efficacité énergétique de 20%.** »⁴

Le premier objectif est fortement lié aux deux autres dans la mesure où ces derniers sont finalement des objectifs intermédiaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Pour parvenir à cette réduction d'émissions de gaz à effet de serre, trois solutions complémentaires se présentent et ont été formalisées par la démarche négaWatt, association spécialiste de la transition énergétique (Figure 1).⁵



La première, et celle qui reste à privilégier car la plus forte des trois est **la sobriété énergétique**, qui implique la diminution de la consommation d'énergie, qui passe par un changement de modes de vie et d'habitudes.

La seconde est **l'efficacité énergétique** : il s'agit de ramener la consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement d'un équipement au plus bas pour un service rendu identique.

⁴ Commission Européenne. (2017, 16 février). Paquet sur le climat et l'énergie à l'horizon 2020. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_fr

⁵ négaWatt. (s. d.). La démarche négaWatt. Consulté à l'adresse <https://negawatt.org/La-demarche-negaWatt>

Enfin, le troisième objectif est de prioriser le recours aux **énergies renouvelables** dans l'objectif de réduire l'empreinte environnementale de la consommation d'énergie. Cela met en lumière l'impératif d'entamer une transition du modèle de consommation et de production d'énergie fossile vers un modèle mettant en avant les énergies faiblement carbonées.

Si la sobriété énergétique et l'efficacité énergétique sont deux modèles à privilégier, ils ne suffiront pas à eux seuls à réduire considérablement nos émissions de gaz à effet de serre. Cela est d'autant plus vrai que l'on assiste à une augmentation certaine de la consommation d'électricité, avec la multiplication des appareils connectés mais aussi du fait de la transition écologique, notamment avec l'essor des transports en commun électriques (tramway, bus) et l'essor attendu des voitures électriques. Pour accompagner ces transformations et ces nouvelles consommations d'énergie, les énergies renouvelables offrent une option à moindre impact environnemental : il faut donc repenser notre mix énergétique.

Mais pour porter à 20% la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie, il faut cependant penser les infrastructures nécessaires à cette transition et relier les énergies renouvelables au réseau électrique. De plus, le développement des énergies renouvelables, notamment solaire et éolienne, pose le défi de la gestion de leur intermittence. La production de ces énergies, qui varie en fonction de la météo, est relativement peu prévisible. Les énergéticiens doivent donc adapter les infrastructures pour permettre d'équilibrer la production et la consommation d'énergie avec l'injection de ce type d'énergie intermittente.

Les recherches de stockage d'énergie font partie des réponses apportées à cet enjeu d'intermittence : des batteries seront installées sur les réseaux, se chargeront lors des pics de production d'énergies renouvelables, et se déchargeront en répondant aux besoins lors des pics de consommation. Le stockage par batterie pourra être installé dans les maisons ou même dans les véhicules électriques (Vehicule to Grid ou « V2G »). Mais aujourd'hui, le coût des batteries est un frein au développement du stockage.

1.1.1.3. Naissance du consom'acteur

Avec l'ère du digital et de l'**ubérisation** de l'économie, les consommateurs s'habituent à se voir proposer des services de plus en plus personnalisés et à accéder en toute simplicité et transparence à leurs données de consommation en temps réel. C'est déjà le cas dans le secteur des télécommunications, de la banque, et même des transports, et l'énergie entame à son tour cette transformation. A travers les nouvelles technologies, le service client se transforme pour permettre un contact en temps réel et une gestion personnalisée des comptes clients et répondre aux exigences du consommateur.

En plus de cette nouvelle exigence de transparence et de personnalisation, le consommateur prend progressivement conscience de l'impact de ses choix sur la société et l'environnement, et donc de son droit de regard sur la provenance et la gestion des produits et services qu'il achète et consomme. C'est la naissance du « **consom'acteur** » : le consommateur se soucie de sa consommation, et compare avant achat le rapport qualité / prix / proximité / pollution des produits et services dans l'objectif de « mieux consommer », en s'alignant entre autres au maximum sur les principes du développement durable.

Face à ces nouvelles exigences, le secteur de l'énergie doit relever de nouveaux défis : offrir à ses clients des services permettant l'accès à l'information en temps réel et en transparence, mais également renouveler son offre d'énergie pour permettre aux consommateurs de se fournir en énergies vertes et/ou locales. Cette première exigence de renouveau du service client devra donc donner naissance à de nouveaux outils digitaux comme des plateformes et interfaces clients, nourries par une grande quantité de données obtenues en temps réel, gérées de manière sécuritaire et livrées en toute transparence. Les gestionnaires de réseau de gaz GRDF et d'électricité ENEDIS ont notamment installé leurs **compteurs communicants** Gazpar et Linky qui permettent aux clients de connaître précisément leur consommation d'énergie (Figure 2). La seconde exigence de renouveau de l'offre d'énergie ouvre la voie à l'innovation

et aux chantiers plus vastes comme la mise en œuvre de circuits courts et de boucles locales ou encore d'autoproduction et d'autoconsommation.

Figure 2 - Le compteur communicant Linky de ENEDIS

Le compteur communicant Linky de ENEDIS

Les compteurs communicants Linky, déployés à partir de 2015 en France par ENEDIS, émettent et reçoivent les données des foyers sans intervention d'un technicien. Ils permettent aux consommateurs d'avoir un suivi de consommation plus précis en ligne et en temps réel. Côté ENEDIS, ces compteurs permettent de détecter les pannes et d'intervenir plus rapidement sur le réseau, mais aussi et surtout d'avoir une analyse plus fine de la production et de la consommation d'énergie, et donc d'accompagner la transition énergétique (intégration des énergies renouvelables, boucles courtes, autoconsommation etc).

L'ensemble de ces enjeux fait émerger de nouvelles solutions puisant dans l'émergence de nouvelles technologies parmi lesquelles figure l'Intelligence Artificielle (IA).

1.1.2. L'IA comme réponse aux enjeux du secteur de l'énergie

1.1.2.1. Définition de l'Intelligence Artificielle

L'Intelligence Artificielle est un ensemble des théories et des techniques développant des algorithmes complexes capables de simuler certains traits de l'intelligence humaine (raisonnement, apprentissage...). Le terme « artificiel » distingue l'IA de « l'intelligence naturelle » attribuée à l'être humain, et reflète l'intelligence des machines, des algorithmes, des programmes, des applications et des systèmes qui peuvent collecter des données, les traiter et produire des résultats. L'intelligence artificielle prend des décisions basées sur des informations qui prennent la forme de statistiques en fonction d'objectifs prédéfinis. Ainsi, pour être réellement efficace, elle s'appuie sur du *big data*, qui peut être acquis notamment à l'aide de systèmes de capteurs collectant des données (Internet of Things ou IoT). L'Intelligence Artificielle peut également s'appuyer sur l'IoT pour exécuter les décisions qu'elle prendrait.

Si l'Intelligence Artificielle est aujourd'hui un terme très en vogue, beaucoup la critiquent, d'une part parce que l'intelligence serait une capacité cognitive proprement humaine (Figure 3), et d'autre part parce que beaucoup voient en elle un terme très marketing, notamment très attractif pour les investisseurs, alors que l'intelligence artificielle ne serait finalement pas grand-chose de plus qu'un algorithme poussé par le *big data*. Et pour preuve, une étude de MMC Ventures parue en 2019 dévoile que seulement 60% des startups dites « spécialisées dans l'IA » l'exploitent de manière significative pour leur activité.⁶

⁶ Les Échos. (2019, 6 mars). Seules 60% des startup IA en Europe peuvent prouver qu'elles font de l'intelligence artificielle. Consulté à l'adresse <https://www.lesechos.fr/tech-medias/intelligence-artificielle/seules-60-des-startup-ia-en-europe-peuvent-prouver-que-elles-ont-de-l-intelligence-artificielle-996183>

Figure 3 - Entretien avec Nicolas Bonnerot sur l'IA chez d'RTE

Entretien avec Nicolas Bonnerot sur l'IA chez d'RTE

« Chez RTE, nous avons choisi le terme d'Intelligence Augmentée, le terme "artificiel" pouvant être connoté. Cela peut notamment poser problème au niveau de la conduite du changement. L'idée n'est pas de remplacer les chargés d'études, mais de construire des assistants intelligents, c'est-à-dire de mettre à la disposition des chargés d'études les meilleures informations pour qu'ils puissent faire leurs études. Le volume d'étude augmentant de façon importante, le but n'est pas de multiplier le nombre de chargés d'étude mais de faire nos études plus intelligemment en assistant le chargé d'étude dans ses hypothèses, dans ses analyses. »

Nicolas Bonnerot, Directeur de projet Intelligence Artificielle chez RTE

On distingue cependant une IA dite « faible » d'une IA dite « forte », munie d'une conscience ou de ressentis, qui ressemble en tous points à l'intelligence humaine. On peut distinguer trois compétences caractéristiques de l'IA :

- 1. La capacité d'apprentissage (*machine learning*) :** l'IA a la capacité d'acquérir des connaissances, que ce soit de manière supervisée ou de manière indépendante, grâce à un grand nombre de données fournies, et d'en tirer des conclusions logiques.
- 2. La capacité de comprendre et d'agir :** cette capacité d'apprentissage englobe par exemple le fait d'apprendre à percevoir le langage, reconnaître une voix, des émotions, et ainsi d'analyser et comprendre des situations.
- 3. La capacité d'anticiper :** grâce au volume colossal de données intégrées, l'IA a la capacité d'analyser des situations récurrentes et des écarts, et donc de planifier et de prévoir des situations.

Avec l'apprentissage automatique et l'automatisation des comportements intelligents, l'IA permet une réaction flexible aux changements et à l'environnement. En somme, l'IA peut apprendre de l'expérience et prendre de nouvelles décisions de manière indépendante.

Grâce à ces capacités, l'Intelligence Artificielle se dessine naturellement comme un avantage concurrentiel important et est à ce titre au cœur des réflexions stratégiques et des efforts de R&D des grandes entreprises, tous secteurs confondus. L'attrait est d'autant plus élevé que cette technologie semble à même de contribuer à faire face aux plus grands défis d'aujourd'hui, en particulier ceux de l'énergie.

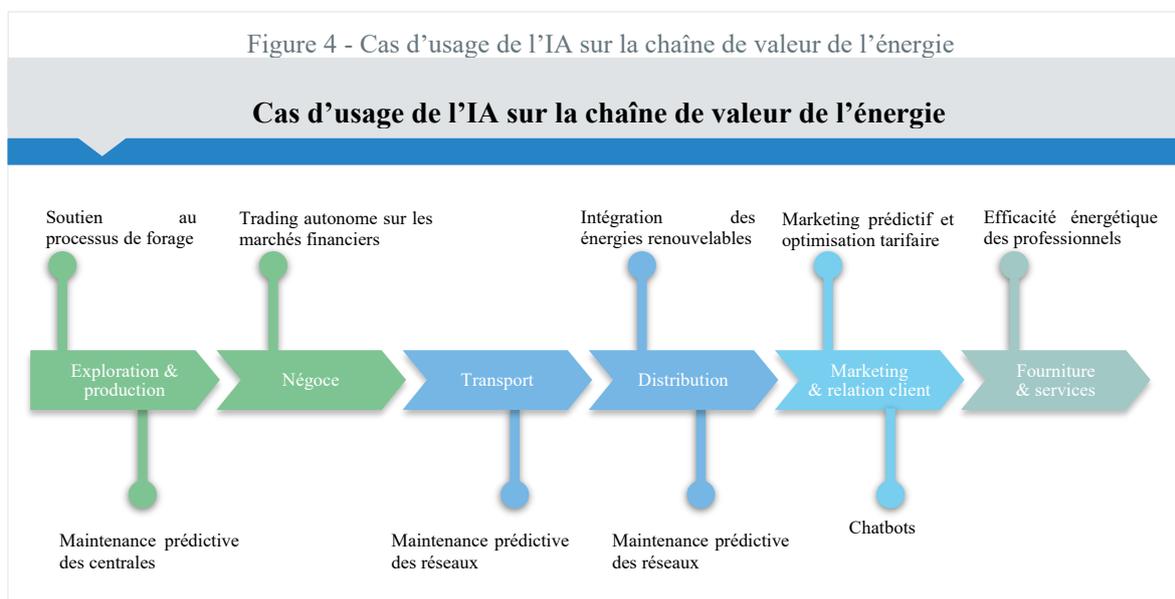
1.1.2.2. Cas d'usage de l'Intelligence Artificielle dans l'énergie

Grâce à ses trois capacités (apprentissage, compréhension, anticipation), l'IA semble à même de répondre aux grands enjeux auxquels fait face le secteur de l'énergie.

En premier lieu, l'IA apporte évidemment son soutien à toutes les fonctions transverses communes à tous les secteurs d'activité (achats, finance, RH, SI) dans une logique de baisse des coûts, de productivité et de compétitivité.

Mais les différentes technologies d'IA répondent surtout à de nombreux usages et besoins spécifiques aux métiers de l'énergie et donnent une première réponse aux grands enjeux de demain. Tout d'abord, l'IA permet d'optimiser les réseaux énergétiques et d'y intégrer les énergies renouvelables, répondant ainsi aux enjeux de transition énergétique. L'IA permet également d'optimiser les services, et notamment ceux du marketing et du service client, répondant aux nouvelles attentes du « consommateur ». En permettant d'agir sur les coûts et la productivité, l'IA représente un élément de compétitivité non négligeable face à la libéralisation du marché et à la menace des nouveaux entrants.

Plus précisément, en suivant la chaîne de valeur de l'énergie (Figure 4), on identifie de nombreux cas d'usage de l'Intelligence Artificielle : en amont pour les producteurs, l'IA trouve des cas d'usage dans les métiers de **production et de trading**, ensuite pour les gestionnaires de réseaux (RTE et Enedis), l'IA offre des solutions en termes de **gestion des réseaux intelligents**, avec une meilleure anticipation des chocs météorologiques et du changement climatique. Plus en aval de la chaîne de valeur, l'IA apporte une plus-value aux fournisseurs d'énergie en valorisant leurs **offres marketing et leur relation clients**, via une analyse fine de la consommation et des *chatbots* par exemple, mais aussi en améliorant **l'efficacité énergétique des professionnels**, grâce aux capteurs installés sur leurs réseaux électriques (IoT).



Un focus sur chacun des maillons de la chaîne de valeur sera effectué afin de mettre en exergue pour chacun d'entre eux les cas d'application de l'IA, leur stade de développement et la stratégie de déploiement à adopter.

Exploration, production et négociation



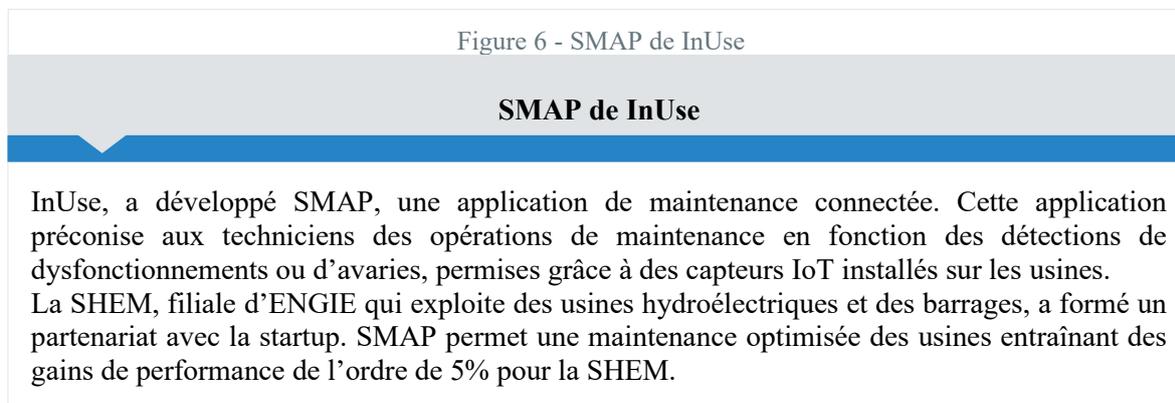
En amont de la chaîne de valeur, sur les maillons de l'exploration, de la production ou encore du négociation (Figure 5), l'IA trouve de nombreux cas d'application explicités ci-après.

Cas d'application

Pour **l'exploration** d'abord, l'IA permet d'optimiser les méthodes d'exploration des sols pour l'extraction d'hydrocarbures. En analysant des situations similaires à celle en présence, l'IA peut alerter sur des problèmes probables et donner des pistes de résolution, diminuant significativement les risques

et les coûts d'extraction. Lors du processus de forage en particulier, l'IA permet de mieux préparer les opérations et surveiller le bon fonctionnement des équipements.

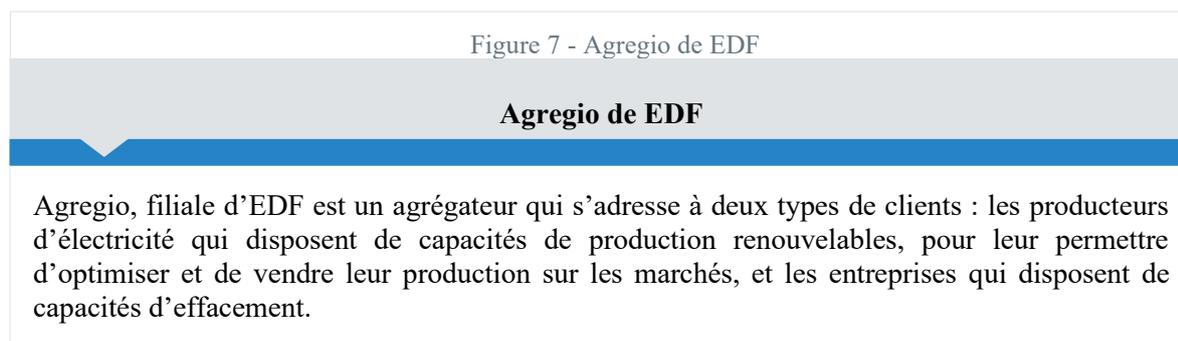
Pour la **production** ensuite, l'IA peut être utile dans la maintenance prédictive des centrales de production d'énergie, quelles que soient leurs natures (nucléaire, éolien, solaire, etc). La maintenance prédictive est permise grâce à des technologies de jumeaux numériques ou d'algorithmes d'anticipation d'usures. En recueillant et analysant les données transmises par les capteurs sur ces centrales, l'IA peut alerter des dysfonctionnements à venir et conseiller des opérations de maintenance. Cela permet une optimisation de la production des centrales ainsi qu'une prévention des pannes, ce qui permet de réduire les coûts d'accident et de maintenance. L'application SMAP est un exemple d'utilisation de l'IA pour la maintenance (Figure 6)⁷.



Dans le **négoce** ensuite, tout comme dans de nombreux secteurs, l'IA peut se substituer à l'homme pour négocier les matières premières comme l'énergie sur les marchés financiers. L'IA est en effet capable d'identifier les signaux haussiers ou baissiers sur les marchés et de mettre en œuvre de manière indépendante des stratégies d'arbitrages.

Le **négoce** est également un élément clé de l'intégration de la production d'énergie renouvelable. La production d'énergie renouvelable est peu stable et donc difficile à prévoir. De plus, avec les évolutions réglementaires dans le domaine des énergies renouvelables, les exploitants de fermes éoliennes ou de centrales photovoltaïques se tournent vers le marché pour vendre leur électricité. Cette énergie doit donc être maîtrisée pour être vendue à un prix juste. L'Intelligence Artificielle est donc beaucoup utilisée pour exploiter la forte quantité de données par exemple météorologiques et techniques, et fournir des prédictions les plus exactes possibles de la quantité d'énergie produite, ainsi que le prix adéquat.

Les **agrégateurs** s'insèrent donc dans cette chaîne en tant qu'intermédiaires, proposant des solutions d'IA pour la prédiction de la demande et la fixation du prix sur le marché. Agregio en est un exemple (Figure 7).⁸



⁷ InUse. (s. d.). La SHEMA choisit InUse pour digitaliser la maintenance de ses usines hydroélectriques. Consulté à l'adresse <https://inuse.eu/fr/news/la-shem-choisit-inuse-pour-digitaliser-la-maintenance-preventive-de-son-activite-petite-hydroelectricite/>

⁸ Agregio. (s. d.). Agregio, agrégateur du Groupe EDF. Consulté à l'adresse <http://www.agregio-edf.com>

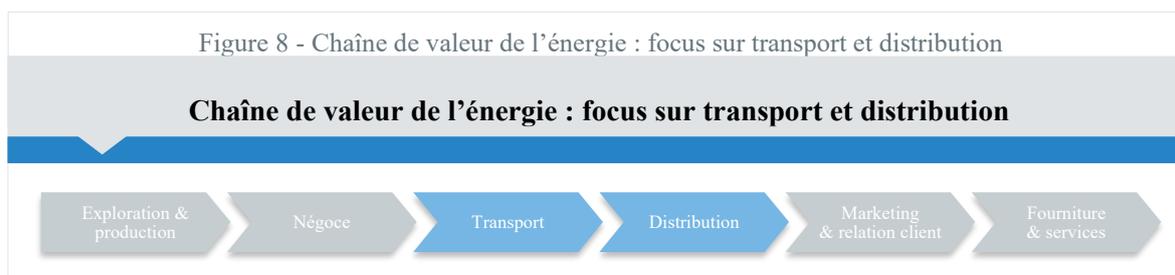
Stade d'évolution

Selon une étude Xerfi parue en 2020, les maillons en amont de la chaîne de valeur de l'énergie ont été les premiers à utiliser l'IA : en 2019, 18% des énergéticiens ont déjà recours à l'IA pour la production et le négoce d'énergie.⁹

Stratégie de déploiement

La stratégie de déploiement est souvent externe et passe par exemple par un achat de solutions développées par des géants du numérique ou de services technologiques comme IBM, Microsoft ou General Electric.

Transport et distribution



Sur les maillons régulés de la chaîne de valeur du transport et de la distribution (Figure 8), il s'agit pour les gestionnaires de réseaux (transporteur et distributeur) de gérer les réseaux intelligents.

D'après le site Connaissance des énergies, les réseaux intelligents ou « smart grids » peuvent être définis comme « des réseaux d'électricité qui, grâce à des technologies informatiques, ajustent les flux d'électricité entre fournisseurs et consommateurs »¹⁰. Leur mise en place permet aux énergéticiens d'adresser leurs principaux enjeux.

Cas d'application

Les données collectées sur les smart grids via des capteurs permettent aux gestionnaires de réseaux d'optimiser la gestion des réseaux de transport et de distribution électrique afin d'ajuster l'offre et la demande.

En outre, les smart grids permettent une analyse fine des besoins pour **adapter le réseau** aux flux de production et de consommation et même d'optimiser la maintenance des réseaux avec des modèles prédictifs de dysfonctionnement (**maintenance prédictive**). Les données transmises par les smart grids permettent par exemple à RTE d'améliorer la qualité de son réseau grâce à l'Intelligence Artificielle (Figure 9).¹¹

Grâce aux **compteurs communicants**, les utilisateurs peuvent maîtriser et optimiser leur consommation électrique et la réduire si nécessaire ; ils pourront aussi produire et consommer tout ou partie de leur électricité (autoproduction et autoconsommation).

Les smart grids permettent de faciliter **l'essor des énergies renouvelables** car sont capables de gérer l'intermittence inhérente au renouvelable qui nécessite d'avoir une connaissance en temps réel des flux de manière à pouvoir optimiser la production en fonction de la consommation.

⁹ Xerfi. (2020, juin). *La révolution de l'intelligence artificielle dans la filière de l'énergie*. Consulté à l'adresse https://www.xerfi.com/presentationetude/La-revolution-de-l-intelligence-artificielle-dans-la-filiere-de-l-energie_20SCO58

¹⁰ Connaissance des énergies. (2015, 14 avril). Réseau intelligent (Smart Grid). Consulté à l'adresse <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reseau-intelligent-smart-grid>

¹¹ RTE. (2017, mars). *Voyage au coeur du réseau de demain*. Consulté à l'adresse https://www.rte-france.com/sites/default/files/files/au_coeur_du_reseau_dossier.pdf

Figure 9 - Apogée de RTE

Apogée de RTE

En 2016, RTE a lancé son projet d'Intelligence Artificielle « Apogée » dans l'objectif d'améliorer la qualité du réseau électrique et d'inclure les énergies renouvelables. Aujourd'hui, Apogée traite 1 million de données en temps réel pour optimiser la gestion des flux d'électricité circulant sur le réseau et limiter les risques de panne. Concrètement, Apogée effectue toutes les opérations de routine de manière indépendante et alerte les techniciens des problèmes plus complexes.

Stade d'évolution

En Europe, les projets smart grids fleurissent, dans l'alignement de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050. En 2017, le Centre commun de recherche de la Commission Européenne (JRC) dénombrait déjà 950 projets smart grids en Europe, dont 57% en stade de R&D et 43% de démonstrateurs.¹²

Aujourd'hui, la France se positionne comme leader européen des smart grids. Avec plus d'une centaine de démonstrateurs sur son territoire - Flexgrid en Provence-Alpes-Côte d'Azur, SMILE en Bretagne et dans les Pays de la Loire (Figure 10)¹³, et You & Grid dans les Hauts-de-France -, la France est à la pointe de la recherche et des applications concrètes. A l'échelle mondiale, la France reste parmi les leaders, derrière le Japon qui, notamment poussé par sa situation de dépendance énergétique, est le pays pionnier des smart grids.

Figure 10 - SMILE

SMILE

Le projet SMILE (SMart Ideas to Link Energies) lancé par les régions Bretagne et Pays de la Loire consiste à déployer un réseau électrique intelligent à grande échelle entre 2017 et 2020 sur 4 départements du Grand Ouest et les îles du Finistère. L'objectif est « *d'assurer une fourniture d'électricité durable, économique et sécurisée* ».

A noter que les smart grids sont des infrastructures jugées « sensibles », et nécessitent une IA plus complexe. Cela explique pourquoi les technologies d'IA sur les smart grids sont pour la plupart au stade de démonstrateur.

Stratégie de déploiement

Les acteurs concernés étant régulés, les stratégies de déploiement répondent à des logiques de recherche menées au niveau national en interne, qui peuvent se faire en partenariat avec des startups ou autre acteur spécialisé.

¹² Les-smartgrids.fr. (2019, 26 août). Smart grids : les projets fleurissent en Europe, la France bien placée. Consulté à l'adresse <https://les-smartgrids.fr/smart-grids-projets-europe-france/>

¹³ SMILE. (2016). Les dates clés de SMILE. Consulté à l'adresse <https://smile-smartgrids.fr/fr/actualites/les-dates-cles-de-smile.html>

Marketing et relation client



Les fournisseurs d'énergie intègrent aussi l'IA en aval de la chaîne de valeur, sur le maillon « marketing et relation client » (Figure 11) dans des objectifs de réduction de coûts grâce à l'automatisation de tâches marketing et service client, mais aussi de fidélisation client, grâce à un service optimisé et personnalisé.

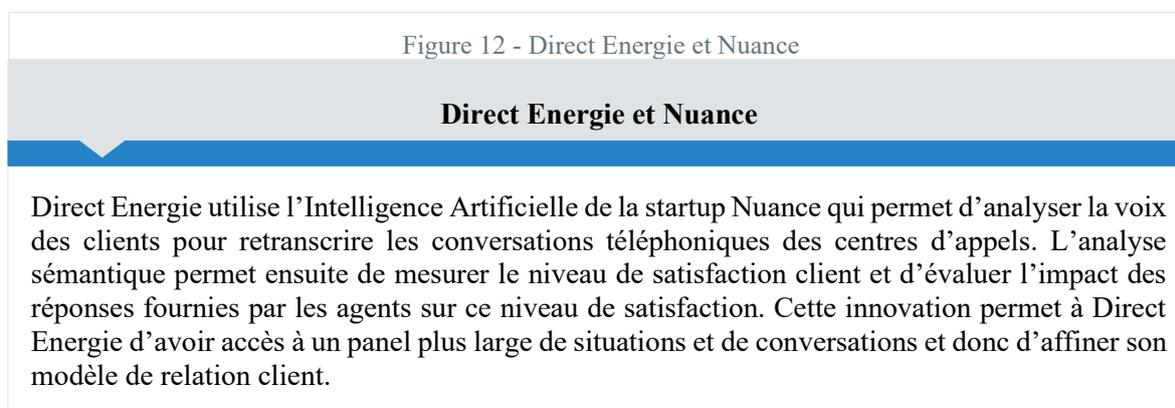
Cas d'application

L'un des usages les plus classiques et aboutis de l'IA est le marketing, et en particulier le **marketing digital** : les données recueillies sur les clients et prospects permettent de faire du marketing prédictif et d'apporter des recommandations personnalisées, à l'image d'Amazon. Les campagnes sont menées de manière automatique grâce à l'IA, ce qui permet d'énormes gains de productivité pour les fournisseurs.

L'IA peut également servir à personnaliser les offres pour leurs clients et à faire de **l'optimisation tarifaire** : grâce aux données récoltées et traitées en temps réel, l'IA détermine le bon prix de l'énergie en fonction de facteurs prédéfinis – tranches horaires, consommation du client etc. Cela peut donner lieu à la tarification dynamique.

Les **chatbots**, qui sont une forme d'Intelligence Artificielle, font quant à eux la révolution de la relation client. Ces outils conversationnels, disponibles à tout moment, permettent de traiter des tâches faciles et répétitives comme répondre à des demandes de souscription ou d'information de consommation d'énergie. Les fournisseurs d'énergie peuvent ainsi se concentrer sur leur cœur de métier et réaliser des gains de productivité.

La relation client peut également être améliorée grâce à l'analyse de la voix et des échanges avec le client, grâce à une Intelligence Artificielle comme celle développée par la startup Nuance et utilisée par Direct Energie (Figure 12)¹⁴.



¹⁴ Nuance. (2017). Direct Energie continue d'innover au service de ses clients grâce à la solution Nuance Transcription Engine. Consulté à l'adresse <https://www.nuance.com/fr-fr/about-us/newsroom/press-releases/Direct-Energie-continue-au-service-de-ses-clients-la-solution-Nuance-Transcription-Engine.html>

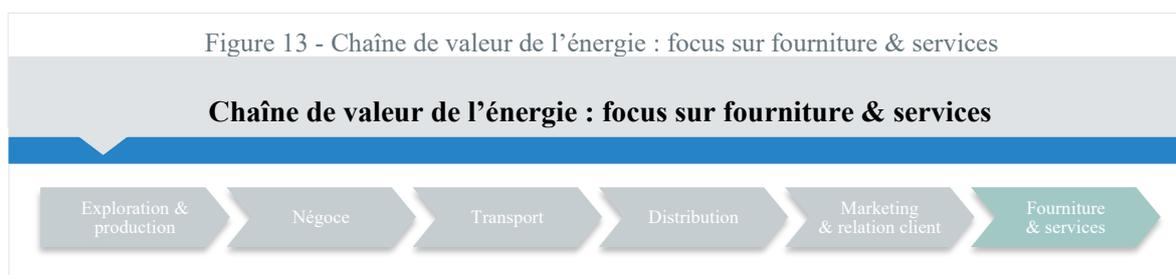
Stade d'évolution

Le marketing digital et les chatbots représentent l'utilisation la plus courante de l'IA par les fournisseurs d'énergie. Du côté des chatbots par exemple, tous les fournisseurs d'énergie avaient déjà entamé en 2016 le stade de démonstrateur ou Proof of Concept (PoC) pour leurs chatbots et sont aujourd'hui fonctionnels.

Stratégie de déploiement

Le déploiement est souvent externalisé et passe par des contractualisations avec des géants du numérique ou des startups spécialisées.

Fourniture et services

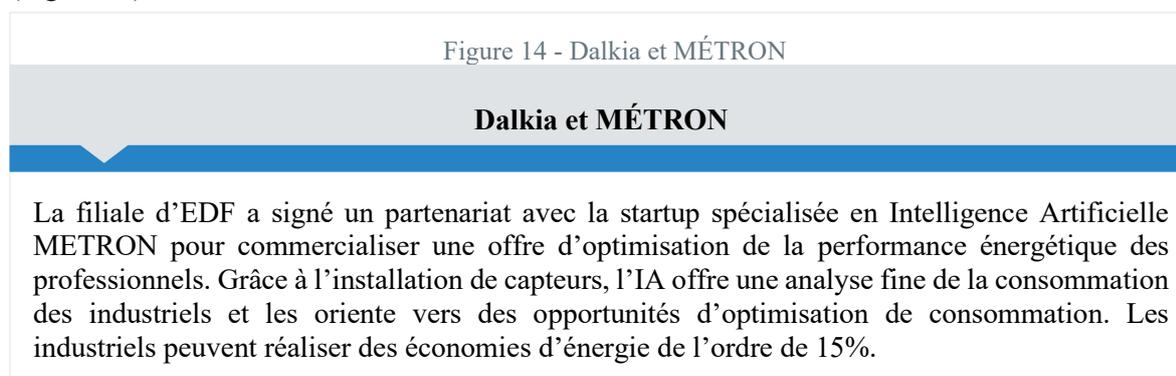


On constate également un usage de l'IA dans le dernier maillon de la chaîne de valeur de l'énergie, à savoir celui de la fourniture et services associés (Figure 13).

Historiquement, le modèle d'affaires des fournisseurs d'énergie reposait uniquement sur la vente d'énergie. Aujourd'hui, la réglementation et en particulier la transition énergétique qui leur est imposée, les pousse à repenser ce modèle d'affaires. En effet, leur rôle consiste toujours à vendre de l'énergie, mais une mission plutôt paradoxale leur est dorénavant imposée : celle d'accompagner leurs clients, qu'ils soient particuliers ou professionnels, à la sobriété et l'efficacité énergétique, en clair une diminution de la consommation d'énergie, donc un manque à gagner pour ces fournisseurs.

Cas d'application

La solution repose donc dans la proposition de nouveaux services d'accompagnement d'optimisation énergétique. En plus de prestations d'audit énergétique, les fournisseurs proposent des solutions IA qui ajustent la consommation d'énergie des professionnels en fonction de plusieurs paramètres (prix de l'électricité, prévisions météorologiques...), à l'image de l'offre du partenariat Dalkia et MÉTRON (Figure 14)¹⁵.



¹⁵ Dalkia. (s. d.). Dalkia et METRON signent un partenariat pour une offre numérique afin d'accélérer la transition énergétique des industriels | Dalkia. Consulté à l'adresse <https://www.dalkia.fr/fr/espace-presse/communiqu-e-de-presse/dalkia-analytics-metron>

Stade d'évolution

A l'heure actuelle, la majorité des fournisseurs d'énergie se sont placés sur le marché de proposition de services aux professionnels grâce aux capteurs IoT.

Stratégie de déploiement

Généralement, la création d'une telle offre se fait en partenariat avec un acteur spécialisé, startup ou géant du numérique.

Ces quatre maillons de la chaîne de valeur ont donc de nombreux cas d'application qui ont commencé à se déployer au sein du secteur énergétique, donnant lieu à une filière de l'IA appliquée à l'énergie. Cette filière est l'objet de notre recherche, et une analyse approfondie nous permettra d'en définir les contours et enjeux.

1.1.3. Définition du marché de l'IA dans le secteur de l'énergie

1.1.3.1. Définition de la filière de l'IA dans le secteur de l'énergie

Dans la suite de ce rapport, la filière de l'Intelligence Artificielle appliquée au secteur de l'énergie sera définie comme l'ensemble des acteurs visant à développer des services et activités fondées sur l'IA pour répondre aux enjeux du secteur énergétique.

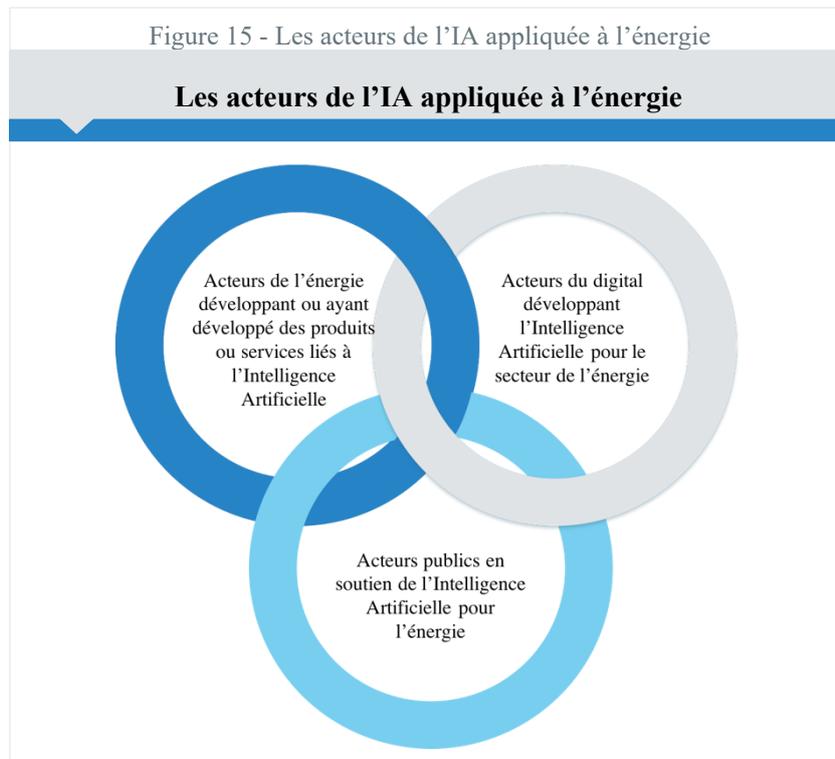
Cette filière regroupe trois types d'acteurs. Les premiers sont les **acteurs du secteur de l'énergie** qui fournissent des efforts de recherche dans les technologies d'Intelligence Artificielle pour l'énergie, ou forment des partenariats avec d'autres types d'acteurs pour développer des offres IA. Cette première catégorie d'acteurs inclue notamment les énergéticiens de toute la chaîne de valeur, ainsi que les équipementiers et autres entreprises dont le cœur de métier est lié à l'énergie.

Les seconds acteurs sont les **acteurs du digital**, qui développent ou appliquent des technologies d'intelligence artificielle au secteur de l'énergie. On y compte notamment les géants du web et les startups.

Le troisième type d'acteurs regroupe les **acteurs publics** qui participent directement ou indirectement à ces dynamiques de développement de l'IA pour l'énergie ou à la compétitivité des acteurs de l'IA pour l'énergie. Cela inclue à la fois les collectivités locales et organes gouvernementaux, mais aussi les acteurs de la recherche en IA appliquée à l'énergie dont les chercheurs, centres universitaires ou laboratoires publics.

Cette filière inclue donc des acteurs traditionnels de la filière énergie, mais aussi de nouveaux acteurs du numérique ou d'autres secteurs qui s'insèrent dans le secteur énergétique par des technologies d'Intelligence Artificielle (Figure 15).

Figure 15 - Les acteurs de l'IA appliquée à l'énergie



1.1.3.2. L'IA appliquée à l'énergie, une filière relativement en avance en France

L'étude « Prospective : Intelligence Artificielle – État de l'art et perspectives pour la France »¹⁶ publiée par le ministère de l'Économie en février 2019 propose un classement des secteurs de l'économie selon des critères sur les usages actuels et l'impact potentiel de l'Intelligence Artificielle.

Dans cette étude, le secteur énergétique fait partie de la catégorie « Utilities dont l'énergie ». Selon un classement des secteurs d'activités concernés par l'IA fondé sur les trois critères que sont l'adoption de l'IA, l'impact potentiel de l'IA sur le secteur et l'innovation en IA, le secteur « utilities dont l'énergie » se place, **au niveau mondial**, au 12^{ème} rang parmi les 15 secteurs représentés.

Au niveau national en revanche, le secteur « Utilities dont énergie » se place au 4^{ème} rang des secteurs de l'économie française les plus concernés par l'IA, après la santé, les industries manufacturières (dont l'automobile) et le secteur transports-mobilité.

Cette étude au niveau national est fondée quant à elle sur les critères suivants :

- Poids du secteur dans le PIB national,
- Contribution du secteur à l'emploi,
- Atouts de la France dans la compétition mondiale,
- Existence de plateformes hégémoniques dans le secteur,
- Marges de manœuvre de l'action publique pour stimuler les usages IA.

Ainsi, si les critères ne sont pas précisément les mêmes, force est de constater que la filière française de l'énergie est particulièrement concernée par l'IA. Si l'IA profitera certainement à la filière à l'échelle nationale, elle représente également un enjeu majeur de compétitivité à l'international, étant donné que plusieurs des cas d'usage cités précédemment connaissent une très forte croissance de la demande, à l'image du « **Smart Operation** » (Figure 16), tel que décrit lors de nos échanges par un membre de Business France Brésil.

¹⁶ Ministère de la cohésion des territoires et ministère de l'économie et des finances. (2019). *PROSPECTIVE Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives pour la France*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Intelligence_artificielle/2019-02-intelligence-artificielle-etat-de-l-art-et-perspectives.pdf

Figure 16 - Le Smart Operation et les pays émergents

Le Smart Operation et les pays émergents

Les technologies smart grids, et notamment le *Smart Operation*, se développeront plus rapidement dans les pays émergents en raison d'une très forte croissance de la demande électrique. Les pays émergents, pour répondre à cette croissance, vont donc réaliser un saut technologique majeur lors du renouvellement du réseau, pour être en mesure de répondre aux différents enjeux de stabilité et d'efficacité du réseau. C'est notamment le cas au Brésil, où l'énergie est composée à plus de 83% d'énergie renouvelable, et où de nombreux projets de réseau ont été annoncés pour 2023.

1.1.3.3. Les contraintes de développement de l'IA dans le secteur de l'énergie

Le développement de l'IA se heurte à de nombreux obstacles, dont au premier rang figure la question des données. En effet, l'Intelligence Artificielle, étant donné qu'elle s'appuie sur la puissance du *big data*, nécessite des infrastructures numériques pour collecter les données (via des réseaux), formater ces données, puis les traiter (via des centres de données).

La première étape de collecte des données est en marche, notamment grâce au déploiement des compteurs connectés initié en 2014 par GRDF (Gazpar) puis en 2015 par Enedis (Linky) ainsi que l'installation des Smart Grids. Grâce à ces capteurs, les énergéticiens ont accès à un volume de données croissant. Selon Think Smartgrids, « *Le volume de données disponibles à des fins d'analyse et d'aide à la décision chez un énergéticien pourrait être multiplié d'un facteur de 1500 sur 15 ans (de 1 TB en moyenne en 2010, à 1500 TB prévu en 2025)* ». ¹⁷ Les données de consommation, de production et autres données des réseaux ainsi récoltées permettent de développer des algorithmes qui permettront de faire face aux enjeux du secteur sur toute la chaîne de valeur de l'énergie.

La question de **l'appartenance des données** se pose cependant. Ainsi, si ENEDIS a accès à une très forte quantité de données à travers les réseaux, les opérateurs tels que EDF ou ENGIE ont en revanche beaucoup moins de données. En effet, ENEDIS n'est autorisé à partager avec les énergéticiens que les données de leurs clients respectifs. Or, du point de vue culturel, la donnée est un bien sensible en Europe, bien plus qu'en Asie, dans des pays comme la Corée du sud, le Japon, ou la Chine.

Au-delà du besoin d'accès à une grande quantité de données, l'enjeu est d'assurer la **protection et la sécurité de ces données**, pour veiller notamment à la confidentialité des données recueillies, ce qui est notamment encadré par le règlement général sur la protection des données (RGPD) entré en application en mai 2018. Les systèmes doivent notamment faire preuve de résistance face aux cyberattaques.

Une autre contrainte non négligeable de l'IA est **la consommation d'énergie qu'elle nécessite**. Le traitement de grandes quantités de données nécessaire à l'IA consomme beaucoup d'électricité et cela serait évidemment contradictoire de répondre aux enjeux de transition énergétique et écologique via l'IA si l'on ne parvient pas à résoudre cet enjeu en premier lieu. Il apparaît donc essentiel d'analyser comment concevoir les centres de données qui soient eux-mêmes économes en énergie et aussi climatiquement neutres que possible. L'entreprise Next Kraftwerke expose plusieurs solutions possibles à ce dilemme : la proximité physique des centres de données et des usines de production d'énergie renouvelable, le report des opérations de calcul intensives en énergie à des moments où beaucoup

¹⁷ Think Smartgrids. (2019, 1 avril). France leader IA domaine energie. Consulté à l'adresse <https://www.thinksmartgrids.fr/actualites/france-leader-ia-domaine-energie>

d'énergie est disponible, du matériel informatique plus économe en énergie ou une programmation qui nécessite aussi peu de puissance de calcul que possible.¹⁸

Un autre obstacle majeur pour beaucoup de cas d'usage est **l'incertitude concernant les résultats de l'Intelligence Artificielle**. Cela s'applique à la fois à l'analyse des données, et à la prise de décision. Sur des décisions à impact, une confirmation par l'homme est généralement requise lorsqu'une décision est prise par la machine, afin d'éviter que des dysfonctionnements n'impliquent des prises de décision aberrantes. Un enjeu majeur actuellement est de développer l'intelligence artificielle explicable, capable de tracer la source de ses données, ainsi que son cheminement de pensée pour donner un résultat ou une décision. Cette « explicabilité » est un moyen de palier le problème de la boîte noire : des informations sont traitées par l'IA et une décision en ressort, sans aucune justification, et donc sans possibilité de vérification. Cependant, l'Intelligence Artificielle n'en est pas encore à son stade le plus abouti.

1.1.3.4. Un secteur encore inégalement mature

Si l'Intelligence Artificielle n'en est encore qu'au stade de recherche, d'un point de vue technologique, nous arrivons tout de même aujourd'hui à lui faire réaliser des tâches cognitives d'apprentissage et de prises de décisions très poussées. En 2017 déjà, McKinsey posait la problématique suivante : « *L'IA est quasiment prête pour le business, mais le business est-il prêt pour l'IA ?* ».¹⁹

D'après le rapport « *Intelligent Automation in Energy and Utilities, The next digital wave* »²⁰ publié par le Capgemini Research Institute en mai 2019, les acteurs de l'énergie ayant un ou plusieurs cas d'usage d'IA sont en forte augmentation, passant de 28% en 2017, à 52% en 2019. Toutefois, ces cas restent concentrés sur le cœur de métier des entreprises, et seulement 15% des acteurs de l'énergie ont réussi à déployer plusieurs cas d'usage de l'IA à grande échelle.²¹

A l'image des autres technologies émergentes, les tests et l'adoption de l'IA sont très corrélés à la digitalisation d'un secteur. Les secteurs de la banque et de l'assurance par exemple, ayant entamé très tôt leur digitalisation, sont en avance sur cette technologie : ils ont par exemple été parmi les premiers à mettre en place les *chatbots*, ce que l'on peut considérer être la forme d'IA la plus simple.

Aujourd'hui, tout comme leurs pairs d'autres secteurs, les acteurs de l'énergie font face à des obstacles considérables pour mettre en œuvre leurs initiatives d'automatisation.

Les cas d'usage ne sont pas tous au même stade de développement. Ce déploiement inégal des cas d'usage s'explique également par un déploiement inégal des types d'IA. En effet, les IA plus complexes dans le déploiement, comme les services énergétiques intelligents ou les réseaux intelligents sont beaucoup moins développées.

La complexité de l'Intelligence Artificielle peut se décliner sous plusieurs échelles, partant de la forme la plus simple d'Intelligence Artificielle, qui s'apparente finalement à un algorithme complexe, en passant par le *machine learning*, qui correspond à la capacité de l'IA d'apprendre d'elle-même à partir de données structurées, puis l'IA construite sous la forme d'un réseau de neurones, et enfin le *deep learning*, un approfondissement du *machine learning*, qui permet plus d'abstraction par de nombreuses interactions entre les différents neurones, et une plus forte complexité des « couches cachées » entre l'entrée des données et le résultat (Figure 17).

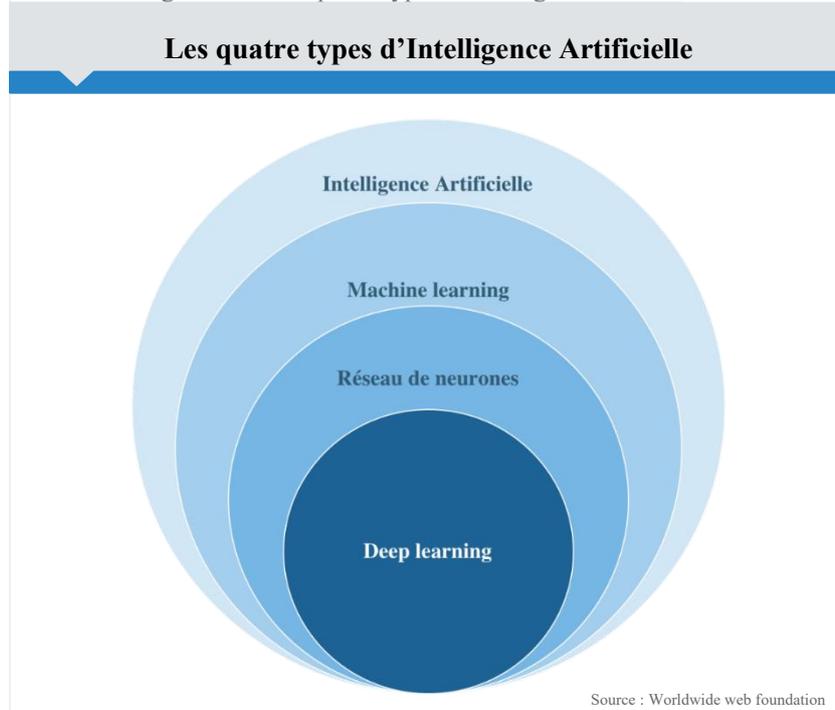
¹⁸ Next Kraftwerke. (2019, 11 décembre). Artificial Intelligence. Consulté à l'adresse <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/artificial-intelligence>

¹⁹ McKinsey Global Institute. (2017, juin). *Artificial Intelligence the next digital frontier?*. Consulté à l'adresse <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/how%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20value%20to%20companies/mgi-artificial-intelligence-discussion-paper.ashx>

²⁰ Capgemini. (2019, mai). *Intelligent Automation in Energy and Utilities - The next digital wave*. Consulté à l'adresse <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/05/Digital-Report---Automation-in-Utilities-1.pdf>

²¹ Capgemini. (2019, mai). *Intelligent Automation in Energy and Utilities - The next digital wave*. Consulté à l'adresse <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/05/Digital-Report---Automation-in-Utilities-1.pdf>

Figure 17 - Les quatre types d'Intelligence Artificielle



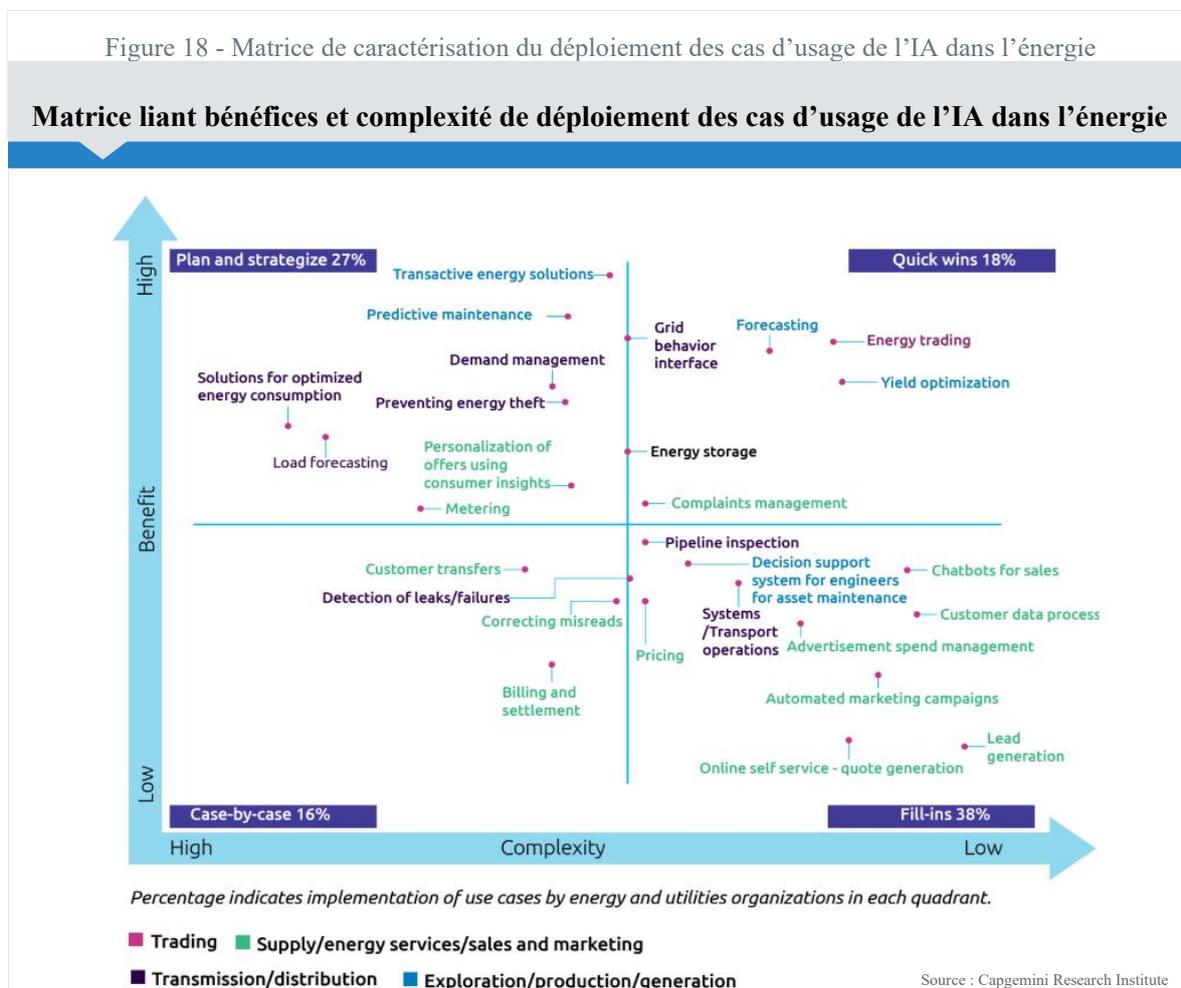
Les différences de complexité de l'IA sous-entendent également les différences d'aptitudes qu'elle peut posséder, qui peuvent aller du traitement simple d'un large nombre de données, à d'autres aptitudes plus complexes, dont :

- **L'AI PaaS (Platform as a Service)** permet de rassembler plusieurs services d'intelligence artificielle au sein d'une même plateforme.
- **L'Edge AI** permet de traiter les données et prendre des décisions localement, soit directement sur un périphérique matériel sans connexion.
- **L'Explainable AI (XAI)** permet d'expliquer le cheminement de pensée et les résultats d'une intelligence artificielle. Celle-ci est une réponse au concept de "boîte noire" dans l'apprentissage automatique et est particulièrement intéressante pour les systèmes critiques.
- **Le Transfer Learning** est un des champs de recherche de *machine learning* qui vise à transférer des connaissances d'une ou plusieurs tâches sources vers une ou plusieurs tâches cibles.

Ces différentes aptitudes se retrouvent d'ailleurs majoritairement sur la courbe ascendante de la « *Gartner hype cycle for emerging technologies 2019* ». ²² Cette courbe de Gartner décrit un modèle en 5 étapes que suivent presque toutes les nouvelles technologies. Tout d'abord, on observe une forte croissance de l'intérêt médiatique sur le sujet, qui s'accompagne d'un intérêt croissant des acteurs et de fortes attentes sur le sujet. Après un pic, on observe une redescende de l'intérêt pour la technologie et plus de réalisme par rapport à la technologie en question et son potentiel exploitable. Or, les quatre technologies d'Intelligence Artificielle citées ci-dessus se situent parmi les technologies aux fortes attentes, mais encore peu développées.

²² Gartner. (2019, août). *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2019*. Consulté à l'adresse <https://www.gartner.com/en/documents/3956015/hype-cycle-for-emerging-technologies-2019>

Dans un rapport intitulé « *Intelligent Automation in Energy and Utilities, The next digital wave* »²³ paru en mai 2019, Capgemini propose une matrice comparant les bénéfices pour les énergéticiens à la complexité de déploiement des différents cas d'usage (Figure 18).



Les cas d'usage considérés à forte complexité par ce rapport se recoupent avec les cas d'usage peu développés définis précédemment, à l'image des réseaux intelligents et des services énergétiques intelligents. Des cas d'usage plus développés tels que la production, le négoce, la fourniture et la relation client sont quant à eux plutôt catégorisés à plus faible complexité de déploiement. L'inégalité de déploiement des cas d'usage est donc fortement liée à leur complexité.

Une telle inégalité de déploiement concernant la complexité de l'Intelligence Artificielle peut s'expliquer par une priorisation moins forte de la R&D en IA dans la filière de l'énergie comparativement à d'autres secteurs. Si le secteur « utilities dont l'énergie » se place au 12^{ème} rang parmi les 15 représentés en termes d'adoption, d'impact potentiel et d'innovation en IA, elle ne se positionne qu'en 14^{ème} place sur le seul critère du niveau d'innovation en IA,²⁴ ce qui laisse à penser que les innovations adoptées dans le secteur de l'énergie ont été poussées par d'autres secteurs plus innovants.

²³ Capgemini. (2019, mai). *Intelligent Automation in Energy and Utilities - The next digital wave*. Consulté à l'adresse <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/05/Digital-Report—Automation-in-Utilities-1.pdf>

²⁴ Ministère de la cohésion des territoires et ministère de l'économie et des finances. (2019). *PROSPECTIVE Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives pour la France*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Intelligence_artificielle/2019-02-intelligence-artificielle-etat-de-l-art-et-perspectives.pdf

Ainsi, si l'IA peut permettre de répondre aux enjeux majeurs de l'énergie, elle reste encore majoritairement au stade de l'innovation ou du développement dans ce secteur. Or, cette technologie appliquée à l'énergie dessine l'émergence d'un nouveau secteur stratégique qui nécessite une prise de position rapide dans un contexte fortement concurrentiel. Dans ce cadre, les stratégies collectives apparaissent comme une solution possible pour permettre de développer et d'appliquer la technologie d'IA au secteur de l'énergie et de construire une filière compétitive à l'échelle internationale.

1.2. Stratégies collectives dans le secteur de l'IA appliquée à l'énergie

1.2.1. Revue de littérature des stratégies collectives

1.2.1.1. Naissance du concept de stratégie collective

Pour définir le concept de stratégie collective, il est nécessaire de définir en premier lieu ce qu'est une « stratégie », pour comprendre ses différentes formes et implications. Nag (2007) définit la **stratégie** comme de «grandes initiatives envisagées et émergentes prises par les directeurs généraux au nom des propriétaires, impliquant l'utilisation des ressources, pour améliorer la performance des entreprises dans leur environnement externe». Une stratégie est donc, en d'autres termes, un ensemble de mesures, un plan d'action pour une entreprise, réfléchi à moyen-long terme pour évoluer dans le sens de son environnement et faire face aux turbulences.²⁵

Aujourd'hui, nombre d'entreprises ne se concentrent plus uniquement sur des stratégies individuelles, mais se tournent vers des stratégies définies en commun, en partenariat avec une ou plusieurs autres entreprises. Les recherches liées à cette nouvelle tendance stratégique se sont développées au cours du XXème siècle. En 1950, Hawley avait déjà défini la stratégie collective comme « *la mobilisation conjointe de ressources et la formulation d'actions communes entre des collectivités d'organisations* ». ²⁶ A sa suite, Emery et Trist (1965) avaient souligné une augmentation des relations entre les organisations dans des contextes de turbulences, mettant ainsi en place des « *stratégies de pérennisation collective* ». ²⁷ Cela mettait déjà en avant la volonté de faire des choix collectifs plutôt qu'individuels pour permettre à chacun de préserver ses avantages.

C'est en 1983 que le concept de « *stratégies collectives* » a véritablement émergé en management stratégique, avec l'article fondateur de Astley et Fombrun paru dans l'Academy of Management Review (1983). ²⁸ Astley et Fombrun s'alignent sur les recherches d'Emery et Trist en soulignant que c'est l'instabilité d'un secteur qui permet de faire émerger de nouvelles relations entre les entreprises. En effet, face aux instabilités, les entreprises puisent de nouvelles forces dans la mise en commun de leurs ressources et dans la définition d'objectifs communs.

En effet, les stratégies collectives peuvent prendre de très diverses formes : celle de joint-ventures, de consortiums R&D, ou encore de Groupements d'Intérêts Économiques ou de labels. Elles incluent donc des stratégies de coopération qui peuvent se faire en binôme, ainsi que celles qui englobent l'ensemble d'acteurs d'une industrie regroupés en filière. Quelles que soient les formes des stratégies collectives, toutes présentent des avantages dans un contexte de concurrence accrue, souvent mondialisée, impliquant aussi des innovations technologiques fortes. Ces stratégies peuvent prendre la forme de comportements liant à la fois coopération et compétition, ce que Brandenburger et Nalebuff appellent la « *coopétition* » (1996). ²⁹

²⁵ Nag, R., Hambrick, D. C., & Chen, M.-J. (2007). What is strategic management, really ? Inductive derivation of a consensus definition of the field. *Strategic Management Journal*, 28(9), 935-955. <https://doi.org/10.1002/smj.615>

²⁶ Hawley, H. (1950). Human Ecology. *Ronald Press Company*, 29(1), 98-99. <https://doi.org/10.2307/2572772>

²⁷ Emery, F. E., & Trist, E. L. (1965). The Causal Texture of Organizational Environments. *Human Relations*, 18(1), 21-32. <https://doi.org/10.1177/001872676501800103>

²⁸ Astley, W. G., & Fombrun, C. J. (1983). Collective Strategy : Social Ecology of Organizational Environments. *Academy of Management Review*, 8(4), 576-587. <https://doi.org/10.5465/amr.1983.4284657>

²⁹ Brandenburger, A. M., & Nalebuff, B. J. (1996). *Co-opetition*. New York, USA : Currency Doubleday.

1.2.1.2. Stratégies de coopération

Revue de littérature de la coopération

Pour définir la coopération, il est nécessaire de définir les deux termes antagonistes de “compétition” et de “coopération” qui donnent naissance à ce néologisme.

La **compétition** reflète une rivalité entre les individus qui survient chaque fois que deux ou plusieurs parties s'efforcent d'obtenir quelque chose que tous ne peuvent pas obtenir. La compétition donne donc lieu à un environnement dans lequel les agents agissent dans leurs propres intérêts, de manière unilatérale, et cette action peut se faire au détriment des autres parties.

La **coopération** se définit au contraire comme une stratégie d'association de personnes ou entreprises ayant des intérêts communs sur un sujet, en vue d'un profit réparti au prorata de leur activité. Pour Dyer et Singh (1998)³⁰, l'avantage compétitif de la coopération provient d'une « rente relationnelle » qui correspond à la capacité mutuelle de chaque entreprise à comprendre et anticiper les besoins de l'autre et à y répondre, au-delà des engagements initiaux.

De ces concepts découle donc le néologisme “**coopétition**”, popularisé par les auteurs Nalebuff et Brandenburger (1996), qui désigne la combinaison d'une stratégie de compétition à une stratégie de collaboration. Gnyawali et Ryan-Charleton (2018) définissent ainsi deux conditions essentielles de coopération ; la première étant l'apparition ou la présence simultanée de concurrence et de coopération, et la seconde étant l'engagement des entreprises dans une relation avec l'intention de création de valeur, qui comprend à la fois la valeur privée et la valeur commune.³¹

Czakov, Srivastava, Le Roy et Gnyawali (2020) identifient deux situations qui peuvent donner **naissance** à une coopération.³² La première est lorsque plusieurs acteurs sont concurrents et choisissent de coopérer sur certaines activités ; cela ne change rien à leur relation de compétition sur d'autres aspects de leurs activités. La seconde est lorsque les entreprises coopérantes entrent en rivalité tout en poursuivant leur coopération. La nature et les conséquences des défis de la coopération résultant de ces deux origines différentes sont susceptibles d'être également différentes.

Intérêt de la coopération

La stratégie de coopération, qui consiste donc à travailler en partenariat avec ses concurrents, permet à la fois de bénéficier du dynamisme de la concurrence et d'accéder et de partager, par la coopération, des ressources rares et complémentaires. Bengtsson et Kock (1999) définissent ainsi la coopération comme une « *relation dyadique et paradoxale qui émerge quand deux entreprises coopèrent dans quelques activités, et sont en même temps en compétition l'une avec l'autre sur d'autres activités* ». ³³

Face à un environnement de plus en plus complexe, il apparaît que les entreprises ont tout intérêt à adopter ce type de stratégie collective en plus de leurs stratégies “individuelles” classiques. En effet, selon Yami (2006)³⁴, il existe deux niveaux d'affaire en planification stratégique. La première, appelée stratégie d'affaires, se concentre sur la concurrence et correspond à la réponse apportée par l'organisation aux variations cycliques ; il s'agit donc d'une adaptation des tâches. La seconde, appelée stratégie d'entreprise, correspond à la réponse apportée par l'organisation aux changements de long terme ; il s'agit ainsi d'une adaptation de l'ADN même de l'entreprise. Yami souligne le besoin de

³⁰ Dyer, J. H., & Singh, H. (1998). The Relational View : Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage. *The Academy of Management Review*, 23(4), 660. <https://doi.org/10.2307/259056>

³¹ Gnyawali, D. R., & Ryan Charleton, T. (2018). Nuances in the Interplay of Competition and Cooperation : Towards a Theory of Cooperation. *Journal of Management*, 44(7), 2511-2534. <https://doi.org/10.1177/0149206318788945>

³² Czakov, W., Srivastava, M. K., Le Roy, F., & Gnyawali, D. (2020). Cooperation strategies : Critical issues and research directions. *Long Range Planning*, 53(1), 101948. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101948>

³³ Bengtsson, M., & Kock, S. (1999). Cooperation and competition in relationships between competitors in business networks. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 14(3), 178-190. Consulté à l'adresse <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/08858629910272184/full/html>

³⁴ Yami, S. (2006). Fondements et perspectives des stratégies collectives. *Revue française de gestion*, (167), 91-104. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2006-8-page-91.htm>

penser un niveau d'affaires qui serait celui de la coopération pour faire face aux changements de l'environnement.

1.2.1.3. Stratégies collectives agglomérées

Le concept de « *stratégie collective agglomérée* », défini par Astley et Fombrun (1983) met en évidence l'importance de regroupement d'un certain nombre d'acteurs au sein d'une organisation, qui peut être coordonnée par un « acteur tiers » ou « tiers de confiance », appelé « *structure de coordination* » dont les caractéristiques et les rôles ont été définis par Granata (2010).³⁵

Cet acteur tiers peut prendre des formes juridiques diverses – association, syndicat, fédération par exemple – ainsi que des périmètres plus ou moins larges. Ils peuvent gérer des associations d'acteurs à un niveau local, une ville par exemple, mais aussi à un niveau régional ou encore national.

Quels que soient son statut et son périmètre, son utilité et son rôle restent similaires. L'acteur tiers permet d'abord de réduire l'incertitude liée aux choix individuels pris par les entreprises membres dans la mesure où il est garant de l'unité stratégique choisie et respectée par l'ensemble du groupe. Il est également l'organe de gouvernance et de pilotage de l'organisation (Yami, Le Roy, 2007)³⁶, et peut apporter son soutien pour des questions stratégiques d'innovation ou de commercialisation. Dans ce cadre, cet acteur tiers peut éventuellement apporter des soutiens financiers aux entreprises qu'il fédère, notamment s'il s'agit d'un dispositif reconnu et subventionné par l'État. Outre son rôle de facilitateur en interne, l'acteur tiers a pour rôle de promouvoir la filière en externe.

1.2.2. Pertinence des stratégies collectives dans le secteur de l'IA appliquée à l'énergie

1.2.2.1. Les stratégies collectives justifiées par un besoin commun d'innover

Dans le secteur de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie, les changements sont rapides et de grande envergure. L'innovation technologique est également rapide et représente un prérequis pour rester compétitif face à l'innovation des autres acteurs et l'apparition de nouveaux entrants issus d'autres secteurs et d'autres pays. L'innovation n'apparaît plus comme un avantage comparatif mais bien comme une nécessité dans ce contexte d'hyper-compétition.

Saïd Yami (2006)³⁷, décrit les stratégies collectives comme une adaptation commune. Celle-ci peut se réaliser entre des membres d'une même espèce (adaptation commensale), ou entre organismes différents (adaptation symbiotique).

Dans le cas d'une adaptation commensale, les membres d'une même espèce font des demandes similaires à leur environnement. Ainsi, dans le secteur de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie, les demandes sont celles d'innover afin de rester ou de devenir compétitif. Les stratégies collectives sont alors nécessaires pour mettre en commun à la fois les moyens, mais aussi les risques de la Recherche & Développement et de l'innovation. Celles-ci peuvent également être nécessaires pour avancer plus vite en partageant les développements et connaissances pour améliorer les performances communes.

³⁵ Granata, J., Da Fonseca, M. C., Marquès, P., & Géraudel, M. (2018b). Dynamique d'évolution d'une stratégie collective entre PME : le cas des vignerons du Pic Saint-Loup. *Management international*, 20(2), 69-83. <https://doi.org/10.7202/1046563ar>

³⁶ Yami, S., & Roy, F. L. (2007). *Les stratégies collectives - Rivaliser et coopérer avec ses concurrents*. Caen, France : Éditions EMS.

³⁷ Yami, Saïd. (2006). Fondements et perspectives des stratégies collectives. *Revue française de gestion*, 32(167), 91-104. <https://doi.org/10.3166/rfg.167.91-104>

Dans le second cas, dit d'adaptation symbiotique, l'adaptation commune permettrait un rapprochement entre des organismes différents qui auraient des besoins différents. Dans le secteur de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie, les entreprises restent motivées par le besoin de survivre et se doivent donc d'innover pour rester compétitives. Dans ce cadre-là, si les objectifs sont différents, les besoins et atouts de chacun divergent. Par exemple, des entreprises innovantes de petite taille auront besoin de visibilité et de moyens financiers, tandis que les énergéticiens auront plutôt des besoins de développement de nouveaux produits et services. D'autres acteurs tels que les acteurs du numérique ou les équipementiers, auront également d'autres atouts, comme leurs ressources technologiques, et d'autres besoins, comme de pénétrer de nouveaux marchés, qui compléteront ceux des acteurs cités précédemment. Cette diversité d'acteurs du secteur favorise donc le rapprochement, justifiant la pertinence des stratégies collectives.

1.2.2.2. Le marché de l'IA appliquée à l'énergie favorable à l'émergence de stratégies collectives

Un marché peu mature

Comme souligné par Fjeldstad (2004)³⁸, la probabilité qu'une action stratégique soit coopérative est déterminée dans une large mesure par le stade d'évolution de l'industrie, ainsi que par le degré de concentration et le niveau de pénétration du marché.

Or le marché de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie est un marché encore peu mature, qui laisse donc la place à une action coopérative pour accélérer le développement de l'IA au sein de l'industrie énergétique et permettre aux acteurs de maintenir ou d'accéder à une position dominante. Selon la théorisation de W. Chan Kim et Renée Mauborgne (2004)³⁹, ces marchés possèdent les caractéristiques d'« océans bleus », où il y a encore peu de concurrents présents. En effet, la demande, encore non existante, n'est donc pas disputée entre les différents concurrents ; il s'agit plutôt d'être en mesure d'innover pour accaparer des parts de marché de ce segment naissant. Les stratégies collaboratives sont donc pertinentes dans ce contexte, dans la mesure où il vaut mieux atteindre ce marché par l'innovation et la collaboration et ainsi se partager les bénéfices et parts de marché, plutôt que de s'engager dans une course solitaire et de ne pas y parvenir ou y parvenir de manière trop tardive.

Un marché marqué par le rôle de l'État

Dans le secteur naissant de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie, l'État est déjà très présent, ce qui favorise l'émergence de stratégies collectives et en particulier de stratégies collectives agglomérées.

L'énergie est un secteur sensible et stratégique qui a pendant longtemps été soutenu par l'État dans de nombreux pays. En France, si la libéralisation du secteur de l'énergie est déjà bien entamée, certains maillons de la chaîne de valeur de l'énergie comme le transport de l'énergie restent encore régulés et l'État reste de manière générale encore très présent dans le secteur. L'État français apporte également un soutien massif à l'innovation et en particulier à l'IA, notamment à travers la stratégie « *AI for humanity* » impulsée par le gouvernement français.

Selon Said Yami (2006)⁴⁰, cette présence de l'État favorise l'émergence de stratégies collectives dans le but de développer la filière française avec pour ambition d'en faire un leader mondial. En effet, l'État privilégie une logique considérant les ressources à un niveau collectif. Les stratégies collectives agglomérées sont un levier de mise en relation et de réflexion commune autour de grands enjeux et de valorisation du savoir-faire français. L'État apporte donc un soutien massif à ce type de stratégies et est

³⁸ Fjeldstad, Ø. D., Becerra, M., & Narayanan, S. (2004). Strategic action in network industries : an empirical analysis of the European mobile phone industry. *Scandinavian Journal of Management*, 20(1-2), 173-196. <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2004.05.007>

³⁹ Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2015). *Stratégie Océan Bleu*. Montreuil, France : Pearson.

⁴⁰ Yami, Saïd. (2006). Fondements et perspectives des stratégies collectives. *Revue française de gestion*, 32(167), 91-104. <https://doi.org/10.3166/rfg.167.91-104>

même bien souvent à l'origine d'initiatives comme les « clusters », pôles technologiques ou pôles de compétitivité qui permettent de dynamiser la filière de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie.

1.2.2.3. La pertinence des stratégies collectives agglomérées pour le secteur de l'IA appliquée à l'énergie

Un secteur encore peu stable qui favorise le regroupement

Astley et Fombrun (1983)⁴¹ soulignent que l'instabilité d'un secteur permet de faire émerger de nouvelles relations entre les entreprises. En effet, dans ce contexte, les entreprises peuvent chercher à se regrouper en stratégies collectives agglomérées afin de profiter de la stabilité offerte par ce type de stratégie, qui assure des objectifs et des moyens en commun, souvent garantis par un acteur tiers. Étant donné son immaturité, le secteur de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie est un secteur encore peu stable, aussi ces stratégies collectives agglomérées apparaissent-elles comme une opportunité pour les acteurs de la filière.

La pertinence de la création d'un écosystème leader en IA

L'Étude gouvernementale Prospective « *Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives pour la France* »⁴² paru en février 2019 dresse une analyse de l'Intelligence Artificielle en France dans les différents secteurs de l'économie pour proposer un scénario de développement propre à chacun.

Dans le secteur de l'énergie, deux scénarii sont considérés : créer un écosystème leader en IA ou développer des initiatives de niche. En se basant sur les caractéristiques du marché (cas d'usage, acteurs et offres) et sur les atouts de la filière française, le scénario suggéré est celui de la création d'un écosystème leader de l'IA. En effet, l'Intelligence Artificielle est une innovation d'envergure qui nécessite la mobilisation de nombreuses ressources (financières, métiers, d'infrastructures etc.). Face à l'hyper-compétition au niveau international de cette technologie émergente, il apparaît pertinent voire nécessaire pour les acteurs de l'IA français de joindre leurs ressources en vue de développer un avantage concurrentiel à l'international. De plus, ce regroupement permettrait de développer l'écosystème français d'acteurs innovants de PME et startup, aujourd'hui considéré comme un atout à développer.

Ayant analysé la littérature sur l'Intelligence Artificielle, le secteur de l'énergie et les stratégies collectives, nous présentons à présent notre problématique et méthodologie de recherche.

⁴¹ Astley, W. G., & Fombrun, C. J. (1983). Collective Strategy : Social Ecology of Organizational Environments. *Academy of Management Review*, 8(4), 576-587. <https://doi.org/10.5465/amr.1983.4284657>

⁴² Ministère de la cohésion des territoires et ministère de l'économie et des finances. (2019). *PROSPECTIVE Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives pour la France*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Intelligence_artificielle/2019-02-intelligence-artificielle-etat-de-l-art-et-perspectives.pdf

1.3. Problématique et méthodologie de recherche

1.3.1. Problématique et questions de recherche

Notre étude préliminaire a mis en évidence que les considérations académiques ne donnent pas d'indications sur les stratégies collectives à adopter sur un marché émergent impliquant des ruptures technologiques. D'autre part, les considérations sectorielles ne font pas état d'analyse des stratégies collectives pour l'IA appliquée à l'énergie. Ces deux considérations posent donc la problématique suivante :

Comment les stratégies collectives peuvent-elles permettre de renforcer la compétitivité de la filière française de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie ?

Pour y répondre, nous avons choisi de poser les trois questions de recherche intermédiaires suivantes :

Q1. Comment s'organise et évolue l'écosystème d'acteurs de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie ?

Q2. Quelles sont les spécificités et enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie à l'international ?

Q3. Comment peut-on s'inspirer d'autres modèles collectifs pour répondre aux enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie ?

Ces trois questions de recherche forment le fil conducteur de notre étude.

1.3.2. Méthodologie de recherche

Afin d'étudier les dynamiques de stratégies collectives autour de l'Intelligence Artificielle appliquée au secteur de l'énergie, nous avons fondé notre recherche sur des entretiens semi-directifs menés auprès des acteurs clés de la filière.

Vingt entretiens ont ainsi été menés de mars à mai 2020 auprès de professionnels appartenant à 5 types d'organisation : des acteurs de l'énergie (comprenant à la fois des acteurs régulés et non régulés), des équipementiers de l'énergie faisant appel à l'Intelligence Artificielle, des acteurs du conseil spécialisés en énergie et Intelligence Artificielle, des acteurs publics apportant leur soutien au développement de l'Intelligence Artificielle dans le secteur de l'énergie, ainsi que des structures collectives, comprenant des associations d'acteurs de l'énergie et un pôle de compétitivité croisant nouvelles technologies et transition énergétique. Les fonctions précises des personnes interrogées ainsi que l'ordre des entretiens effectués sont détaillés ci-après (Figure 19).

Dans une phase exploratoire, nous avons choisi de nous entretenir avec des acteurs de l'énergie et des consultants. Notre objectif était de comprendre les enjeux du développement de l'IA dans le secteur de l'énergie et de connaître les projets IA valorisés dans le secteur de l'énergie ainsi que leur état d'avancement en France et dans le monde. Cela nous a également permis de valider la pertinence de construction de stratégies collectives dans ce domaine.

Dans une seconde phase, nous avons poursuivi nos entretiens avec des acteurs de l'énergie et des associations d'acteurs. Notre objectif était de mieux comprendre les enjeux et difficultés des stratégies collectives dans le secteur de l'énergie, en particulier sur des sujets d'innovation et de technologies

émergentes. Si les acteurs nous ont confié leur impression d’être plutôt en avance sur le sujet de l’IA appliquée à l’énergie, ils nous ont également transmis leur besoin de confirmer cette impression par une analyse objective de leur positionnement à l’échelle internationale, et d’avoir des clés pour renforcer la compétitivité de la filière. Cette seconde phase nous a menées à poser les questions de recherche précitées.

Dans une phase de confirmation, nous avons mené des entretiens avec des acteurs de l’énergie, membres de stratégies collectives et consultants. Notre objectif était de confirmer les hypothèses émises suite à nos échanges précédents et de déterminer en quoi et sous quelle forme les stratégies collectives pourraient répondre aux différents défis de la filière. Nous nous sommes appuyées sur les recherches effectuées sur les différents modèles existants à l’international afin de suggérer des recommandations, qui ont été étoffées et confirmées lors de nos entretiens.

Figure 19 - Liste des entretiens semi-directifs réalisés

Liste des entretiens semi-directifs réalisés			
Type	Acteurs	Fonctions	N°
Acteurs de l'énergie	CRE	Chef du département technique	8
	CRE	Chargé de mission interconnexions et affaires européennes	11
	EDF	Directeur acquisitions et partenariats stratégiques	12
	EDF	Directeur R&D	20
	Enercoop	Responsable des partenariats stratégiques	16
	RTE	Chef du pôle Data Science – Intelligence Artificielle	17
	RTE	Directeur de projet IA	2
Équipementiers de l'énergie	General Electric Grids Solutions	Ingénieur	3
	Sagemcom Energy & Telecom	Directeur R&D	18
	Vinci Energies	Responsable de l'Innovation	13
Acteurs du conseil en énergie et/ou Intelligence Artificielle	Bain	Consultant en énergie	9
	Talan consulting	Consultant IA et développement durable	10
	Yélé Consulting	Senior Manager	1
	Yélé Consulting	Data Science Manager	4
	Yélé Consulting	Consultant IA	5
Acteurs publics	Business France - Brésil	Business Development Manager – Environment	19
	Direction Générale des Entreprises (DGE)	Chargé de mission IA et technologies immersives	14
Structures collectives dédiées à l'énergie	Evolen	Délégué aux affaires internationales	7
	Tenerdis	Chargé de Mission Innovation	15
	Think Smartgrids	Déléguée générale	6
Total			20

Ces entretiens semi-directifs ont été menés sur la base de guides d’entretiens thématiques structurés en quatre phases comme proposé par Giannelloni et Vernet (2001)⁴³ à savoir une phase de présentation, une phase de développement permettant de centrer le sujet, une phase d’approfondissement puis une phase de conclusion. Ces guides ont été construits et adaptés pour chacun des types d’organisation cités précédemment et abordaient essentiellement deux thématiques, à savoir les cas d’usage et l’avancée de

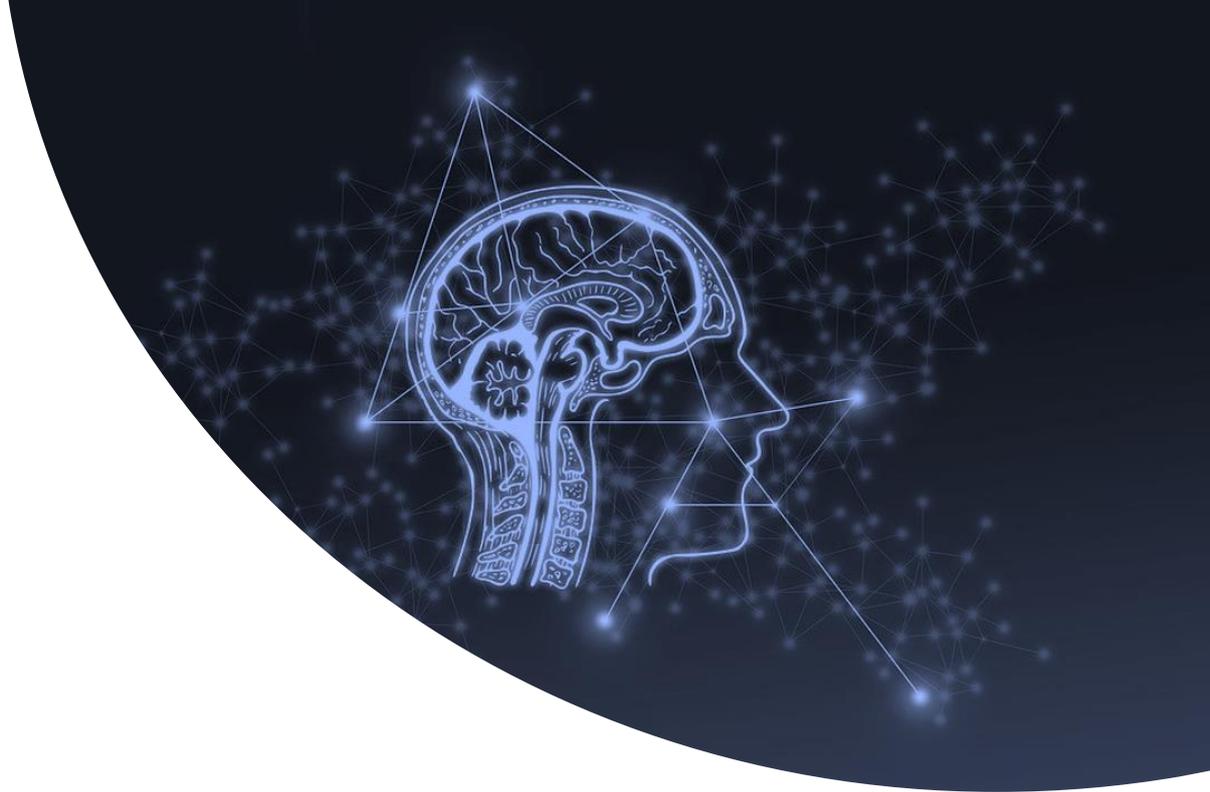
⁴³ Giannelloni, J. L., & Vernet, E. (2001). *Etudes de marché*. Paris, France : Edition Vuibert.

l'Intelligence Artificielle dans le secteur de l'énergie, en particulier sur le territoire français, et les stratégies collectives mises en œuvre par les acteurs concernés.

Suivant le principe de triangulation des sources, nous avons croisé les données issues des entretiens avec des données secondaires (rapports d'entreprises et d'acteurs publics, livres blancs d'acteurs publics, articles de presse).

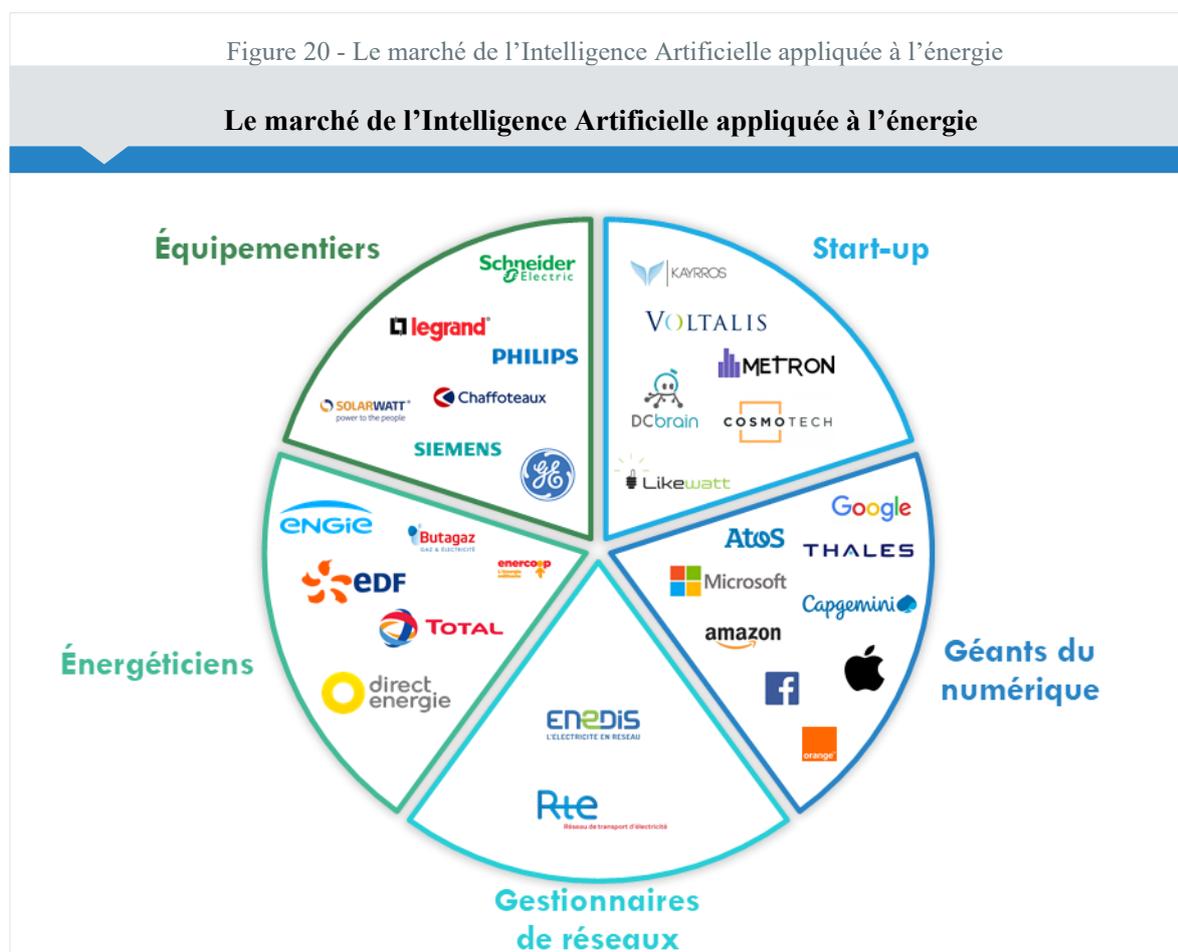
Ce travail de recherche a été réalisé grâce au soutien de l'association Think Smartgrids qui représente la filière française des smart grids à l'international. Think Smartgrids nous a présenté les grands enjeux du secteur de l'énergie et fait part de son souhait de connaître l'avancée et la place de la France en IA dans ce secteur à l'échelle internationale ainsi que la stratégie à adopter pour la filière afin de développer un avantage concurrentiel à l'international.

Pour répondre à cette problématique, nous avons procédé à une analyse des acteurs français de l'IA appliquée à l'énergie et de leurs stratégies collectives puis à une analyse stratégique des concurrents de la filière à l'international afin de décliner des recommandations stratégiques pour la filière.



2. ANALYSE DES STRATÉGIES COLLECTIVES DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE

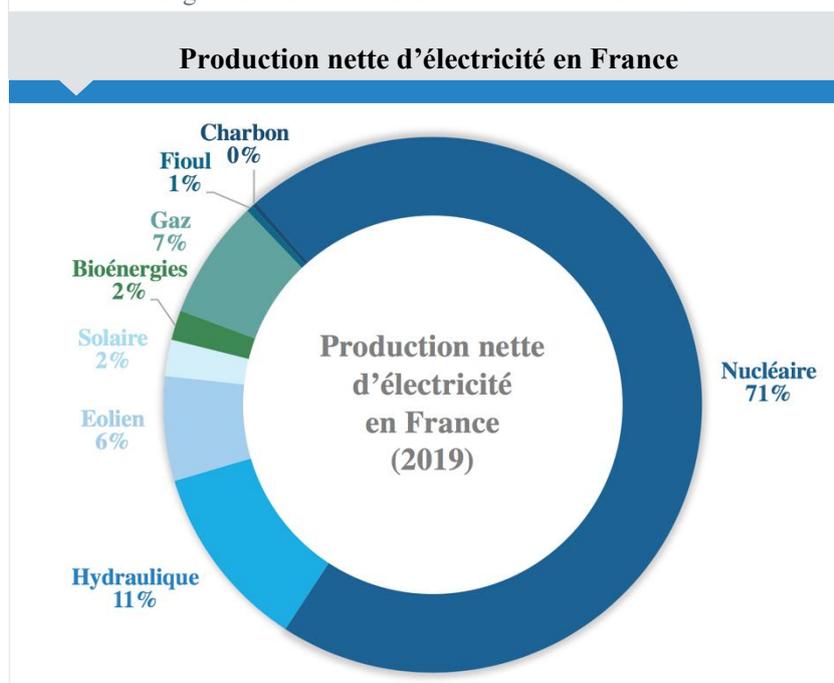
Si l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie est encore en développement et souvent au stade de démonstrateurs, un écosystème français commence progressivement à voir le jour, mettant en relation les acteurs historiques du marché et des nouveaux entrants comme les géants du numérique, les équipementiers et les startups spécialisées (Figure 20).



2.1. L'écosystème français du marché de l'IA appliquée à l'énergie

Pour comprendre l'écosystème français, il convient de rappeler le contexte énergétique français dans lequel les acteurs évoluent. En France, la production d'électricité est assurée au travers de l'exploitation des centrales nucléaires, hydrauliques ou thermiques ainsi que des sources d'énergie d'origine renouvelable. D'après le Bilan Électrique 2019 fourni par RTE, la production d'électricité provenait à 70,6% du nucléaire, à 7,9% du thermique à combustion fossile, à 11,2% de l'hydraulique, à 6,3% de l'éolien, à 2,2% du solaire, et à 1,8% des bioénergies (Figure 21).

Figure 21 - Production nette d'électricité en France



La production d'électricité a historiquement été très concentrée en France, même si cela évolue progressivement avec l'ouverture à la concurrence du marché européen. Les deux producteurs historiques français sont EDF et ENGIE (anciennement GDF Suez), qui sont également des leaders à l'échelle mondiale (respectivement en deuxième et troisième position en termes de capacité électrique).

2.1.1. Acteurs historiques du marché français de l'énergie

2.1.1.1. EDF

Activité du groupe

EDF (Électricité De France) est née en 1946 suite à la nationalisation du secteur de l'électricité et du gaz et son capital est détenu à 84,5% par l'État français.⁴⁴ Depuis, EDF est la principale entreprise de production, de transport et de fourniture d'électricité en France. Jusqu'en 2017 avant la fusion de deux fournisseurs d'électricité chinois donnant naissance à China Huaneng Group, EDF était le premier producteur d'électricité au monde en termes de capacité.⁴⁵ EDF garde cependant sa position de premier producteur à l'échelle nationale comme à l'échelle européenne.

Selon le rapport « Faits et Chiffres 2019 » publié par EDF, le groupe a produit à travers le monde 557,6 TWh d'électricité en 2019 dont 79% de nucléaire, 11% de renouvelables (y compris hydraulique) et 10% de thermique (Figure 22).⁴⁶

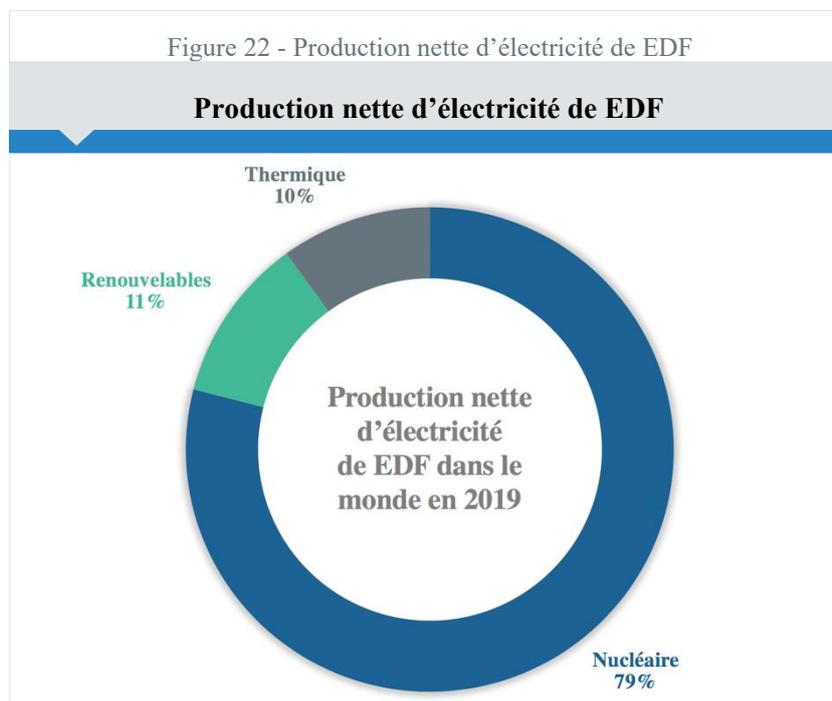
Depuis sa création, EDF a concentré ses activités sur l'exploitation du nucléaire et garde à ce stade le statut de premier exploitant nucléaire au monde, avec un parc de 58 réacteurs en France répartis sur 19 sites, et 15 réacteurs en Grande Bretagne répartis sur 8 sites.

⁴⁴ Selectra. (2020, 6 mars). La production d'électricité en France : ressources et statistiques. Consulté à l'adresse <https://selectra.info/energie/guides/comprendre/electricite/production>

⁴⁵ Capital.fr. (2017, 28 août). EDF n'est plus le n°1 mondial de l'électricité ! Consulté à l'adresse <https://www.capital.fr/entreprises-marches/guodian-et-shenhua-creent-le-ndeg1-mondial-de-l-electricite-1241221>

⁴⁶ EDF. (2020). *Faits et Chiffres 2019*. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-fr/informations-financieres/publications-financieres/faits-et-chiffres/faits-et-chiffres-2019-v2.pdf>

Même si la majeure partie de sa production provient du nucléaire, EDF est engagée dans la production d'électricité à partir d'autres énergies primaires. Ainsi, grâce à son parc français de 432 centrales hydrauliques, le groupe se positionne comme premier producteur d'électricité d'origine hydraulique français et européen⁴⁷ et contribue à hisser l'hydraulique comme première source d'énergie renouvelable en France.



Le profil du groupe montre que de très nombreux cas d'usage de l'Intelligence Artificielle peuvent s'appliquer à ses activités, et ce sur toute la chaîne de valeur : de la production pour la maintenance de ses centrales, au transport et à la distribution (RTE et ENEDIS sont des filiales du groupe), jusqu'au marketing, la relation client et la fourniture d'énergie et de services associés.

Stratégie CAP 2030

Dans ce contexte de transition énergétique, la stratégie d'EDF « CAP 2030 » se dessine autour de trois grandes ambitions :

- **Accroître la proximité avec les clients** : apporter des solutions décentralisées, de nouveaux services énergétiques et investir dans les réseaux intelligents
- **Doubler la production d'énergies renouvelables d'ici à 2030** : doubler ses capacités de production dans l'éolien, le solaire, les énergies marines et l'hydraulique, avec l'objectif notamment d'être le leader en solaire photovoltaïque français, prolonger la durée de son parc nucléaire et développer le Nouveau nucléaire
- **Poursuivre son développement à l'international** : se déployer sur de nouveaux marchés et conforter ses positions en Europe. ⁴⁸

EDF représente donc un atout considérable pour la filière française de l'énergie, mais également sur le segment de l'Intelligence Artificielle pour l'énergie étant donné ses ressources et son positionnement à l'international, son savoir-faire historique et ses capacités de recherche et innovation. Le Groupe EDF

⁴⁷ EDF. (2017). La production d'électricité d'origine hydraulique - Note d'information . Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/hydraulique/Notes%20d%27info/201711la-production-d-electricite.pdf>

⁴⁸ EDF. (2019, 6 juin). Stratégie CAP 2030. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/qui-sommes-nous/strategie-cap-2030>

a développé l'IA pour l'énergie progressivement, en jouant notamment sur trois leviers : le levier organisationnel, le levier d'acquisition et le levier d'innovation interne (Figure 23).^{49, 50, 51}

Figure 23 - Les trois leviers de développement de l'IA chez EDF

Les trois leviers de développement de l'IA chez EDF

Levier organisationnel

EDF a créé en juin 2018 un pôle de compétences dédié à l'intelligence artificielle. Cette structure permet de développer des projets d'IA qui correspondent précisément aux besoins du groupe. Elle est constituée d'une vingtaine de collaborateurs travaillant en mode agile afin de développer des solutions opérationnelles le plus rapidement possible.

Levier d'acquisition

Le Groupe EDF a notamment acquis en Novembre 2019 la startup britannique Pivot Power, spécialisée dans le stockage de l'électricité par batteries et l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques. Le Groupe EDF a également acquis 40% du capital du Groupe Conergies, l'un des leaders des services intégrés d'efficacité énergétique en Afrique de l'Ouest.

Levier d'innovation interne

EDF a lancé en Mars 2018 la startup Metroscope qui se veut « une solution d'intelligence artificielle » permettant d'aller beaucoup plus vite dans l'explication des défaillances touchant un processus industriel et qui pourrait permettre une réduction des coûts de plusieurs dizaines de millions d'euros.

2.1.1.2. ENGIE

Activité du groupe

ENGIE, nouveau nom de marque de GDF Suez depuis avril 2015, est le deuxième producteur d'électricité en France et dans le monde, ainsi que le troisième groupe mondial dans le secteur de l'énergie.⁵² Son capital est détenu à 24,64% par l'État français.

Selon le rapport « ENGIE en chiffres » publié par ENGIE (2019), le groupe a produit à travers les 5 continents 420 TWh d'électricité en 2018 dont 55% de gaz naturel, 27% de renouvelables, 7% de charbon et 6% de nucléaire (Figure 24).⁵³

⁴⁹ Solutions numériques. (2018, 13 juin). EDF mise sur son pôle intelligence artificielle pour satisfaire les besoins métiers du groupe. Consulté à l'adresse <https://www.solutions-numeriques.com/edf-mise-sur-son-pole-intelligence-artificielle-pour-satisfaire-les-besoins-metiers-du-groupe/>

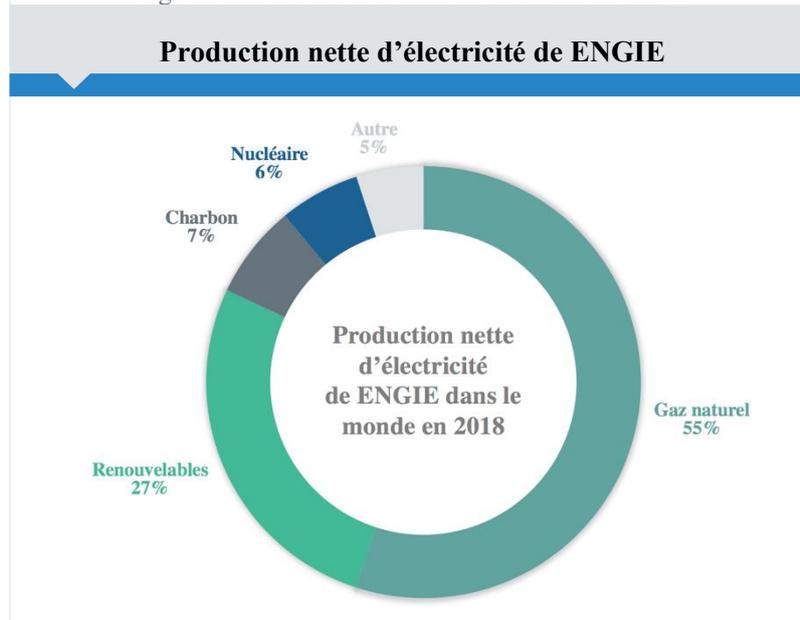
⁵⁰ EDF. (2019b, novembre 5). Avec l'acquisition de Pivot Power, EDF accélère son développement dans le stockage par batteries et l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiqués-de-presse/royaume-uni-avec-l-acquisition-de-pivot-power-edf-accelere-son-developpement-dans-le-stockage-par-batteries-et-l-infrastructure-de-recharge-pour-vehicules-electriques>

⁵¹ EDF. (2019c, novembre 20). EDF lance Metroscope, la solution d'intelligence artificielle au service de l'excellence opérationnelle de ses clients industriels. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiqués-de-presse/edf-lance-metroscope-la-solution-d-intelligence-artificielle-au-service-de-l-excellence-operationnelle-de-ses-clients-industriels>

⁵² Selectra. (2020, 6 mars). La production d'électricité en France : ressources et statistiques. Consulté à l'adresse <https://selectra.info/energie/guides/comprendre/electricite/production>

⁵³ ENGIE. (2019, juillet). ENGIE en chiffres. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2019-11/engie-chiffrescle2019-fr-032.pdf>

Figure 24 - Production nette d'électricité de ENGIE



Principalement spécialisée dans la production de gaz naturel, ENGIE a dopé sa production électrique grâce à l'acquisition du producteur d'électricité britannique International Power en 2010 qui détient plus de 50 centrales électriques dans le monde.

Fermement engagée dans la production d'énergies vertes, ENGIE est le premier producteur d'énergie éolienne et solaire en France, qui représentent respectivement 22% et 9% des énergies renouvelables produites par le groupe. ENGIE est surtout un important producteur d'énergie hydraulique, qui représente à lui seul 66% des énergies renouvelables produites par le groupe.

Au vu de ses activités, l'Intelligence Artificielle peut être évaluée comme un outil indispensable pour le groupe, en particulier pour l'optimisation de la production et la gestion des énergies renouvelables.

Stratégie 2019 – 2021

La stratégie d'ENGIE est de s'imposer comme leader mondial de la transition zéro carbone. En cela, le plan stratégique 2019 – 2021 s'inscrit dans la lignée du plan stratégique de 2016, à savoir recentrer son activité sur les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et les infrastructures gazières.

Un élément phare de cette stratégie a été la cession, début 2019, de ses centrales à charbon en Allemagne et aux Pays-Bas. Cette cession s'aligne dans l'engagement du groupe pour la transition énergétique car elle s'inscrit dans le progressif renoncement au charbon ; elle contribuera à diminuer la part du charbon dans l'énergie totale produite par le groupe pour atteindre un niveau de 4% alors qu'elle s'élevait encore à 13% à la fin de l'année 2015.⁵⁴

La sortie des activités liées à l'exploitation des combustibles fossiles via la cession d'actifs permettra notamment au groupe de réinvestir dans des énergies renouvelables, et de porter la part des énergies renouvelables dans le mix de production à 58% en 2030, contre 27% en 2018.

ENGIE est donc, au même titre que EDF, un atout stratégique de la filière française de l'énergie et en particulier de l'énergie renouvelable. Présents sur les différents maillons de la chaîne de valeur, et ayant de forts moyens financiers, ces deux groupes représentent pour la filière une opportunité

⁵⁴ ENGIE. (2019a, avril 26). ENGIE accélère la mise en œuvre de sa stratégie en cédant ses centrales à charbon en Allemagne et aux Pays-Bas | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/journalistes/communiqués-de-presse/cession-centrales-charbon-allemande-pays-bas>

d'investissement et d'innovation pour la transition énergétique, au moyen de technologies émergentes comme l'Intelligence Artificielle.

L'analyse des nouveaux entrants dans le secteur de l'énergie par l'IA nous permettra de mieux appréhender l'écosystème de la filière de l'IA pour l'énergie, et les acteurs potentiels de stratégies collectives.

2.1.2. Nouveaux entrants par l'IA

Avec l'ouverture du marché français à la concurrence, de nouveaux entrants ont déjà commencé leur apparition progressive depuis déjà une dizaine d'années, comme les fournisseurs alternatifs d'énergie comme Total Direct Énergie, Butagaz ou encore Eni pour n'en citer que quelques-uns.

A présent, le développement des technologies émergentes comme l'Intelligence Artificielle représente une grande opportunité pour les acteurs qui la maîtrisent de s'insérer sur différents marchés, y compris celui de l'énergie, qui de surcroît est un marché non saturé à fort potentiel. Les géants du numérique, les équipementiers ou encore les startups sont des profils types de ces nouveaux entrants.

2.1.2.1 Les géants du numérique

Les géants du web américains et chinois communément désignés par les acronymes GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft) et BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi), ont aujourd'hui commencé leur entrée dans le secteur de l'énergie, bien que relativement tard comparativement à leur entrée sur d'autres secteurs comme la banque ou l'assurance.

Leur entrée sur le secteur de l'énergie, et notamment le segment des énergies renouvelables, répond en premier lieu à des objectifs de création de valeur et d'appropriation de parts de marché. Mais deux autres objectifs entrent en compte dans ces calculs d'opportunité : l'indépendance énergétique d'une part, grâce à un approvisionnement autonome en énergie, et la valorisation de leur image RSE d'autre part, grâce à l'intégration des énergies renouvelables. En effet, les « *data centers* » gérés par les GAFAM et les BATX étant très consommateurs en énergie, l'approvisionnement énergétique autonome représente pour eux un enjeu stratégique.

Les GAFAM sont dotés d'importants moyens d'innovation et ont déjà développé leur savoir-faire en gestion de données et algorithmes. D'après Novethic, les investissements en IA des 4 groupes américains Google, Microsoft, IBM et Apple s'élevaient déjà à 300 milliards d'euros fin 2018.⁵⁵ Ces mastodontes du numérique disposent donc d'un avantage comparatif stratégique pour s'insérer dans le secteur de l'IA appliquée à l'énergie. L'exemple de Google illustre très bien cette insertion sur le marché de l'énergie par l'IA : en février 2019, sa filiale DeepMind a annoncé le lancement d'une application permettant de prédire la production d'un parc éolien de 700MW avec 36 heures d'avance.⁵⁶ Cette application s'appuie sur un réseau de neurones artificiels, forme d'intelligence artificielle en *machine learning* assez complexe, prenant en compte des prévisions météorologiques et les données historiques des turbines.

⁵⁵ Novethic. (2018, décembre). La France veut devenir leader de l'intelligence artificielle mais ne s'en donne pas les moyens. Consulté à l'adresse <https://www.novethic.fr/actualite/numerique/intelligence-artificielle/isr-rse/la-france-veut-devenir-leader-de-l-intelligence-artificielle-mais-ses-moyens-ne-suffiront-pas-a-concurrer-les-etats-unis-ou-la-chine-146650.html>

⁵⁶ Tarnowski, J. (2020, 4 février). Quand l'IA peut atténuer le caractère imprévisible des renouvelables. Consulté à l'adresse <https://www.lemondedelenergie.com/ia-renouvelables/2020/02/04/#:~:text=Le%2026%20f%C3%A9vrier%202019%2C%20Google,production%20d'un%20parc%20%C3%A9olien.>

2.1.2.2. Les startups

De nombreuses startups ont également fait leur apparition dans le secteur de l'IA appliquée à l'énergie, bénéficiant à la fois d'un positionnement sur des segments de marché à fort potentiel de création de valeur et d'un écosystème favorable d'aide à l'innovation. En effet, les initiatives d'incitation et aide à l'innovation sont de plus en plus nombreuses, en particulier dans le domaine de l'IA, identifié comme l'un des domaines prioritaires d'innovation. Ainsi, des structures telles que les pôles de compétitivité ou des initiatives comme la French Tech supportent activement les startups du secteur de l'IA appliquée à l'énergie.

C'est par exemple le cas de la startup DCbrain, membre de l'association Think Smartgrids. DCbrain se base sur des algorithmes d'Intelligence Artificielle, *machine learning* et *deep reinforcement learning* appliqués à des réseaux physiques. Ces algorithmes permettent aux industriels, aux réseaux d'utilité et aux réseaux logistiques d'optimiser leurs opérations d'évolution et de maintenance.

2.1.2.3. Les équipementiers

Les acteurs tech et équipementiers comme General Electric, Siemens ou encore Schneider Electric, qui sont également en avance sur le développement de l'Intelligence Artificielle, apportent leur savoir-faire sur le marché de l'énergie en proposant principalement des solutions de maintenance prédictive, d'optimisation de la maintenance, de pilotage des équipements, et d'analyse des données avec recommandations.

Leur plus-value passe également par leur capacité d'intégration des différentes solutions par la « *plateformisation* », qui permet aux clients de simplifier la gestion de leurs équipements par une centralisation des données et de la prise de décision.

Par exemple, Predix est une plateforme de General Electric qui permet de connecter en toute sécurité des machines, des données et des analyses pour améliorer l'efficacité opérationnelle. Predix fournit des outils de gestion et de science des données pour l'analyse prédictive des actifs et processus industriels. Une technologie de *machine learning* permet de s'adapter aux machines et équipements, et créer un modèle d'analyse automatisé pour la surveillance, les diagnostics, les prévisions et le contrôle, applicable au transport et à la production d'électricité.

L'intégration croissante de l'IA dans le secteur de l'énergie entraîne donc l'entrée de nouveaux acteurs dans la filière de l'IA appliquée à l'énergie.

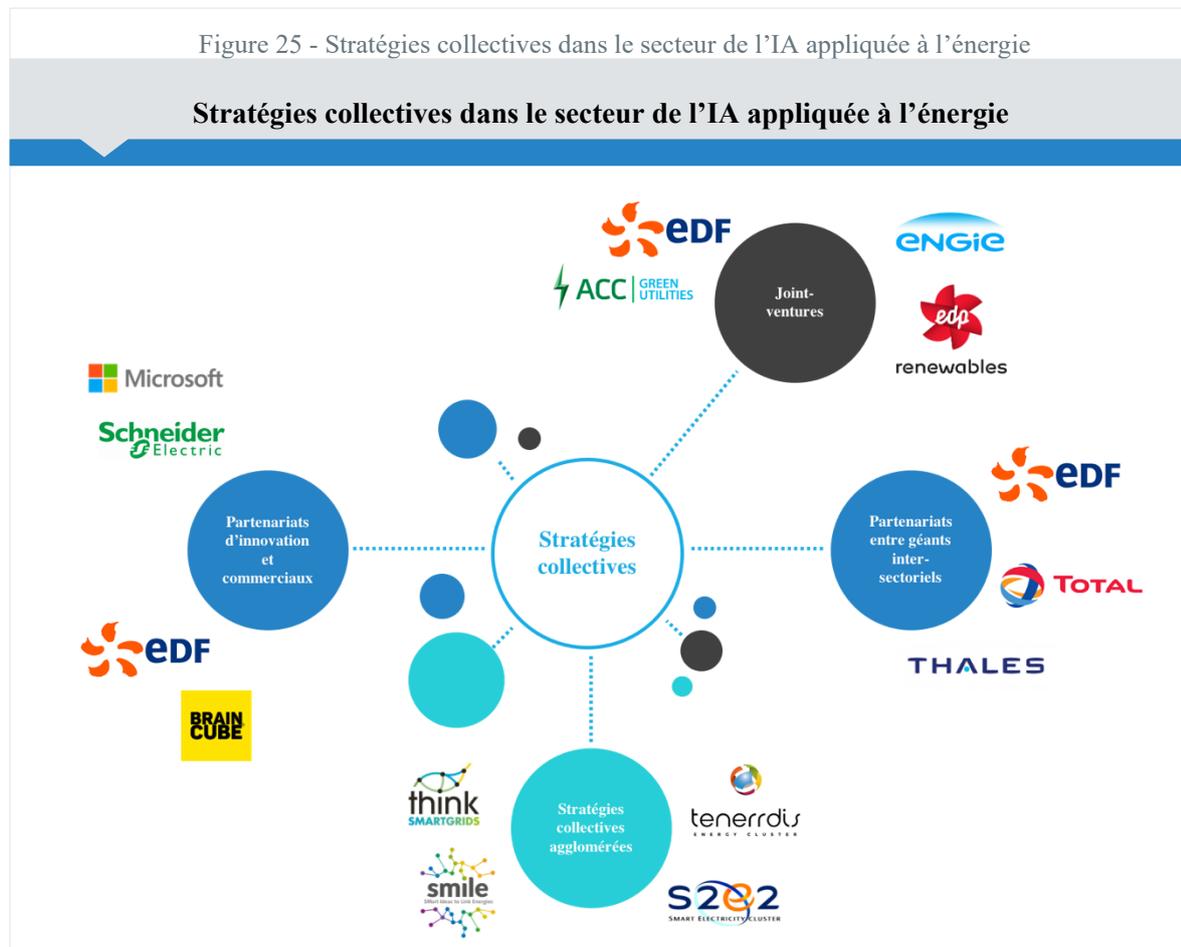
Le marché de l'IA appliquée à l'énergie étant encore peu mature, il laisse donc la porte ouverte à de nombreux et divers acteurs. Cela provoque une recomposition du cadre concurrentiel du secteur de l'énergie et donne un nouvel élan à la filière. Ces ruptures peuvent être une chance pour l'IA de s'imposer comme une réponse aux grands défis énergétiques et peuvent également être un moteur de création de stratégies collectives pour stabiliser la filière de l'IA appliquée à l'énergie.

2.1.3. Stratégies collectives mises en œuvre

Acteurs historiques comme nouveaux entrants, les acteurs de l'IA appliquée à l'énergie forment progressivement des partenariats et stratégies collectives agglomérées, que ce soit dans l'objectif de développer ensemble de nouvelles technologies et de nouvelles offres ou dans l'objectif de s'exporter à l'étranger. La stratégie d'« *Open Innovation* », faisant appel aux parties prenantes pour innover,

semble se généraliser, notamment chez les acteurs historiques ; de nombreux partenariats sont également régulièrement signés entre les différents acteurs du marché ; des stratégies plus larges appelées « stratégies collectives agglomérées » prennent aussi forme à plusieurs échelles sur tout le territoire, faisant apparaître la création d’une véritable filière de l’IA appliquée à l’énergie.

Les partenariats et stratégies collectives sont très nombreux et diversifiés (Figure 25). Ils se distinguent notamment sur les objectifs, les champs d’application, la formalisation et acteurs impliqués.



2.1.3.1. Partenariats d’innovation et commerciaux

Partenariats d’innovation entre acteurs du digital et de l’énergie

De nombreux acteurs du secteur de l’IA appliquée à l’énergie mettent en œuvre des stratégies d’Open Innovation, qui peuvent prendre la forme de structures physiques ou de plateformes digitales, afin d’innover avec leurs parties prenantes. Ces stratégies d’Open Innovation sont moteurs de nombreux partenariats pour l’innovation.

L’Open Innovation, concept théorisé en 2003 par Henry Chesbrough, enseignant chercheur à Berkeley, suit l’idée selon laquelle l’innovation et la création de valeur peuvent émerger non seulement au sein des entreprises, mais également par leurs relations avec les parties-prenantes.⁵⁷

⁵⁷ Chesbrough, H. W. (2003). *Open Innovation : The New Imperative for Creating and Profiting from Technology* (First Trade Paper éd.). Boston, United States of America : Harvard Business Review Press.

Cette idée a donné lieu à des stratégies d'Open Innovation qui suivent plusieurs objectifs. Tout d'abord, celui d'améliorer le taux de réussite dans l'innovation, et plus concrètement dans le développement de nouveaux produits et services. Ensuite, l'objectif de mobiliser les différentes parties prenantes, afin de créer un écosystème fondé sur la confiance et la collaboration. Enfin, l'objectif d'innover de manière plus efficace, plus ciblée et à moindre coût.

ENGIE a par exemple créé « ENGIE Innovation » dans une démarche que le groupe revendique d'Open Innovation. Cette structure permet d'accueillir et d'accompagner des équipes qui proposent des projets innovants, selon l'objectif de « *co-construire les solutions énergétiques de demain* », des solutions qui incluent par exemple les problématiques de mobilité durable, d'énergie décentralisée, de bâtiments connectés, ou encore de stockage d'énergie.⁵⁸

La structure « ENGIE Innovation » accompagne aussi bien des projets externes via l'incubation de startups que des projets soumis par des particuliers par le biais des appels à projets émis par le groupe, avec à la clé un accompagnement des gagnants. Parallèlement, la structure propose un accompagnement aux projets proposés en interne, en encourageant les salariés du groupe ENGIE à créer des startups.⁵⁹

Ces partenariats d'innovation lient non seulement les énergéticiens aux startups, mais aussi aux différents types d'acteurs de l'IA appliqué à l'énergie.

Partenariats des énergéticiens

Les énergéticiens développent de nombreux partenariats avec les acteurs de l'innovation, que ce soit avec des startups ou de plus grandes entreprises. Par exemple, EDF a conclu en 2018 un partenariat avec Capgemini et Dassault Systèmes, éditeur de logiciels spécialisé dans la conception 3D pour modéliser ses installations nucléaires sous forme de jumeaux numériques.⁶⁰ Les énergéticiens concluent également des partenariats avec des startups maîtrisant les technologies émergentes, à l'image du partenariat conclu entre ENGIE et la startup spécialiste du *big data* Brain Cube pour développer la plateforme Blu.e pilot permettant d'offrir aux clients industriels du groupe des solutions d'efficacité énergétique.⁶¹

La mise en relation entre les énergéticiens et startups est accentuée par la mise en place de stratégies d'Open Innovation au sein des grands groupes, qui permettent à ces derniers d'accéder à des savoir-faire nouveaux, moyennant des coûts maîtrisés et une mise sur le marché rapide. De leur côté, les startups tirent profit de ces collaborations en se concentrant sur des demandes et marchés approuvés. Le soutien d'un grand groupe représente un atout majeur pour la mise sur le marché et le déploiement à grande échelle de leur solution.

Partenariats des équipementiers

Les équipementiers tels que Schneider Electric ou General Electric mettent également en place des stratégies d'Open Innovation avec des acteurs innovants comme des startups, des centres de recherche ou même des universités. Ces partenariats peuvent être plus ou moins formalisés, allant jusqu'à la création d'une structure dédiée telle qu'un incubateur. C'est notamment le cas de la « Silicon Valley

⁵⁸ ENGIE Pro. (s. d.). Open innovation : ENGIE s'engage avec les porteurs de projets - ENGIE Pro. Consulté à l'adresse <https://pro.engie.fr/actualitesenergie-mag-l-esprit-d-entreprendre/l-energie-et-vous/open-innovation-engie-s-engage-avec-les-porteurs-de-projets>

⁵⁹ ENGIE Pro. (s. d.). Open Innovation : ENGIE s'engage avec les porteurs de projets - ENGIE Pro. Consulté à l'adresse <https://pro.ENGIE.fr/actualitesenergie-mag-l-esprit-d-entreprendre/l-energie-et-vous/open-innovation-ENGIE-s-engage-avec-les-porteurs-de-projets>

⁶⁰ EDF. (2018, 27 juin). EDF, Dassault Systèmes et Capgemini signent un partenariat pour la transformation numérique de l'ingénierie nucléaire d'EDF. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiqués-de-presse/edf-dassault-systemes-et-capgemini-signent-un-partenariat-pour-la-transformation-numerique-de-l-ingenierie-nucleaire-d-edf>

⁶¹ ENGIE. (2019c, août 12). blu.e by ENGIE accompagne les industriels pour minimiser leur empreinte sur la planète. Consulté à l'adresse <https://www.engie-cofely.fr/solutions-innovantes-engie-cofely/solutions-smart-et-iot/blu-e/>

Innovation », lancée par Schneider Electric en mai 2016, programme d'incubation de startups spécialisées dans les solutions digitales pour l'énergie.⁶²

Les équipementiers développent également des partenariats avec des acteurs du digital, à l'image du partenariat entre Siemens et SAP pour développer des outils de traitement de données adaptés aux réseaux intelligents.

Partenariats des acteurs du numérique

Les acteurs du numérique développent de nombreux partenariats avec des startups ou fabricants de matériel électrique, principalement sur des sujets de plateformes cloud. Microsoft, dans le cadre de sa plateforme Azur, a notamment signé de nombreux partenariats, dont des partenariats sur des solutions d'Intelligence Artificielle avec des équipementiers comme Schneider Electric ou encore avec des acteurs de l'innovation en IA.

Partenariats d'innovation entre géants intersectoriels

Bien que ce type de partenariat soit relativement plus rare que les précédents, certains géants de secteurs différents trouvent avantage à former des partenariats intersectoriels, qui peuvent prendre des formes diverses. Par exemple, le partenariat formé en début d'année 2020 entre les trois géants français EDF, Total et Thales consiste en un rapprochement de leurs départements R&D, formalisé par la création d'un laboratoire de recherche commun sur le plateau de Saclay. Ce partenariat est né d'un besoin commun de développer une IA de confiance dans le cadre d'une application à des systèmes critiques. Les trois axes de recherche définis sont donc « l'explicabilité, l'apprentissage par renforcement, et l'intégration de l'IA dans la simulation ».⁶³

Le partenariat des trois géants s'inscrit dans une démarche d'innovation ouverte, s'appuyant sur la proximité géographique des équipes de recherche des industriels et d'un écosystème académique et d'innovation mondial.

Partenariats commerciaux entre acteurs du digital et de l'énergie

Ces partenariats d'innovation entre acteurs du digital et de l'énergie donnent généralement suite à des partenariats commerciaux. Ils restent encore peu répandus, en car de nombreux cas d'usage en sont encore au stade de démonstrateur.

En octobre 2019, ENGIE a lancé une solution de gestion de l'énergie basée sur l'IA en collaboration avec C3.ai, un éditeur de logiciels d'IA. Cette solution, nommée « Smart Institutions », permet aux grandes institutions de gérer leur consommation et leur production d'énergie de manière optimisée dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique de leur structure et accélérer leur transition vers un modèle carbone neutre. Ces deux acteurs se sont auparavant associés pour développer la solution, avant de la commercialiser ensemble.⁶⁴

Ces partenariats peuvent notamment être formalisés sous forme de consortium ou sous forme de Groupement Momentané d'Entreprises (GME). Le consortium est un groupement d'acteurs ayant pour objectif la collaboration sur un projet ou programme. Le GME est un type de consortium qui désigne un accord entre plusieurs acteurs privés leur permettant d'organiser une réponse commune à un marché précis, par l'élaboration d'une offre commune. Il peut remplacer un accord en sous-traitance en élevant les deux entreprises au rang de cotraitants. Un tel accord permet aux deux entreprises de mettre en commun leurs technologies et savoir-faire, mais aussi leurs moyens opérationnels et financiers, dans le

⁶² Les Échos. (2016, 10 octobre). Schneider Electric s'active dans la Silicon Valley. Consulté à l'adresse <https://business.lesechos.fr/directions-numeriques/digital/transformation-digitale/0211364996044-schneider-electric-s-active-dans-la-silicon-valley-300767.php>

⁶³ L'USINENOUVELLE.com. (2020, 10 février). EDF, Thales et Total ouvrent un laboratoire commun en IA. Consulté à l'adresse <https://www.usinenouvelle.com/editorial/edf-thales-et-total-ouvrent-un-laboratoire-commun-en-ia.N927479>

⁶⁴ ENGIE. (2019d, octobre). ENGIE et C3.ai lancent une solution de gestion de l'énergie basée sur l'IA pour les grandes institutions | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/journalistes/communiqués-de-presse/c3ai-solution-gestion-energie-ia>

but d'augmenter leur capacité à répondre à une demande inaccessible auparavant. Un accord de ce type permet également de définir un chef de file pour un appel d'offre, procurant ainsi un unique interlocuteur à l'acheteur et augmentant les chances de remporter le contrat.⁶⁵

Toutefois, ces partenariats commerciaux formalisés en IA appliqué à l'énergie restent à ce jour encore rares au sein de la filière française.

2.1.3.2. Joint-ventures

Les joint-ventures sont également plébiscitées dans le secteur de l'IA appliquée à l'énergie. Ils présentent une solution d'association et de partage de ressources en vue d'innover ou de proposer une offre commune.

Les joint-ventures peuvent présenter des structures très diverses, mais présentent toutefois des caractéristiques communes, à savoir l'association selon un objectif clairement défini, une mise en commun des ressources et donc un partage des risques, ainsi qu'une contractualisation de la coopération qui en fixe les modalités essentielles. Dans la plupart des cas, cette coopération s'appuie sur une structure juridique et se formalise par la création d'une société ou d'un Groupement d'Intérêt Économique (GIE).

Ce type de partenariat est particulièrement prisé pour l'innovation technologique, y compris pour le développement de l'Intelligence Artificielle dans le secteur de l'énergie. Les joint-ventures sont principalement mises en place par les grands acteurs français de l'énergie avec d'autres acteurs, qu'ils soient nationaux ou étrangers et qu'il s'agisse d'entreprises ou même d'États. Ainsi, en mai 2019, le groupe français d'ingénierie Assystem, opérant en particulier dans l'énergie, a signé un accord avec le ministère de l'Énergie de la République d'Ouzbékistan, officialisant la création d'une joint-venture ayant pour objectif de mettre en œuvre la transition énergétique du pays.⁶⁶

Les joint-ventures entre grands groupes internationaux sont assez courantes, à l'image de celle conclue au début de l'année 2020 entre ENGIE et le groupe espagnol EDPR leader en énergies renouvelables. Les deux géants de l'énergie avaient signé en mai 2019 un protocole d'accord stratégique affirmant la création d'une joint-venture, qui a ensuite été approuvée par la Commission européenne en février 2020. Cette joint-venture est une structure d'investissement spécialisée dans les actifs éoliens en mer, dans laquelle les deux groupes mettent en commun à la fois leur expertise industrielle et leur capacité de développement, avec pour objectif de devenir un leader mondial du secteur.⁶⁷

2.1.3.3. Stratégies collectives agglomérées

Les stratégies de R&D ou de commercialisation communes ne prennent pas uniquement la forme de partenariats entre un petit nombre d'acteurs. En effet, certaines dynamiques de stratégies collectives plus larges existent, mettant en relation un nombre plus ou moins large d'acteurs de toutes tailles et de secteurs différents et complémentaires. Ces types de stratégies collectives « larges » dynamisent la filière de l'IA appliquée à l'énergie et tissent un réseau d'information, de partage voire de recherche et de commercialisation commune entre les acteurs de la filière.

Parmi ces stratégies collectives, qui forment de véritables écosystèmes d'acteurs, l'on peut notamment citer la filière de l'énergie, construite autour du Contrat Stratégique de Filière (CSF) organisé par l'État,

⁶⁵ Direction des achats de l'Etat. (s. d.). Le groupement momentané d'entreprises (GME). Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dae/doc/gme.pdf

⁶⁶ Assystem. (2019, 7 octobre). Assystem signe un accord avec le Ministère de l'Énergie de la République d'Ouzbékistan. Consulté à l'adresse <https://www.assystem.com/fr/communiquede-presse/assystem-signe-un-accord-avec-le-ministere-de-lenergie-de-la-republique-douzbekistan/>

⁶⁷ ENGIE. (2020, 23 janvier). ENGIE a conclu un accord avec EDPR pour la création d'une joint-venture à 50/50 pour l'éolien en mer | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/accord-edpr-eolien-mer>

mais aussi des organisations telles que les pôles de compétitivité ou encore des associations qui fédèrent les acteurs de la filière.

Contrats Stratégiques de Filières

Les Contrats Stratégiques de Filières (CSF) sont organisés par l'État et constituent des accords de développements stratégiques entre les principaux acteurs des filières et l'État, dans l'objectif de créer des dynamiques de filières et de faire émerger de nouveaux partenariats. Les CSF sont organisés autour de plusieurs axes qui mettent en avant une vision commune des orientations stratégiques, de l'innovation et de la R&D et de l'exportation du savoir-faire de la filière.

En particulier, la filière « Industries des nouveaux systèmes énergétiques » fédère les acteurs de l'énergie renouvelable, de l'efficacité énergétique, du stockage de l'énergie et des réseaux intelligents.⁶⁸ Si l'objectif principal de ce CSF est bien sûr de favoriser la transition énergétique et les emplois, la priorité stratégique est aussi donnée à l'exportation des smart grids et du stockage qui représentent des secteurs prometteurs sur un marché mondial en pleine expansion.

Pôles de compétitivité et clusters

Sur un tout autre niveau d'échelle, les pôles de compétitivité et clusters représentent également des écosystèmes privilégiés par les grands groupes comme par les PME et startups pour mettre en commun leurs compétences et innover ensemble.

Si les deux sont à distinguer – le « cluster », au sens plus international fait état d'une collaboration voulue par les acteurs eux-mêmes alors que le « pôle de compétitivité », labellisé par l'État français, est reconnu et renforcé par les pouvoirs publics (Retour, 2009) – tous deux peuvent être définis comme « *la combinaison, sur un espace géographique donné, d'entreprises, de centres de formation et d'universités de recherche publiques ou privées, engagées dans une démarche partenariale destinées à dégager des synergies autour de projets commun en direction d'un (ou de) marché(s) donné(s).* » (Blanc, 2004)

Tenerrdis (Technologies énergies nouvelles, énergies renouvelables Rhône-Alpes, Drôme, Isère, Savoie pour le développement des nouvelles Technologies de l'énergie), inauguré en 2005, est un exemple de pôle de compétitivité dont le positionnement s'inscrit dans le développement de l'IA dans le secteur de l'énergie. La mission de Tenerrdis a plusieurs objectifs fondés sur la durabilité de la filière des nouvelles technologies de l'énergie, à savoir la création d'emplois pérennes, la croissance de l'activité sur le long terme et la cohérence avec les enjeux de transition énergétique. Avec plus de 700 projets et démonstrateurs labellisés, Tenerrdis favorise le développement des outils du numérique et l'Intelligence Artificielle au service de la transition énergétique.

Associations et fédérations

Des acteurs de filières se sont aussi organisés en associations, dont les objectifs peuvent être plus variables, même si tous ont pour objectif de se regrouper pour profiter des avantages de constitution en réseau. Ces avantages incluent le simple partage d'information et d'actualités mais aussi les opportunités de mise en place de projets communs de recherche, de constitution en consortium ou autre constitution de partenariat. Think Smartgrids est un exemple d'association d'acteurs de l'IA et de l'énergie (Figure 26)⁶⁹.

⁶⁸ Direction générale des entreprises (DGE). (2020). La filière Industries des nouveaux systèmes énergétiques | Conseil national de l'industrie. Consulté à l'adresse <https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/la-filiere-industries-des-nouveaux-systemes-energetiques>

⁶⁹ Think Smartgrids. (2017, 21 février). Think Smartgrids | Solutions Smart Grids françaises. Consulté à l'adresse <https://www.thinksmartgrids.fr>

Figure 26 - Think Smartgrids

Think Smartgrids

Think Smartgrids a été créée en 2015 avec pour objectif de « *développer la filière Réseaux Électriques Intelligents (REI) en France et de la promouvoir en Europe comme à l'international* ». Cela passe par plusieurs types d'initiatives. Pour promouvoir l'expertise française, Think Smartgrids organise en France et à l'international des événements et défend les intérêts de la filière en la représentant auprès d'interlocuteurs tels que les pouvoirs publics et des instances européennes et internationales. Think Smartgrids participe également de la compétitivité de la filière par une veille et étude sur les REI afin d'informer ses membres sur les sujets et enjeux ainsi que par un soutien au développement des membres de l'association, en particulier les PME/PMI.

L'étude des partenariats et stratégies collectives montre qu'un grand nombre d'initiatives existe entre de très nombreux acteurs de taille et d'expertises variées. Souvent, les acteurs appartiennent à plusieurs stratégies collectives différentes, elles-mêmes organisées autour de thèmes et d'objectifs similaires, laissant une relative impression de désorganisation à l'échelle de la filière française.

L'analyse de l'écosystème français de l'IA appliquée à l'énergie nous donne des éléments de réponse à notre première question de recherche.

Q1. Comment s'organise et évolue l'écosystème d'acteurs de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie ?

L'écosystème français du marché de l'IA appliquée à l'énergie apparaît très dynamique ; à la fois tiré par les leaders historiques du secteur et dynamisé par l'entrée de nouveaux acteurs et par l'émergence de nouveaux partenariats et associations d'acteurs. Ces stratégies collectives ont pour objectif direct ou indirect d'accroître la compétitivité de la filière à l'international face aux bouleversements majeurs de l'écosystème. Toutefois, une multitude d'initiatives existe, rassemblant pourtant souvent les mêmes acteurs et poursuivant les mêmes objectifs.

Afin d'approfondir cette observation de l'écosystème d'acteurs et sa capacité à s'organiser pour renforcer sa compétitivité à l'échelle internationale, nous analysons les atouts et faiblesses de la filière ainsi que les opportunités et menaces du marché international.

2.2. Analyse stratégique de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie

L'analyse stratégique de l'écosystème en place nous permettra d'avoir une vision globale de la compétitivité de la filière française de l'IA pour l'énergie et de mettre en valeur les opportunités à saisir, retard à rattraper, ou autre caractéristique de la filière sur laquelle travailler en priorité. Pour ce faire, nous avons choisi de recourir à la matrice SWOT (Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats) (Figure 27). Cet outil d'analyse, complété par l'étude des stratégies des concurrents internationaux, permettra de mieux comprendre les spécificités de la filière française, à savoir ses forces, faiblesses, opportunités et menaces, afin de dégager des axes stratégiques pour un plan d'action. Il s'agira en particulier de saisir et de prioriser les opportunités, contrer les menaces, capitaliser sur les forces et remédier aux faiblesses détectées.

Figure 27 - Spécificités et enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> ● Un écosystème d'acteurs puissant ● Le soutien de l'État ● Une formation qualitative en soutien à la recherche 	<ul style="list-style-type: none"> ● Un déploiement inégal entre les acteurs ● Un esprit conservateur ● Une accessibilité des données limitée ● Un transfert technologique qui peut être amélioré ● Des moyens et ressources relativement limités
Opportunités	Menace
<ul style="list-style-type: none"> ● Un savoir-faire reconnu des leaders nationaux et de la filière ● L'Europe, une opportunité d'affirmer et mettre en valeur le modèle français ● Des infrastructures de calcul puissantes ● Une prise de conscience écologique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Une concurrence accrue sur le marché ● Des normes européennes strictes en matière de données et de concurrence ● Des risques de dépendance technologique

2.2.1. Un puissant écosystème d'acteurs soutenu par un État engagé

La filière trouve essentiellement ses forces dans son puissant écosystème d'acteurs, dans le soutien de l'État, au travers de sa stratégie nationale et de ses investissements, ainsi que dans l'excellence académique qui soutient la recherche en IA.

2.2.1.1. Un écosystème d'acteurs puissant

Des leaders qui tirent la filière dans la recherche et l'exportation

Les acteurs de l'écosystème français de l'IA en énergie représentent des atouts majeurs pour la compétitivité de la filière à l'international. Les leaders nationaux comme EDF, ENGIE, Vinci ou encore Veolia disposent d'une présence internationale durable établie au travers de leurs filiales, et ce réseau contribue à faire rayonner la France dans le monde et à tirer l'ensemble de la filière à l'international.

En plus de sa présence sur les marchés internationaux, la France dispose d'une reconnaissance en termes d'expertise et de fiabilité véhiculée par ses leaders nationaux qui conçoivent eux-mêmes leurs solutions sur les différents maillons de la chaîne de valeur, à l'image du groupe EDF. De par cette activité R&D historique, notamment de conception de centrales clé en main, ces acteurs disposent des moyens d'innover, que ce soit en termes d'organisation, de talents ou de moyens financiers.

Le développement rapide de l'IA par les deux groupes EDF et ENGIE s'explique par une identification précoce de l'IA comme une technologie disruptive ainsi que la mise à disposition des moyens pour favoriser l'innovation dans le digital. Ainsi, en 2016, ENGIE a annoncé un plan sur trois ans consacrant 1,5 milliard d'euros au digital et à l'innovation incluant l'Intelligence Artificielle. A titre comparatif, le développement de l'IA ne représente pas une priorité pour les producteurs et fournisseurs d'énergie de plus petite taille, évidemment lié au fait que ceux-ci ne disposent pas des mêmes compétences et moyens financiers.

Or la menace de l'arrivée de nouveaux acteurs dans la filière de l'énergie, notamment en lien avec les phénomènes d'« ubérisation » et d'essor des startups, a accéléré l'internalisation de la recherche et développement, qui passe entre autres par des leviers organisationnels ou d'acquisition de technologie. Ce dernier levier est fortement plébiscité par les grands groupes français ; en effet, selon le « *Rapport de synthèse - France IA* » publié en 2017, la France est arrivée première au classement d'Europe continentale en valeur de fonds levés en IA, avec 385 millions d'euros levés. Si l'on regarde du côté des industriels, la France se place également en première position avec 6 groupes français parmi les 14 premiers investisseurs dans l'IA en Europe, dont Schneider Electric.⁷⁰

Si les deux leaders français et mondiaux en énergie participent à exporter le savoir-faire de la filière à l'étranger et à développer l'adoption de l'IA dans l'énergie, l'écosystème puissant de startups innovantes comme DC Brain ou Energiency participe également à cette dynamique.

Un écosystème spécialisé en IA

La France dispose d'un puissant écosystème de startups en IA. Selon une étude Bpifrance d'avril 2019, la France dispose de plus de 550 startups ayant une proposition de valeur forte en IA. La France se positionne ainsi au second rang européen, derrière le Royaume-Uni et devant l'Allemagne. Parmi les 550 startups françaises, 241 ont levé des fonds pour une valeur totale de 2 milliards d'euros.⁷¹

2.2.1.2. L'État en soutien à l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie

L'État français participe activement à la compétitivité de la filière à travers la définition de la stratégie nationale « *AI for Humanity* » et à travers son soutien à l'innovation et à l'exportation du savoir-faire français.

La stratégie nationale « AI for Humanity »

La France a lancé en novembre 2018 une stratégie nationale de recherche en IA nommée « *AI for Humanity* ». Cette stratégie, qui fait suite au rapport Villani « Donner un sens à l'I.A. »⁷², bénéficie d'un budget de 1,5 milliards d'euros et se structure en six axes (Figure 28)⁷³.

⁷⁰ Gouvernement français. (2017). *Rapport de synthèse France intelligence artificielle*. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf

⁷¹ Bpifrance. (2019, juillet). Cartographie des startup IA en France. Consulté à l'adresse <https://fr.slideshare.net/Bpifrance/20190717-bpifrance-cartographie-i-a>

⁷² Gouvernement français, & AI for humanity. (2018, novembre). *Stratégie nationale de recherche en IA*. Consulté à l'adresse https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/strategie_IA/60/7/mesri_IA_dep_A4_09_1040607.pdf

⁷³ Gouvernement français, & AI for humanity. (2018, novembre). *Stratégie nationale de recherche en IA*. Consulté à l'adresse https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/strategie_IA/60/7/mesri_IA_dep_A4_09_1040607.pdf

Figure 28 - Les six axes de la stratégie nationale « AI for Humanity »

Les six axes de la stratégie nationale « AI for Humanity »

1. « Déployer un programme national pour l'IA piloté par Inria
2. Lancer un programme d'attractivité et de soutien aux talents
3. Dynamiser la recherche en IA à l'ANR
4. Renforcer les moyens de calcul
5. Renforcer la recherche partenariale
6. Renforcer les coopérations bilatérales, européennes et internationales »

Cette stratégie française en IA sera soutenue par des financements, dont 100 millions d'euros de fonds pour la recherche nationale (3), 170 millions d'euros d'investissements conjointement avec la commission européenne pour les moyens de calcul (4), et 65 millions d'euros d'investissements par l'État français pour la recherche partenariale (5).

Avec de tels investissements, la France se donne les moyens de concourir auprès des leaders internationaux dans la course à l'IA. Pour rappel, à titre comparatif, l'Allemagne a promis des investissements à hauteur de 6 milliards d'euros dans l'IA sur la période 2018 – 2025, le Royaume-Uni 1 milliard et le Japon 640 millions d'euros.⁷⁴

Les résultats sont d'ores-et-déjà visibles, notamment sur l'attractivité (2) et les moyens de calcul (4). Par exemple, le groupe alsacien ÉS a lancé en janvier 2020, avec 5 cinq autres grandes entreprises alsaciennes, une chaire industrielle qui « participera à préparer notre territoire à relever les nouveaux défis énergétiques des infrastructures et des services de demain ». Afin d'améliorer les moyens de calcul, Jean Zay, un des plus puissants supercalculateurs d'Europe au sein de l'IDRIS sur le plateau de Saclay a été inauguré en janvier 2020.⁷⁵

Le soutien à l'innovation

L'État français soutient l'innovation dans tous les secteurs de l'économie principalement à travers deux leviers : celui du soutien à l'investissement et celui du soutien à la recherche.

En effet, l'État encourage les investissements au travers de nombreux dispositifs incitatifs tels que le Crédit Impôt Recherche, le Crédit Impôt Compétitivité Emploi, le Passeport talents ou encore le Visa French Tech.

L'État encourage également la recherche via l'implantation de laboratoires sur tout le territoire. En effet, selon l'étude « *L'Intelligence Artificielle au service des entreprises* », publiée en 2019 par le ministère de l'économie et des finances, près de 88 laboratoires et centres de recherche de R&D et plus de 13000 chercheurs travaillent sur des problématiques IA ou connexes en France. Parmi ces centres de recherche, on trouve notamment ceux de groupes internationaux du numérique tels que Google, Facebook, Microsoft, Uber, Fujitsu, IBM, Criteo, ou Thales.⁷⁶

La valorisation du savoir-faire français dans le monde

L'État joue également un rôle non négligeable dans le soutien à la commercialisation des solutions de ses filières à l'international. Les Chambres de Commerce et d'Industrie et Business France ont

⁷⁴ Gendarmerie nationale. (2019, juillet). Intelligence artificielle : état des lieux des initiatives étatiques. *Gendarmerie*. Consulté à l'adresse <https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr>

⁷⁵ Université Paris Saclay. (2020, 30 janvier). Un supercalculateur surpuissant sur le campus de Paris-Saclay. Consulté à l'adresse <https://www.universite-paris-saclay.fr/actualites/un-supercalculateur-surpuissant-sur-le-campus-de-paris-saclay>

⁷⁶ Ministère de l'économie et des finances, & AI for humanity. (2019). *Stratégie nationale pour l'Intelligence Artificielle : Présentation du volet économique*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/numerique/grands-dossiers/intelligence-artificielle/Dossier_participant_ia_030719.pdf

notamment pour objectifs de promouvoir le savoir-faire français à l'international et d'aider les entreprises françaises à renforcer leurs positions sur les marchés locaux.

2.2.1.3. L'excellence académique en soutien à la recherche française

La filière française de l'IA appliquée à l'énergie bénéficie également d'une formation française de haute qualité en IA. Près de 35 masters spécialisés sont proposés dans ce domaine en France et plus de 1000 thèses ont été soutenues sur le sujet ces 4 dernières années. Cela permet à la filière un accès à des experts mondiaux de l'IA issus de la recherche académique française, dont Yann Le Cun, pionnier français de l'intelligence artificielle et du *deep learning* et actuel *Chief AI scientist* chez Facebook, qui s'est vu attribuer le prix Turing en mars dernier.

Cette excellence académique française se répercute favorablement sur la recherche par transfert technologique. Ainsi, entre 2011 et 2016, la France a été le premier pays européen en nombre de dépôts de brevets sur ces technologies.⁷⁷

Un point de vigilance toutefois ; si les formations en IA sont riches, elles restent encore très inégalement réparties en termes de thématiques et de géographie. En effet, l'offre est principalement concentrée en Île-de-France, et sur des thématiques d'IA spécifiques. De même, le nombre de formateurs sur le sujet croît difficilement et peine à se maintenir.⁷⁸

La filière française possède donc de nombreux atouts qui peuvent lui permettre de se hisser parmi les leaders en IA pour l'énergie.

2.2.2. Un manque de ressources et un déploiement inégal qui freinent la filière

La filière fait cependant face à des freins qui limitent sa compétitivité à l'international, le premier étant un certain conservatisme national qui freine l'innovation, mais aussi un déploiement inégal entre les acteurs de la filière, un accès limité aux données, une fuite des cerveaux nationaux, une difficulté de passer de la recherche à l'innovation et un manque de coordination à l'échelle européenne.

2.2.2.1. Un certain conservatisme qui freine l'innovation

La France bénéficie aujourd'hui d'une énergie nucléaire qui lui assure à la fois une relativement faible émission de CO2 et une certaine indépendance énergétique. Ce « confort » relatif tant en termes écologiques que financiers, permet à la France d'appréhender sa transition énergétique de manière moins urgente que ses voisins européens, qui, dépendant des énergies fossiles, se retrouvent dans l'obligation de renouveler leur mix énergétique dans leur globalité et dans un temps records afin de remplir leurs objectifs de développement durable.

Aujourd'hui, la part d'énergies renouvelables dans la production nette d'électricité de la France s'élève toujours à moins de 20%, un pourcentage bien loin de nos objectifs et également loin de la part observée chez nos voisins européens. A titre comparatif, l'Allemagne a porté en quelques années la part d'énergies renouvelables de sa production nette d'électricité à 47%, essentiellement portée par l'éolien.

⁷⁷ Ministère de l'économie et des finances, & AI for humanity. (2019). *Stratégie nationale pour l'Intelligence Artificielle : Présentation du volet économique*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/numerique/grands-dossiers/intelligence-artificielle/Dossier_participant_ia_030719.pdf

⁷⁸ Ministère de l'économie et des finances, & AI for humanity. (2019). *Stratégie nationale pour l'Intelligence Artificielle : Présentation du volet économique*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/numerique/grands-dossiers/intelligence-artificielle/Dossier_participant_ia_030719.pdf

Ce conservatisme, lié au confort que nous assure l'énergie nucléaire, s'accompagne également d'un état d'esprit conservateur relatif à l'utilisation des technologies émergentes. En effet, le grand public se montre anxieux face à l'émergence d'une Intelligence Artificielle, cette anxiété étant portée par l'imaginaire collectif nourri des films de science-fiction projetant la perte de contrôle de l'Homme en faveur de la machine alors capable de tout contrôler à distance. Cette crainte s'applique naturellement et avec force dans le secteur de l'énergie étant donné l'importance stratégique que ce service public représente ; d'autant plus que l'Intelligence Artificielle nécessite un accès aux données énergétiques des consommateurs, jugées personnelles. Le décryptage « *Offres Linky : Big Brother débarque chez vous* »⁷⁹, publié en décembre 2019 par l'Union fédérale des consommateurs Que Choisir témoigne de la crainte voire de l'opposition du grand public à l'égard des compteurs communicants, et alerte sur la nécessité de protéger et de familiariser les citoyens à ce type de technologies. Dans cette lignée, l'État, des associations et des collectifs comme « Impact AI » ont engagé des plans de formation du grand public, à travers la mise à disposition de MOOC d'initiation à l'IA gratuits et accessibles à tous mais aussi à travers l'animation de séances de débats et d'ateliers.⁸⁰

2.2.2.2. Un déploiement inégal entre les acteurs de la filière

Une autre faiblesse concerne le déploiement inégal de l'IA entre les différents acteurs de la filière. Cette différence est frappante, en particulier quand l'on considère l'avance prise par EDF et ENGIE comparativement aux autres acteurs de l'énergie. En effet, une étude Xerfi parue en 2020 compare la capacité des principaux énergéticiens opérant en France à extraire de la valeur à partir de l'utilisation de l'IA sur les critères de taux d'adoption de l'IA, de capacité à générer de nouveaux revenus par l'IA, et de l'intégration de l'IA au sein de l'organisation. Celle-ci démontre clairement la distanciation d'EDF et ENGIE face à des acteurs comme Total, Eni ou Vattenfall.⁸¹

Comme le souligne Didier Laffaille, Secrétaire Général du Comité de Prospective de la CRE, à titre comparatif, en Allemagne, les grands opérateurs de réseaux font très peu de R&D en interne, préférant déléguer cette mission à leurs fournisseurs, des industriels comme Siemens ou ABB : ils conçoivent ainsi les solutions à la demande des énergéticiens qui leur fournissent un soutien financier (Figure 29).

Les conséquences de ce déploiement inégal entre acteurs sont doubles. Tout d'abord, les grands groupes industriels français font très peu de recherche amont, qui reste financée essentiellement par des fonds publics. Or, les recherches amont offrent un véritable potentiel de progrès. Ces thèmes sont traités par des communautés, mais il n'y a pas de transfert industriel par la suite. De plus, cette domination de la filière par les groupes industriels nuit à l'émergence de PME dans l'IA appliquée à l'énergie. Ainsi, le nombre de PME exportatrices est moitié plus faible en France qu'en Allemagne ou en Italie.⁸²

⁷⁹ UFC-Que Choisir. (2019, 19 décembre). Offres Linky - Big Brother débarque chez vous - Décryptage. Consulté à l'adresse <https://www.quechoisir.org/decryptage-offres-linky-big-brother-debarque-chez-vous-n74171/>

⁸⁰ IMPACT AI. (2019, juillet). *Un engagement collectif pour un usage responsable de l'intelligence artificielle*. Consulté à l'adresse <http://www.impact-ai.fr/wp-content/uploads/2019/07/Livre-blanc-Impact-AI.pdf>

⁸¹ Xerfi. (2020, juin). *La révolution de l'intelligence artificielle dans la filière de l'énergie*. Consulté à l'adresse https://www.xerfi.com/presentationetude/La-revolution-de-l-intelligence-artificielle-dans-la-filiere-de-l-energie_20SCO58

⁸² Gouvernement français. (2017). *Rapport de synthèse France intelligence artificielle*. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf

Entretien avec Didier Laffaille sur les acteurs de l'innovation

« En France, on a la chance d'avoir un acteur mondialement connu, mais surtout mondialement reconnu : EDF. À l'époque où EDF était encore intégré, avec la production, le transport, la distribution et la commercialisation, le groupe intégrait aussi une importante R&D. Il était le seul grand énergéticien qui rédigeait ses propres spécifications. Du côté des groupes allemands, on a aussi de grands opérateurs de réseaux, mais ils n'ont jamais fait de R&D. Ils ont toujours confié la R&D à des industriels comme Siemens ou ABB : c'était à ces entreprises de concevoir la R&D à la demande des énergéticiens. L'Allemagne apportait finalement son soutien financier à la R&D aux industriels et non pas aux énergéticiens. Nous en France, on a la chance d'avoir EDF qui conçoit tout seul ses propres centrales de production, le seul qui soit capable de construire une centrale clé en main. »

Didier Laffaille, Secrétaire Général du Comité de Prospective de la CRE

2.2.2.3. Un accès limité aux données

En France, l'accès à une forte quantité de données est limité, en raison de questions d'appartenance des données personnelles et de données souveraines. Ainsi, les énergéticiens n'ont accès qu'aux données de consommation de leur clients respectifs. Or, le développement de solutions IA requiert une très large quantité de données, qui n'est pas forcément accessible à tous. Cette difficulté d'accès aux données est donc un frein au développement de l'IA pour l'énergie. C'est d'autant plus une faiblesse pour la filière, quand on compare la réglementation française à celle d'autres pays asiatiques où la question de la donnée est beaucoup moins sensible.

Un autre facteur joue sur le nombre de données accessibles pour le développement de l'IA, celui de la langue française. En effet, la recherche internationale n'étant pas systématiquement traduite dans la langue française, l'accès à cette recherche reste relativement limité. Les données, qui sont nécessaires aux phases d'apprentissage du *machine learning*, sont également souvent en langue anglaise, aussi le manque de données en langue française provoque un ralentissement significatif des phases d'apprentissage.

2.2.2.4. Une fuite des cerveaux nationaux

Dans la discipline de l'Intelligence Artificielle comme dans de nombreuses disciplines, le vivier d'ingénieurs et de chercheurs formés en France peine à suffire aux besoins d'embauche des entreprises qui cherchent à innover dans le domaine. Ce déficit s'explique aussi par une fuite des cerveaux nationaux vers des pays comme les États-Unis, qui promettent entre autres une rémunération plus attractive. En effet, comme l'a souligné Cédric Villani dans son rapport « Donner un sens à l'Intelligence Artificielle : pour une stratégie nationale et européenne » publié en 2018, les salaires en France ne sont pas à la hauteur pour retenir nos talents : « le salaire d'un chercheur débutant, après huit ans d'études post-bac, est de l'ordre de 1,7 SMIC » en France⁸³, contre 4 à 5 fois plus chez les grands groupes américains comme Google ou Facebook par exemple.

Pour endiguer cette fuite des cerveaux, la France doit concentrer ses efforts sur le renforcement de l'attractivité de l'écosystème français.

⁸³ Villani, C. (2018). *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*. Consulté à l'adresse https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf

2.2.2.5. Des difficultés à passer de la recherche à l'innovation

Si la recherche est une force de la filière française, le transfert technologique reste encore relativement peu efficace. En effet, le « *Rapport de synthèse - France IA* » publié en 2017 montre l'existence d'un grand nombre d'opérations de transferts technologiques mais également un grand nombre de technologies encore insuffisamment exploitées. Or, selon le rapport, bon nombre d'entre elles « *pourraient être industrialisées à brève échéance et irriguer un grand nombre de secteurs économiques.* »⁸⁴

Depuis 2012, les SATT (Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies) ont pour mission d'accélérer et faciliter « *le transfert de technologies et de connaissances de la recherche publique vers les entreprises de toute taille* », y compris en IA. Dans ce cadre, elles détectent les innovations et projets à fort potentiel de création de valeur et les accompagnent dans leur développement technologique, juridique, et commercial. Elles permettent ainsi de limiter la prise de risque des entreprises qui adopteraient le projet, et de multiplier le nombre d'innovations exploitables par les entreprises. Dans ce cadre, un budget de 856 millions d'euros a été alloué à la création des SATT et au soutien de leur activité.⁸⁵

Six ans plus tard, les résultats sont conséquents, avec plus de 10 000 projets innovants détectés et analysés, près de 2500 brevets prioritaires déposés, 757 licences d'exploitation signées avec des entreprises et 320 startups créées.⁸⁶

Dans la continuité, le plan « *Génération Deeptech* » lancé par Bpifrance en 2019 se fixe pour objectif de soutenir plus de 1 500 startups avant 2023, soit le double de l'objectif initial, et d'améliorer la notoriété des SATT. Cependant, des difficultés subsistent, et incluent notamment le manque de chercheurs qui contraint à une sélection forte sur les projets. Ainsi, les investissements financiers de Bpifrance pourraient ne pas suffire à eux seuls à atteindre ces objectifs ambitieux.⁸⁷

2.2.2.6. Un manque de coordination à l'échelle européenne

Des coordinations bilatérales limitées

En août 2018, la France a signé avec l'Allemagne un accord de coopération bilatéral en Intelligence Artificielle. La priorité est donnée à l'innovation sur quatre sujets clés, dont le renouvellement numérique de l'industrie et les écosystèmes de startups. Cet accord prévoit aussi la réalisation d'un programme de travail et d'un calendrier de suivi.

Avec l'Allemagne, la coopération semble poussée et structurée, notamment avec la publication d'une feuille de route conjointe franco-allemande pour la recherche et l'innovation en IA en janvier 2019. Les principaux objectifs de cette feuille de route sont de renforcer la coopération en développant les liens entre les structures existantes et en créant un écosystème commun en matière d'IA. Un autre objectif est d'accélérer la collaboration en IA à l'échelle de l'Union Européenne au travers d'actions communes.

Ces coopérations montrent bien la volonté de la France de former des partenariats avec ses voisins européens, toutefois ces coopérations restent limitées en nombre et en ampleur, la coopération avec l'Allemagne restant aujourd'hui une exception.

⁸⁴ Gouvernement français. (2017). *Rapport de synthèse France intelligence artificielle*. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf

⁸⁵ SATT. (2020, 23 avril). Réseau SATT. Consulté à l'adresse <https://www.satt.fr/societe-acceleration-transfert-technologies/>

⁸⁶ Moigne, G. L. (2019, 28 mars). SATT : La France ambitionne d'accélérer le transfert de technologie entre la recherche et l'industrie. Consulté à l'adresse <https://www.actuia.com/actualite/la-france-ambitionne-daccelerer-le-transfert-de-technologie-entre-la-recherche-et-lindustrie/>

⁸⁷ Moigne, G. L. (2019, 28 mars). SATT : La France ambitionne d'accélérer le transfert de technologie entre la recherche et l'industrie. Consulté à l'adresse <https://www.actuia.com/actualite/la-france-ambitionne-daccelerer-le-transfert-de-technologie-entre-la-recherche-et-lindustrie/>

Un manque d'ambition de la part de l'Union Européenne

À la suite de nombreuses études et consultations, la Commission européenne a publié son Livre Blanc intitulé « *Intelligence Artificielle : une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance* » en février 2020. Ce livre blanc a pour ambition de cadrer une approche commune européenne sur l'IA. Les trois principaux axes du document sont la technologie, les valeurs et la régulation et investissements. Il prévoit notamment l'investissement de 20 millions d'euros par an en IA jusqu'à 2030.

Cependant, ce Livre Blanc a fait l'objet de nombreuses critiques. Tout d'abord, l'article « *La stratégie européenne en intelligence artificielle : un acte manqué ?* »⁸⁸ de l'IRIS met en exergue l'imprécision des objectifs et des critères d'évaluation, qui pourraient résulter en un manque de structuration des actions et un manque de sens dans les projets d'investissement. Ce flou s'explique par une difficulté à s'accorder sur les priorités face à des intérêts économiques nationaux divergents. La deuxième critique émise concerne le manque d'informations sur la provenance des capitaux investis. Le risque majeur serait d'accroître la dépendance technologique de l'Union Européenne, dans le cas où les investissements proviendraient d'acteurs privés internationaux tels que la Chine ou les États-Unis. Finalement, le modèle de compétitivité de régulation au nom de valeurs européennes peine à convaincre dans un contexte international où l'Union Européenne perd en influence.

Le manque de coopérations à l'échelle européenne couplé à ce manque d'ambition et de stratégie de l'Union Européenne montre qu'on est encore loin de voir émerger un « Airbus » de l'Intelligence Artificielle ou de l'énergie.

2.2.3. Des opportunités liées à la coopération européenne et aux marchés émergents

2.2.3.1. Un fort potentiel de croissance des marchés internationaux de l'IA appliquée à l'énergie

Le marché de l'IA appliquée à l'énergie est un marché en pleine expansion, notamment dans les pays en développement. Au Brésil par exemple, de nombreux acteurs français sont présents dans le secteur de l'énergie, dont EDF Renewables, Vinci Energies et Voltalia, qui proposent des solutions d'Intelligence Artificielle. D'après nos échanges avec des membres de Business France Brésil, ce pays représente un marché de taille en IA appliquée à l'énergie, étant donné que la production énergétique brésilienne est composée à plus de 83% d'énergies renouvelables, et que l'IA est une solution d'intégration des énergies renouvelables et de stabilisation du réseau. Le pays est également très demandeur de solutions d'efficacité énergétique et d'optimisation du réseau, et de projets smart grids dans les zones les plus développées. C'est donc une opportunité pour la filière française de faire valoir son savoir-faire en termes de solutions fiables et innovantes. Les problématiques énergétiques brésiennes sont similaires dans de nombreux pays en développement, et représentent donc autant d'opportunités pour la filière française.

2.2.3.2. Des infrastructures de calcul qui offrent un potentiel de développement de l'IA

La recherche et l'exploitation de solutions IA complexes nécessitent de fortes capacités calculatoires, comme des supercalculateurs ou des ordinateurs quantiques. Ceux-ci peuvent être rendus disponibles par des technologies de *cloud computing*.

Depuis janvier 2020, la France dispose d'un supercalculateur sur le plateau de Saclay, mis gratuitement à disposition des scientifiques et chercheurs français, incluant les industriels. La France se place ainsi

⁸⁸ IRIS. (2020, février). La stratégie européenne en intelligence artificielle : un acte manqué ? Consulté à l'adresse <https://www.iris-france.org/144431-la-strategie-europeenne-en-intelligence-artificielle-un-acte-manque%E2%80%89/>

en quatrième position parmi les pays ayant le plus de supercalculateurs dans le top 50 mondial.⁸⁹ Cependant, les technologies de *cloud computing* restent un enjeu majeur pour garantir l'accès à ce calculateur ainsi que la sécurité des données utilisées à l'échelle française ou européenne.⁹⁰

Au-delà des calculateurs, une opportunité largement valorisée pour l'IA est la synergie avec l'informatique, et plus spécifiquement les ordinateurs quantiques. Ces ordinateurs permettront notamment un traitement accéléré de l'apprentissage et des décisions. Or, la France bénéficie de pôles d'excellence en calculs quantique au sein de l'Université Paris-Saclay, et à Grenoble avec le Projet Quantum Silicon. De plus, un rapport soumis au premier ministre en janvier 2020 pourrait donner lieu au lancement d'un plan quantique en 2020.⁹¹

Ces infrastructures offrent un fort potentiel de croissance à la filière de l'IA appliquée à l'énergie.

2.2.3.3. L'Europe, une opportunité pour la filière française de construire de nouvelles stratégies collectives

L'Europe est une opportunité pour la France de développer et soutenir à l'échelle internationale un modèle commun de l'IA en énergie. En effet, une stratégie collective européenne permettrait à la fois d'obtenir plus de poids à l'échelle internationale, mais également de développer des stratégies collectives à plus grande échelle, favorisées par la complémentarité des compétences.

Un fort potentiel de création de valeur en Europe

L'IA représente un fort potentiel de croissance pour l'Union Européenne, dans l'hypothèse où les acteurs parviendraient à affirmer des intérêts communs.

L'étude « *Tackling Europe's gap in digital and AI* » réalisée par McKinsey en février 2019 analyse le potentiel de croissance de l'Union Européenne si l'Europe développait et diffusait l'Intelligence Artificielle. Ce potentiel s'élèverait à 2,7 millions d'euros de retour économique combiné, soit une croissance annuelle moyenne de 1,4% de 2019 à 2030. La mesure du retour économique combiné prend en compte les gains et les coûts d'implémentation et externalités négatives liés au développement de l'IA.⁹²

Un potentiel qui s'explique en partie par la diversité des compétences des pays européens

L'« *AI Readiness Index* » réalisé par McKinsey met en valeur les différences d'avancée en digital et IA des pays européens. On note une claire avancée des pays anglo-saxons et d'Europe du nord par rapport aux autres pays Européens, avec en tête l'Irlande, compétitive sur les problématiques de connectivité, la Finlande sur le capital humain, et le Royaume-Uni sur l'innovation. Cette diversité de compétences représente une réelle opportunité pour chacun des acteurs d'échanger sur les pratiques et de créer un environnement favorable à l'IA. La France, si elle se positionne dans le premier quart dans la catégorie « *Digital Readiness* », pourrait par exemple bénéficier des startups IA du Royaume Uni, ou des talents de la Suède, indices sur lesquels elle est relativement moins compétitive.

⁸⁹ CNRS. (2020, 23 janvier). Supercalculateur Jean Zay : les défis de la co-construction. Consulté à l'adresse <http://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/supercalculateur-jean-zay-les-defis-de-la-co-construction>

⁹⁰ Gouvernement français. (2017). *Rapport de synthèse France intelligence artificielle*. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf

⁹¹ Larousserie, D., & Le Monde. (2020, 9 janvier). La France rêve d'un plan quantique pour développer ces technologies du futur. Consulté à l'adresse https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/01/09/la-france-reve-d-un-plan-quantique-pour-developper-ces-technologies-du-futur_6025301_3234.html

⁹² McKinsey. (2019, février). *Tackling Europe's gap in digital and AI*. Consulté à l'adresse <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/tackling-europes-gap-in-digital-and-ai>

Les cinq priorités recommandées par McKinsey pour exploiter au mieux l'opportunité de l'Union Européenne dans le domaine du digital et de l'IA sont :

1. « Continuer de développer un écosystème de startups en deep tech et IA afin de créer de nouveaux business model ;
2. Favoriser la transformation digitale et l'utilisation de l'IA au sein des entreprises européennes ;
3. Continuer sa progression sur le marché purement digital ;
4. Saisir les opportunités en formant les talents et en acquérant des compétences nécessaires au sein de l'entreprise ;
5. Réfléchir « avec audace » à la manière de guider les entreprises à travers les potentielles perturbations. »⁹³

2.2.3.4. Une prise de conscience et un changement des mentalités en faveur de l'IA

Selon le rapport « *Modes de vie et pratiques environnementales des Français* »⁹⁴, réalisé par le Commissariat général au développement durable en avril 2018, chaque génération se dit en moyenne plus sensible à l'environnement au même âge que la précédente. Cette étude a été réalisée en plusieurs vagues entre 2005 et 2014, sur un échantillon d'individus entre 18 et 87 ans, nés entre 1917 et 1996. Cette prise de considération croissante des problématiques environnementales s'allie à d'autres tendances favorables au développement des technologies d'efficacité énergétique et d'intégration des énergies renouvelables, comme par exemple l'émergence du consomm'acteur, soucieux de la qualité et des impacts de sa consommation, et l'émergence de l'autoproduction et de l'autoconsommation. L'IA pourra être mieux acceptée si ses cas d'usage correspondent aux valeurs et comportements des consommateurs.

De nombreuses opportunités s'offrent ainsi à la filière française de l'IA appliquée à l'énergie. L'enjeu est de saisir ces opportunités pour les transformer en forces et ainsi renforcer la position concurrentielle de la filière à l'international.

2.2.4. Une menace suscitée par une concurrence accrue et des barrières normatives

2.2.4.1. Une concurrence accrue sur le marché

De nouveaux entrants sur le marché international de l'IA en énergie

Le marché français de l'énergie ayant été historiquement hautement régulé, l'ouverture à la concurrence permettant l'entrée de nouveaux acteurs sur le marché national est une source d'incertitudes pour la filière française de l'énergie. L'émergence de leaders internationaux de l'énergie comme la State Grid Corporation of China⁹⁵ est à surveiller de près pour veiller à conserver nos positions stratégiques sur le marché national, européen et international.

L'insertion des acteurs du numérique sur le marché de l'énergie représente également une menace non négligeable pour les acteurs français de l'IA en énergie. Pour la filière, il s'agira de construire des partenariats avec ces acteurs qui semblent inévitables pour capitaliser sur leurs précieuses recherches et savoir-faire en termes d'IA. En revanche, une attention particulière devra être portée sur les dangers

⁹³ McKinsey. (2019, février). Tackling Europe's gap in digital and AI. Consulté à l'adresse <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/tackling-europes-gap-in-digital-and-ai>

⁹⁴ Commissariat général au développement durable (2018, avril). *Modes de vie et pratiques environnementales des Français*. Consulté à l'adresse <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9matiques%20-%20Modes%20de%20vie%20et%20pratiques%20environnementales%20des%20Fran%C3%A7ais.pdf>

⁹⁵ La State Grid Corporation of China fait l'objet d'une étude au chapitre 2.3.1.2

que représente ce type de partenariat, en particulier il s'agira pour les acteurs français de l'énergie de veiller à garder le contrôle de leurs données et conserver leur expertise métier.

Ces nouveaux entrants représentent une menace d'autant plus sérieuse qu'ils bénéficient de puissants moyens de financement et d'une forte capacité à lever des fonds. En effet, les moyens alloués aux projets d'IA appliquée à l'énergie par les leaders chinois ou américains atteignent des niveaux incomparables aux moyens des leaders français de l'énergie ou même de l'État français. La comparaison avec la Chine ou les États-Unis serait à cet égard plus pertinente, mais fort est de constater que l'Europe ne se donne pas les moyens financiers de faire face aux géants internationaux que sont les GAFAM ou la SGCC. En effet, pour 1,5 milliards d'euros (soit 1,7 milliards de dollars) investis par l'UE en IA entre 2018 et 2020, les États-Unis ont investi 5 milliards de dollars, et la Chine 70 milliards de dollars.⁹⁶

De nombreux marchés peu ouverts à la concurrence

Le secteur de l'énergie s'est ouvert progressivement à la concurrence en France mais reste toujours en partie régulé. Il en est de même dans de nombreux pays, où l'énergie, considérée comme une activité souveraine, est partiellement ou totalement régulée afin de garantir un service public stable. Ainsi, des barrières à l'entrée subsistent dans de nombreux pays. En Chine par exemple, le secteur est toujours entièrement régulé par l'État : les entreprises nationales couvrent ainsi le marché national et sont protégées de la concurrence sur le territoire chinois, mais peuvent s'exporter à l'international. Ces barrières à l'entrée constituent donc des obstacles à l'exportation de la filière française. Pour pénétrer ces marchés, les entreprises étrangères sont ainsi obligées de former des partenariats avec des acteurs locaux.

Une forte concurrence des plans nationaux

Comme abordé au cours du chapitre précédent, les concurrents se font nombreux sur le marché de l'IA en énergie, tant à l'échelle des entreprises qu'à l'échelle des pays qui, par leurs plans d'investissement et leurs stratégies nationales, tentent de hisser leurs filières nationales au rang de leader. Cette course aux plans nationaux représente une vraie menace pour la filière française de l'IA en énergie en ce que les filières étrangères peuvent être soutenues par des plans d'investissement, de recherche et de formation plus ambitieux que ceux de la France. Aussi l'État doit-il poursuivre ses efforts d'investissement et son soutien à la filière.

2.2.4.2. Des normes européennes strictes en matière de données et de concurrence

Des normes strictes en matière de protection des données

Adopté en 2016, le RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données) harmonise les règles européennes de protection de données personnelles et renforce le contrôle par les citoyens de l'utilisation de leurs données. Du point de vue des entreprises, ce règlement est contraignant car implique de forts investissements dans la protection des données personnelles et freine le développement de technologies comme le *Big Data* ou l'IA en limitant par exemple la durée de conservation des données personnelles.

Or, cette réglementation est une initiative à l'échelle européenne, qui n'a pas d'équivalent dans d'autres pays tels que les États-Unis ou la Chine. En ce sens, elle peut représenter une menace en ce qu'elle peut nuire à la compétitivité de la filière française face à d'autres acteurs internationaux pour lesquels l'utilisation des données est plus libre.

⁹⁶ IRIS. (2020, février). La stratégie européenne en intelligence artificielle : un acte manqué ? Consulté à l'adresse <https://www.iris-france.org/144431-la-strategie-europeenne-en-intelligence-artificielle-un-acte-manque%E2%80%89/>

Un droit à la concurrence fort qui peut freiner des initiatives de stratégies collectives

La Commission Européenne, en faisant appliquer le droit à la concurrence à l'échelle de l'Union Européenne, peut constituer un obstacle pour le développement de partenariats à l'échelle européenne.

Par exemple, la stratégie collective de joint-venture entre ENGIE et EDPR signée en mai 2019, a été soumise au veto de la Commission européenne pour valider ou non l'initiative. Cette initiative a été approuvée près d'un an plus tard, en février 2020.⁹⁷ Si cette joint-venture a été approuvée, le risque de refus reste bien présent de manière globale, et le traitement de cas auprès de la Commission européenne peut provoquer des délais non négligeables.

Le droit à la concurrence européen s'applique également dans le cas de fusions dont l'objectif est de créer des leaders européens de l'IA pour l'énergie. En effet, selon L'Usine Nouvelle, plus de 31 projets de fusion ont été bloqués par la Commission Européenne depuis 1990, dont la récente demande de fusion entre Alstom et Siemens Mobility.⁹⁸ Si cette politique de droit de la concurrence représente un obstacle fort aux GAFAM, elle peut donc également constituer une menace pour la filière française et européenne de l'IA pour l'énergie.

2.2.4.3. La dépendance envers des pays et leaders étrangers maîtrisant les technologies nécessaires au développement de l'IA

Les acteurs doivent également anticiper le danger que représente la dépendance à d'autres secteurs et notamment celui du numérique, d'autant plus quand ceux-ci sont des acteurs étrangers, à l'image des géants du digital américains (GAFAM) et chinois (BATX).

L'exemple du secteur bancaire montre bien comment les GAFAM sont capables de s'intégrer en quelques années sur de nouveaux marchés grâce à la maîtrise du *big data*. Initialement, les banques ont confié leurs riches bases de données à des acteurs tiers comme les mastodontes de la technologie afin de gérer leurs interfaces et d'accroître leurs performances. Aujourd'hui, l'exploitation de ces données ont permis aux GAFAM de proposer de nouvelles offres bancaires et de s'emparer de segments bancaires et financiers au détriment des acteurs historiques.

Il s'agira donc pour les acteurs du secteur énergétique de solliciter les acteurs maîtrisant le *big data* et les technologies d'Intelligence Artificielle sans perdre le contrôle de leurs données et de leur expertise.

Une autre dépendance technologique risque de voir le jour dans les années à venir : celui de la 5G, essentiellement développée par les pays d'Asie du Nord-Est. Les pays européens, en retard sur cette technologie, se voient obligés d'accepter que leurs télécoms utilisent des équipements de mastodontes chinois comme Huawei pour déployer la 5G sur leur territoire. Ils s'engagent ainsi dans une lourde dépendance en termes de normes et de sécurité des données, et cela pourrait avoir un impact sur le développement et l'utilisation de l'Intelligence Artificielle en Europe.

Les menaces qui pèsent sur la filière française sont ainsi nombreuses et doivent être anticipées afin d'éviter une perte de compétitivité de la filière française de l'IA pour l'énergie à l'international.

⁹⁷ ENGIE. (2020, 23 janvier). ENGIE a conclu un accord avec EDPR pour la création d'une joint-venture à 50/50 pour l'éolien en mer | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/accord-edpr-eolien-mer>

⁹⁸ Davesne, S. (2019, 9 février). Pourquoi la Commission européenne refuse la fusion Alstom-Siemens. Consulté à l'adresse <https://www.usinenouvelle.com/editorial/pourquoi-la-commission-europeenne-refuse-la-fusion-alstom-siemens.N802765>

L'analyse stratégique de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie nous permet de dresser une synthèse mettant en avant les principales spécificités (forces et faiblesses) et enjeux (opportunités et menaces) de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie à l'international et nous permet ainsi de répondre à notre deuxième question de recherche :

Q2. Quelles sont les spécificités et enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie à l'international ?

Notre travail de recherche a permis d'identifier six grandes spécificités et enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie :

1. Une multitude d'initiatives non coordonnées
2. Une filière surtout tirée par les champions nationaux de l'énergie
3. Des synergies encore timides à l'échelle européenne
4. Des difficultés de commercialisation et de transfert technologique
5. Des freins institutionnels et sociaux au développement de l'IA
6. Un risque de dépendance technologique

Pour donner suite à l'analyse de la filière française, une analyse approfondie de la concurrence permettra de comprendre les facteurs clés de succès de développement de l'IA dans le secteur de l'énergie afin de les appliquer à la filière française.

2.3. Concurrents et stratégies collectives internationales

L'analyse des concurrents de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie permet de mettre en perspective la place de la France dans le monde et de mieux comprendre les stratégies à mettre en œuvre dans le cadre de cette concurrence internationale.

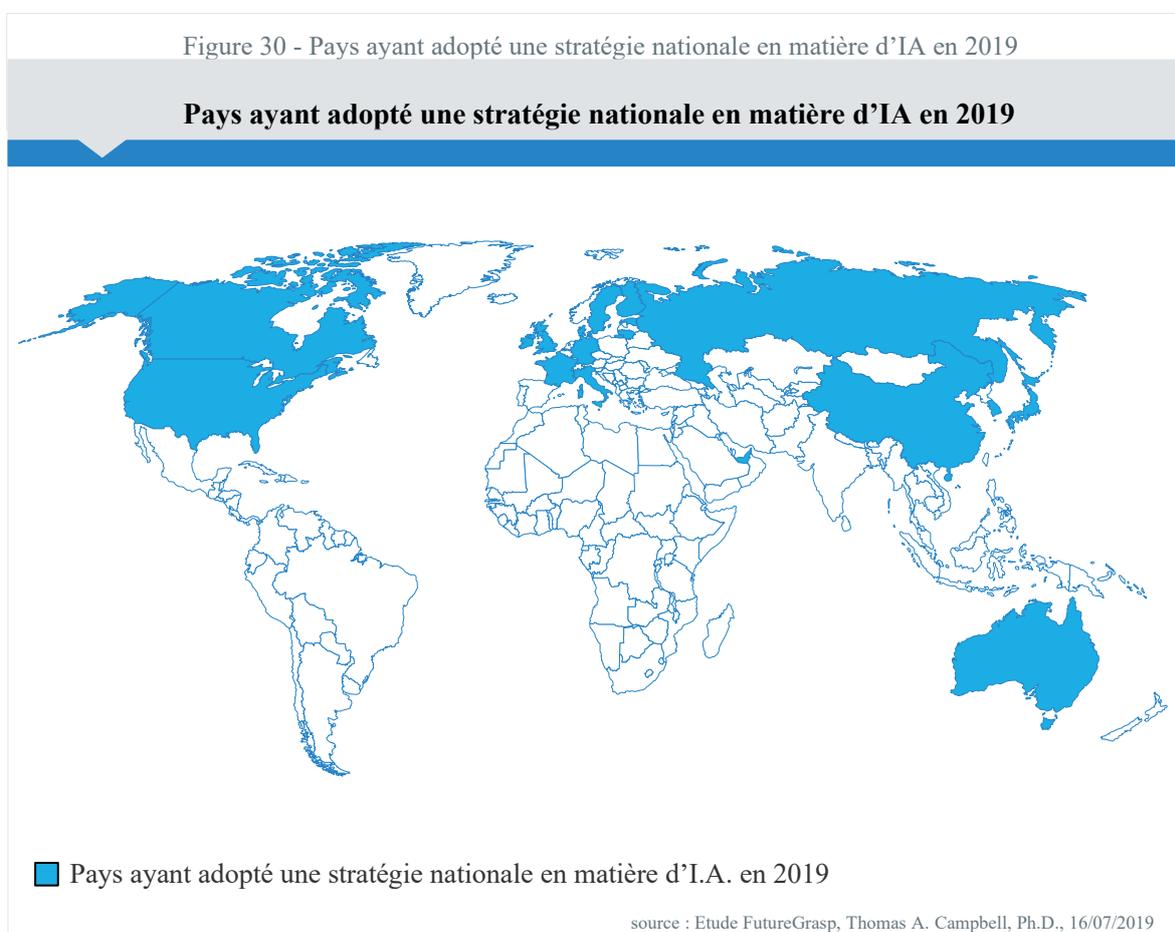
2.3.1. Concurrents internationaux et stratégies collectives

L'analyse des leaders mondiaux permet d'avoir une vision globale des principaux concurrents de la filière française et de leur positionnement. Ces concurrents peuvent être analysés à plusieurs échelles : à l'échelle nationale, à l'échelle des entreprises et à l'échelle des stratégies collectives, qui sont les concurrents directs de la filière française sur les appels d'offre.

2.3.1.1. Les stratégies nationales et efforts de recherche comme soutien à la course en IA

Stratégies nationales pour l'IA

De nombreux pays ont décidé de faire de l'IA une priorité stratégique. Cela se manifeste par des plans nationaux, des investissements stratégiques, desancements de projets ou de plans de formation. En 2019, 41 pays avaient publié des documents relatifs à l'utilisation de l'IA et 19 pays avaient déjà adopté une stratégie nationale en matière d'IA (Figure 30).



Parmi les 19 pays ayant adopté une stratégie nationale en matière d'IA, nous pouvons relever deux pays notables. Les États-Unis et la Chine, tous deux positionnés comme leaders de l'IA, ont développé des plans d'envergure, appuyés par des stratégies ambitieuses de financement (Figure 31).⁹⁹

Figure 31 - Etats-Unis – Chine : les stratégies des leaders en IA	
Etats-Unis – Chine : les stratégies des leaders en IA	
États-Unis	Chine
<p>Une stratégie fondée sur le financement et l'accompagnement stratégique</p> <p><u>Décret</u> : « l'Initiative américaine d'I.A. » (2019) <u>Financement</u> : 4 Milliards d'euros <u>Structure dédiée</u> : Création du « Conseil expert sur l'I.A. »</p>	<p>Une stratégie fondée sur des investissements financiers colossaux</p> <p><u>Planification</u> : « Plan pour le développement d'une IA de nouvelle génération » (2017) <u>Financement</u> : 11 Milliards d'euros</p>

On peut distinguer trois catégories de pays concernant les projets d'IA appliquée à l'énergie, en dehors des États-Unis et de la Chine :

- Des puissances comme l'Allemagne, le Canada, le Royaume-Uni, le Japon, la Corée du Sud ou encore l'Australie, ont lancé des plans nationaux pour l'Intelligence Artificielle, accompagnés de plans de financement conséquents.
- Des pays développés considèrent l'IA comme stratégique mais dotés de moyens moins conséquents, ont tout de même choisi de lancer des plans nationaux. C'est le cas de Singapour ou du Qatar par exemple, ou encore de pays européens comme le Danemark, la Finlande, la Lituanie, la République Tchèque.
- Des acteurs majeurs de la scène internationale comme le Brésil, la Russie, Israël ou le Mexique, s'intéressent également de très près à l'IA mais n'ont pas encore lancé de plans nationaux.

Ces trois catégories de pays représentent également des concurrents potentiels pour la France.¹⁰⁰

Par exemple, la Russie, particulièrement intéressée par l'IA notamment pour la défense, a décrété par l'oukaze du 10 octobre 2019 la « Stratégie nationale du développement de l'Intelligence Artificielle pour la période s'étendant jusqu'à 2030 ». L'objectif de cette stratégie est de développer une technologie d'IA applicable au militaire, notamment dans le contexte global de robotisation du champ de bataille. Cet objectif complète la déclaration de 2018 du chef d'état-major des forces russes, indiquant que la Russie s'engageait vers la robotisation de 33 % de ses matériels et de ses systèmes d'armes.¹⁰¹

L'exemple d'Israël montre également combien ces pays représentent de véritables concurrents dans la course à l'IA. Israël est en effet très actif sur l'innovation en IA : cela se reflète par le nombre élevé de publications scientifiques sur l'Intelligence Artificielle, qui s'élève à environ 300 par an, ainsi que par le nombre impressionnant de startups spécialisées en IA : avec ses 362 startups, Israël se positionnait en 2018 derrière les deux leaders en IA que sont les États-Unis et la Chine.¹⁰² Le Centre technologique

⁹⁹ Gendarmerie nationale. (2019, juillet). Intelligence artificielle : état des lieux des initiatives étatiques. *Gendarmerie*. Consulté à l'adresse <https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr>

¹⁰⁰ Direction générale du Trésor. (2019, 21 juin). Le secteur cleantech en Israël. Consulté à l'adresse <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2019/06/21/le-secteur-cleantech-en-israel>

¹⁰¹ Berthier, T. (2019, novembre 26). La stratégie russe de développement de l'intelligence artificielle. *The Conversation*. Consulté à l'adresse <https://theconversation.com>

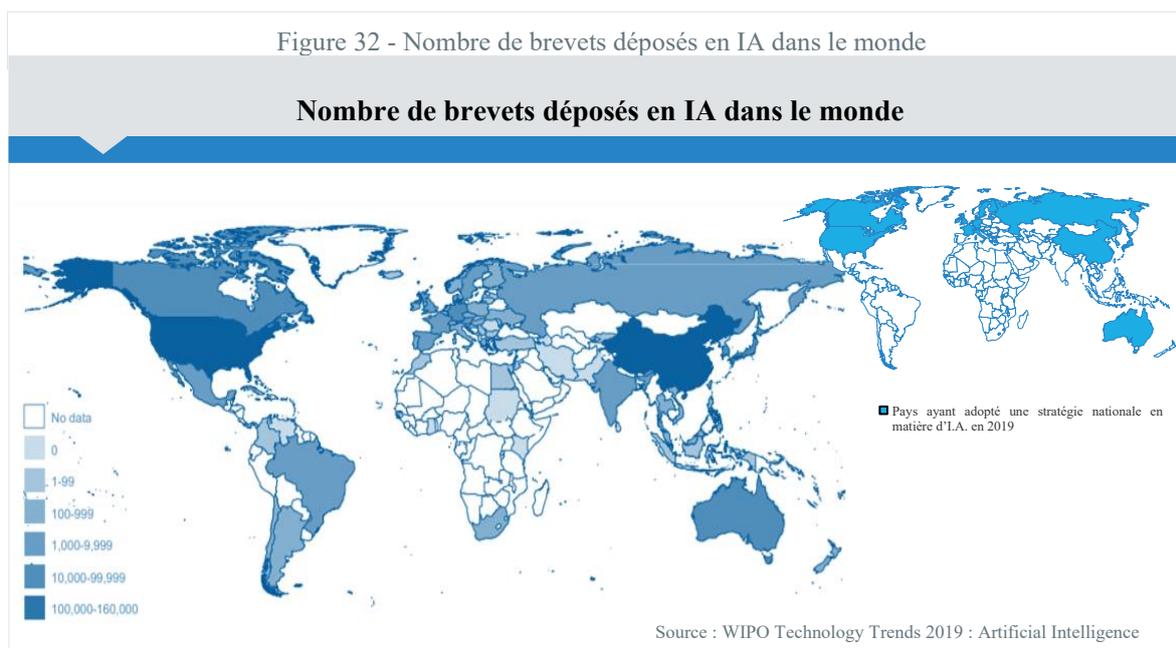
¹⁰² Roland Berger. (2018, 17 mai). AI startup as innovation drivers. Consulté à l'adresse <https://www.rolandberger.com/fr/Publications/AI-startup-as-innovation-drivers.html>

d'énergies renouvelables du Néguev soutient notamment des projets dans des domaines technologiques clés tels que les réseaux intelligents.

Tous ces pays et leurs acteurs nationaux représentent ainsi autant de concurrents pour la filière française de l'IA appliquée à l'énergie.

Efforts de recherche et innovation

La priorité stratégique donnée à l'IA est également visible par le montant d'investissement dans la recherche et la quantité de brevets déposés. L'étude « WIPO Technology Trends 2019 : Artificial Intelligence »¹⁰³ suit le développement des technologies d'intelligence artificielle grâce à l'analyse des données sur les activités d'innovation. La superposition de la carte faisant état des pays dotés d'un plan national consacré à l'IA (Figure 30) avec la carte du nombre de brevets déposés (Figure 32) reflète très bien la corrélation entre la stratégie nationale et l'effort de recherche.



Les pays leaders de l'IA appliquée à l'énergie sont sans grande surprise les mêmes qu'en IA de manière générale. En effet, dans la catégorie gestion de l'énergie, les 5 pays leaders en brevets déposés en IA sont la Chine en tête, puis les États-Unis, le Japon, l'Allemagne, et la Corée du Sud.

La filière française de l'IA appliquée à l'énergie s'inscrit donc dans un environnement fortement concurrentiel à l'échelle internationale, d'autant plus que de nombreux pays, voyant l'IA comme un enjeu stratégique, augmentent leurs financements et mettent en place des plans stratégiques pour en accélérer le développement.

2.3.1.2. Les leaders nationaux comme vecteur de compétitivité

D'après l'étude « *WIPO Technology Trends 2019 : Artificial Intelligence* », on retrouve ce classement des pays à l'échelle des entreprises et universités, où le classement est assez similaire par nationalité.

En effet, les deux premières entreprises en termes de nombre de brevets IA déposés sont des entreprises américaines, soit IBM (avec plus de 8 000 brevets déposés en IA), puis Microsoft (avec plus de 5900 brevets déposés en IA).

¹⁰³ WIPO (ONU). (2019). *WIPO Technology Trends 2019: Artificial Intelligence*. Consulté à l'adresse https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055.pdf

Du point de vue des institutions, 17 des 20 meilleures institutions académiques impliquées dans le brevetage de technologies liées à l'IA sont chinoises. La Chine se positionne plus solidement sur le *deep learning*, qui est une technologie d'IA assez complexe.

Le Japon s'impose également à cette échelle, avec 12 entreprises japonaises parmi les 20 entreprises ayant breveté le plus de technologies liées à l'IA. On retrouve notamment Toshiba, NEC et Fujitsu, respectivement en 3^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} position.

En particulier dans le domaine de l'énergie, la première entreprise du classement, à la 25^{ème} position, est la State Grid Corporation of China (SGCC), avec 646 brevets dans la gestion de l'énergie. Ce leader est le gestionnaire de réseau, transporteur et distributeur d'électricité chinois. Le japonais Toyota prend la deuxième place loin derrière la SGCC avec 173 brevets déposés en gestion de l'énergie. Puis viennent les allemands Siemens et Bosch, et le japonais Toshiba.

L'étude de cas de la State Grid Corporation of China (SGCC) permet de comprendre comment les leaders nationaux hissés au rang de leaders internationaux participent à la concurrence de la filière française à l'international.

L'exemple de la State Grid Corporation of China (SGCC)

La State Grid Corporation of China (SGCC) est née en 2002 de la réforme séparant les activités de production et de distribution d'électricité. Il s'agit d'un monopole d'État classé 7^{ème} mondial en termes de chiffre d'affaires.

Développement des réseaux intelligents par la planification

Dès 2011, la SGCC participe grandement au plan national de réseaux intelligents par un investissement de 100 milliards de dollars dans les réseaux intelligents. L'objectif est d'installer 300 millions de compteurs communicants d'ici 2015 contre 36 millions en 2011. Elle a entamé en 2016 la troisième phase de la planification, nommée « Phase de leadership » avec trois objectifs : finaliser l'installation d'un réseau intelligent et fiable en Chine, devenir le leader mondial de la gestion, de la technologie et de l'équipement, et construire des lignes très haute tension, suffisantes pour relier les sources d'énergies renouvelables au réseau.

Développement à l'international

Le développement de la State Grid Corporation of China s'appuie sur de très nombreux investissements de participation ou acquisition à l'international. A l'international, la SGCC est donc un concurrent majeur de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie, que ce soit sur des marchés internationaux lointains ou sur des marchés géographiquement proches de la France.

Sur les marchés internationaux lointains d'une part, la Chine peut offrir son savoir-faire à des pays disposant de réseaux semblables aux siens. Par sa taille, le Brésil présente les mêmes problématiques d'intégration des énergies renouvelables et d'acheminement de l'électricité sur des réseaux haute tension que la Chine, ce qui permet à la SGCC de vendre son savoir-faire au Brésil et de devenir un leader sur ce service. En 2017, la SGCC a également acquis 54,64 % du capital de CPFL Energia, un leader du secteur énergétique au Brésil, afin de renforcer ses positions au Brésil sur la production d'énergie verte ainsi que sur la gestion des réseaux de transport et de distribution d'électricité brésiliens. Cela s'ajoute aux 10 000 kilomètres de lignes électriques déjà contrôlées par la SGCC au Brésil.¹⁰⁴

¹⁰⁴ BearingPoint. (2020, 9 mars). La chine en voie de maîtriser le réseau électrique mondial ? Consulté à l'adresse <https://www.bearingpoint.com/fr-fr/blogs/energie/la-chine-en-voie-de-maitriser-le-reseau-electrique-mondial/>

Sur les marchés internationaux où la France est historiquement présente, la SGCC s'implante également rapidement. En particulier, les investissements de la SGCC sont très nombreux en Afrique. Selon BearingPoint¹⁰⁵, en 2020, la SGCC a 39 projets d'infrastructures énergétiques annoncés en Afrique, et a pris contrôle d'un projet de 2,8 milliards de dollars pour la construction d'un immense réseau électrique interconnecté pour les pays du sud de l'Afrique.

Sur les marchés européens, la SGCC prend des participations significatives dans des acteurs du réseau de pays méditerranéens comme le Portugal, l'Italie, et la Grèce. La crise économique et les besoins en liquidités de ces pays ont constitué une grande opportunité pour la SGCC : en Grèce par exemple, la SGCC a acquis 24% des parts de l'ADMIE, opérateur de réseaux grec.¹⁰⁶

La SGCC a également tenté une prise de participation au sein d'une entreprise de réseau allemande gérant 10 000 km de réseau électrique dans le nord et l'est de l'Allemagne, soit l'équivalent de l'approvisionnement de 18 millions de personnes. Le gouvernement allemand a posé son veto, empêchant pour la deuxième fois une prise de participation de la SGCC dans un groupe allemand de réseau électrique.

2.3.1.3. Les atouts et écosystèmes des trois leaders du secteur de l'IA en énergie

Afin d'étudier les atouts, écosystèmes et stratégies du secteur de l'IA en énergie, il convient d'étudier les modèles des leaders que sont la Chine, les États-Unis et l'Union Européenne. La comparaison de ces trois géants tire sa pertinence de la similarité de leurs échelles géographiques et de leurs ressources disponibles.

Si ces modèles ne semblent pas directement applicables à la France, dû aux différences colossales de ressources disponibles, ils donnent cependant une idée des principaux concurrents de la filière française et de leurs atouts et stratégies.

Trois leaders aux profils très différents

Les États-Unis, acteur historiquement présent sur l'Intelligence Artificielle

Les États-Unis ont commencé les recherches en IA dès les années 1950. Aujourd'hui, le pays conserve son avantage par les investissements massifs de grandes entreprises privées dans la recherche et le développement. Ces acteurs tels que Google, avec DeepMind, ou Microsoft, viennent en appui à l'industrie de l'énergie et offrent au pays un véritable avantage concurrentiel.

La Chine, acteur plus récent à très forte croissance en IA appliquée à l'énergie

La Chine a fait le choix de se fermer aux géants américains du digital pour développer des compétences d'IA en interne et de conserver un monopole d'État sur le secteur de l'énergie. Grâce à une stratégie basée sur un champion national et de forts investissements en innovation, en 2017, la Chine est devenue le premier investisseur mondial dans les startups travaillant dans l'Intelligence Artificielle. Cette stratégie a permis à la Chine une forte croissance et un modèle qui s'exporte très largement sur les marchés internationaux.

L'Union Européenne, une puissance industrielle de l'énergie tentant un rattrapage en IA

L'Union Européenne bénéficie d'acteurs majeurs dans l'énergie, mais peine à développer des acteurs de l'IA. En effet, une coopération a été lancée en 2018 entre les 24 membres de l'Union Européenne et la Norvège, pour développer ensemble l'IA.

¹⁰⁵ BearingPoint. (2020, 9 mars). La chine en voie de maîtriser le réseau électrique mondial ? Consulté à l'adresse <https://www.bearingpoint.com/fr-fr/blogs/energie/la-chine-en-voie-de-maitriser-le-reseau-electrique-mondial/>

¹⁰⁶ Capital.fr. (2014, 11 août). Le chinois State Grid tisse sa toile autour de la Méditerranée. *Capital.fr*. Consulté à l'adresse <https://www.capital.fr>

Si les trois leaders ont un historique et des profils très différents, ils ont cependant en commun d'être dotés d'écosystèmes d'acteurs puissants, d'avoir mis en œuvre des stratégies nationales d'envergure, et de développer les ressources nécessaires au développement de l'IA pour l'énergie.

Des écosystèmes d'acteurs puissants

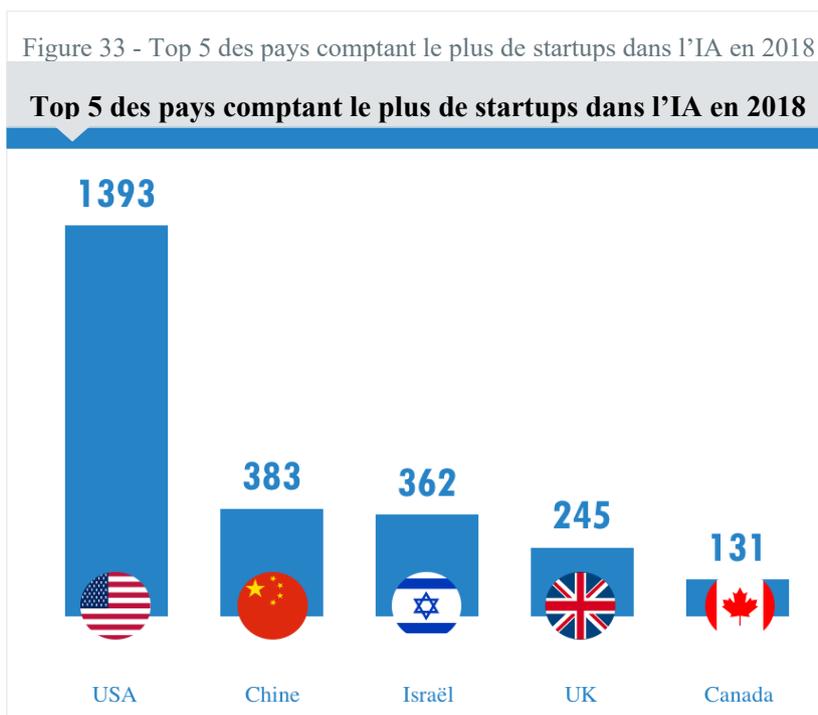
Les écosystèmes d'acteurs, bien que très différents entre les trois zones, sont des atouts majeurs pour développer un avantage concurrentiel sur le marché de l'IA appliquée à l'énergie. Les pays qui s'inscrivent dans la course à l'IA ont bien compris l'enjeu de ces écosystèmes. A titre d'exemple, la Russie, dans l'oukaze du 10 octobre 2019, rappelle qu'une absence de coordination et d'implication des différents acteurs nationaux serait préjudiciable pour la place mondiale de la Russie dans ce secteur stratégique de l'IA.

Des leaders nationaux

Les leaders nationaux comme la SGCC pour la Chine et Microsoft pour les États-Unis jouent un rôle majeur dans l'exportation de la filière nationale. Dans ce cadre, la Chine possède de nombreux atouts : elle possède 14 sociétés spécialisées dans l'IA, dont le total est valorisé à plus d'un milliard de dollars.

Des startups spécialisées

Des écosystèmes forts de startups accélèrent la recherche et la mise sur le marché de l'IA en énergie. Par exemple, les États-Unis, qui est le pays qui compte à ce jour le plus de startups en Intelligence Artificielle (Figure 33)¹⁰⁷, ont développé un réseau de startups en IA très diversifié qui diffusent leurs savoir-faire dans l'ensemble des secteurs, y compris celui de l'énergie. Ces startups sont notamment présentes sur le segment des voitures autonomes, de la fabrication industrielle, de l'automatisation des processus robotiques, de l'analyse des données et de la cybersécurité, qui sont autant de cas d'usages applicables à l'énergie.¹⁰⁸



¹⁰⁷ Roland Berger. (2018, 17 mai). AI startup as innovation drivers. Consulté à l'adresse <https://www.rolandberger.com/fr/Publications/AI-startup-as-innovation-drivers.html>

¹⁰⁸ Nhede, N. (2020, février 12). The US reclaims top position in global AI investment, halts advancement in China. *Smart Energy International*. Consulté à l'adresse <https://www.smart-energy.com>

Des stratégies collectives ambitieuses

Les trois pays leaders mettent en œuvre des stratégies collectives entre acteurs intra territoriaux mais aussi en partenariat avec d'autres pays. Par exemple, comme précédemment évoqué, une coopération a été lancée en 2018 entre les 24 membres de l'Union Européenne et la Norvège pour développer ensemble l'IA. Cette promesse a été actée par la signature d'une déclaration commune, suivie par l'élaboration d'une stratégie de développement qui comprend un plan d'investissement de 20 milliards d'euros jusqu'en 2020, le partage de données entre les différents États et l'élaboration de règles éthiques.

Les États de l'Union Européenne possèdent également des structures d'innovation conçues en stratégies collectives dans le but de mettre en relation les acteurs de l'IA appliquée à l'énergie, à l'image de Tenerrdis en France. Or, ces structures nationales échangent de plus en plus à l'échelle européenne pour se compléter et faire collaborer les différents acteurs au sein de l'UE.

Une propension à collaborer avec d'autres acteurs pour se développer

Dès 2011, RTE et la State Grid Corporation of China (SGCC) ont signé un accord renforçant une première coopération datant de 2001. Ce nouvel accord porte à la fois sur la stratégie d'entreprise et la gestion des réseaux en termes d'exploitation, de sécurité et de maintenance. A travers toutes ces dimensions, les enjeux d'intégration des énergies renouvelables dans le réseau de transport d'électricité et le développement des smart grids sont mis à l'honneur dans le cadre de ce nouvel accord. Pour RTE, il s'agit de se rapprocher du géant de réseau de transport d'électricité, complétant l'accord déjà signé en mars 2010 avec China Southern Grid, le gestionnaire de réseau de transport de la Chine du Sud.

Des stratégies nationales d'envergure

Des stratégies d'envergure planifiées sur le long terme

La Chine lance de nombreux plans d'envergure en faveur de l'IA, notamment un « *Plan pour le développement d'une IA de nouvelle génération* », ainsi qu'un « *Plan d'action triennal pour promouvoir le développement d'une industrie de l'I.A. de nouvelle génération* ». Ces plans ont pour objectif clair de devenir le leader de l'IA. Sur le marché de l'énergie, la Chine a également lancé des plans à l'échelle des grands groupes pour leur permettre de devenir leaders dans leurs filières, à l'image de la SGCC dans les smart grids.¹⁰⁹

L'Union Européenne, actuellement en cours de définition d'une stratégie commune, a quant à elle publié son livre blanc intitulé « *Intelligence Artificielle : une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance* » en février 2020. Cette approche repose sur deux piliers pour développer l'IA : favoriser l'innovation et développer la confiance des citoyens et des entreprises dans cette technologie.¹¹⁰

Des plans de financement massifs

Ces stratégies s'accompagnent de forts plans d'investissement, le plus ambitieux étant celui de la Chine. Dans le cadre de son « *Plan de développement de l'intelligence artificielle de nouvelle génération* », onze gouvernements locaux ont publié leurs objectifs qui se chiffrent à près de 50 milliards d'euro d'ici 2020, soit plus que les objectifs nationaux. Pékin prévoit d'investir 2 milliards de dollars dans un parc de développement d'IA qui hébergera 400 entreprises et un laboratoire national. Des investissements à

¹⁰⁹ Swedish Smart Grid, & WSP. (2019, mars). *Smart Grid Market Analysis : China*. Consulté à l'adresse http://swedishsmartgrid.se/globalassets/publikationer/china_marketanalysis21mars.pdf

¹¹⁰ Commission Européenne. (2020, février). *Intelligence Artificielle : Une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance*. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_fr.pdf

hauteur de 150 milliards de yuans (19,15 milliards d'euros) sont prévus jusqu'en 2020 à destination des universités, incubateurs et startups.¹¹¹

La Commission Européenne a quant à elle pour objectif de lever un budget annuel commun de 20 milliards d'euros dédiés à l'IA en s'appuyant sur des financements étatiques, mais aussi privés. Un autre projet à l'étude au sein de l'UE est la création d'un fonds de soutien à l'innovation, à hauteur de 100 millions d'euros.

Des structures de coordination formalisées

Afin de coordonner les acteurs et les stratégies, ces leaders créent souvent en parallèle des structures de coordination et de collaboration. Les États-Unis ont par exemple fondé un comité restreint sur l'IA dans le cadre du Conseil national des sciences et de la technologie. Ce comité est composé de plus grands experts en IA, et a pour objectif de planifier et coordonner la R&D en IA. Ses missions sont notamment de favoriser les partenariats américains entre l'industrie et la recherche, créer des structures de coordination de la R&D en IA, analyser les priorités et opportunités en IA afin de dynamiser l'écosystème national de R&D sur l'IA. Ce comité s'appuie notamment sur le sous-comité de l'apprentissage automatique et de l'IA, qui se charge de l'implémentation des plans et missions plus opérationnelles.¹¹²

Des barrières à l'entrée pour protéger et développer les acteurs locaux

Les barrières à l'entrée du marché sont également pour ces leaders des atouts pour favoriser le développement de leurs leaders nationaux. Ces barrières permettent de réserver le marché local aux acteurs locaux, tout en favorisant leur exportation. Il peut s'agir de barrières normatives ou d'une fermeture stricte du marché national aux entreprises étrangères.

L'UE a choisi de se distinguer de ses concurrents et d'ériger des barrières normatives à l'entrée du marché européen pour les technologies d'IA par un positionnement fondé sur le « bien-être sociétal et environnemental ». La Commission Européenne a donc développé quatre principes fondamentaux pour une IA dite « éthique » : l'IA doit respecter l'autonomie humaine, éviter les dommages sociaux, être juste et explicable.¹¹³ Cette stratégie de régulation et de normes permet sur le long terme de créer une barrière à l'entrée du territoire européen pour des IA chinoises ou américaines qui seraient considérées comme moins éthiques.

La Chine de son côté, favorise une barrière à l'entrée encore plus stricte puisqu'elle interdit l'accès à son marché de l'énergie aux acteurs internationaux et privilégie un monopole d'État. Cela a permis à la Chine de développer des leaders nationaux par une acquisition d'expertise sur le territoire chinois. Ces géants nationaux sont devenus, à force de planifications intensives, les leaders mondiaux dans leur domaine, à l'image de la SGCC.

Des ressources nécessaires au développement de l'IA en énergie

Données et infrastructures

L'accès aux données est un enjeu majeur afin de développer l'IA et lui fournir assez d'informations pour fonctionner de manière optimale. Pour atteindre une masse critique de données, l'une des options est de faire travailler les entreprises nationales en open source. Aux États-Unis par exemple, de nombreuses entreprises partagent leurs innovations en matière d'IA, qui sont largement soutenues par

¹¹¹ IGPDE (Institut de la gestion publique et du développement économique). (2018, octobre). Chine : l'intelligence artificielle au cœur de l'État. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/igpde-editions-publications/revuesGestionPublique/IGPDE_Reactive_Chine_octobre_2018.pdf

¹¹² White House. (s. d.). Artificial Intelligence for the American People. Consulté à l'adresse <https://www.whitehouse.gov/ai/ai-american-innovation/>

¹¹³ Commission Européenne. (2020, février). *Intelligence Artificielle : Une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance*. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_fr.pdf

le passage en open source des données de Facebook, Google, ou Amazon. Aux États-Unis, il y a donc une logique d'entraînement et de développement commun des compétences.

Au sein de l'Union Européenne, ce partage de données se situe plutôt au niveau des instances étatiques qu'à l'échelle de l'entreprise. À l'échelle de l'Union, le partage des données a été identifié comme un enjeu majeur, et la Commission Européenne a proposé la création d'un "espace européen des données et un marché unique des données". L'objectif serait d'autoriser la libre circulation des données au sein de l'Union, sur un modèle de libre circulation des marchandises. Cela concernerait à la fois les entreprises, mais aussi les sociétés privées et organismes publics.¹¹⁴ A titre d'exemple, la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), en France, ouvre progressivement ses données, permettant aux énergéticiens le développement de technologies comme l'IA.

Si l'accès aux données est une ressource clé pour développer l'IA, il s'agit également de mettre en place les infrastructures nécessaires au traitement de ces données et au développement de l'IA. Il s'agit à la fois des infrastructures physiques comme des laboratoires équipés pour accueillir la recherche, mais aussi des infrastructures de type cloud, permettant d'héberger un large nombre de données. Aujourd'hui, les cinq géants américains et chinois Amazon, Microsoft, Alibaba, Google et IBM se partagent à eux seuls 77% des parts de marché mondial¹¹⁵. Du côté de l'UE, le projet à l'étude est la constitution d'une enveloppe de 4 à 6 milliards d'euros à partir de 2022, financée par des acteurs publics et privés, qui permettrait de mettre en place des infrastructures de données comme du cloud. Cette enveloppe, loin d'être suffisante pour financer la création de telles infrastructures, permettrait principalement de fédérer les différentes initiatives nationales, telles que le cloud allemand Gaia-X.

Formation et attraction des talents

La formation est également une ressource clé pour le développement de l'Intelligence Artificielle. La Chine est également bien en avance dans ce domaine. Comme vu précédemment, 17 des 20 meilleures institutions académiques impliquées dans le brevetage de technologies liées à l'IA sont chinoises. Mais la Chine profite également des formations offertes à l'international. En effet, si les États-Unis permettent chaque année à un million d'étudiants chinois d'étudier sur son territoire, plus de 80% de ces étudiants retournent en Chine par la suite. La Chine bénéficie donc d'un large vivier de chercheurs très bien formés.

Au-delà de la formation, il s'agit donc d'avoir une politique d'attraction des talents suffisamment forte pour retenir les cerveaux formés sur le territoire et attirer les cerveaux étrangers. Si les États-Unis ont su développer une forte attractivité des talents, principalement vers des pôles tels que la Silicon Valley, l'Union Européenne peine à retenir ses cerveaux. À titre d'exemple, le chercheur français Yann LeCun, considéré comme l'un des pères fondateurs du *deep learning*, travaille pour Facebook depuis 2013.

Cette analyse nous a permis de vérifier que malgré la forte position concurrentielle de la filière française de l'IA pour l'énergie à l'international, la concurrence s'intensifie à l'échelle des pays ainsi qu'à l'échelle des acteurs. Ces acteurs ont des profils diversifiés et des moyens différents, mais représentent une menace pour la place de la filière française. Cette diversité de profils, alliée à l'analyse de la Chine, des États-Unis et de l'Union européenne nous aident également à mieux comprendre les atouts nécessaires à la compétitivité d'une filière, et nous fournit une source d'inspiration pour développer un modèle collectif pour la filière française.

Il faudra tout de même garder à l'esprit la démesure entre la France et ses ressources et capacités d'investissement, celles de pays comme les États-Unis ou la Chine. Ainsi, si cette étude nous a permis de déterminer des facteurs clés de succès, l'étude qui suit permettra de déterminer des modèles nous permettant d'y parvenir.

¹¹⁴ La Tribune. (2020, 20 février). Données et intelligence artificielle : comment l'Europe veut rattraper son retard. *La Tribune*. Consulté à l'adresse <https://www.latribune.fr>

¹¹⁵ Gartner. (2019b, juillet 29). Gartner Says Worldwide IaaS Public Cloud Services Market Grew 31.3% in. *Gartner*. Consulté à l'adresse <https://www.gartner.com>

2.3.2. Analyse stratégique de trois leaders

Aujourd'hui, la Chine et les États-Unis sont les leaders incontestables de l'Intelligence Artificielle. Si leurs stratégies donnent un modèle pour les autres pays, elles demeurent impossibles à reproduire étant donné les différences de capacités d'investissements et d'écosystèmes inhérentes aux différents pays qui souhaitent s'inscrire dans la course à l'IA, à l'image de la France. Cependant, de nombreux modèles voient le jour et donnent des exemples de stratégies voire de réussites selon les différences de ressources et de politiques énergétiques. L'Allemagne, le Japon et le Royaume-Uni, par leurs tailles et leurs ressemblances relatives avec la France sous divers aspects, semblent des modèles pertinents à titre de comparaison avec le modèle français, et certains axes stratégiques de ces pays peuvent donner à (re)penser la stratégie française.

2.3.2.1. L'Allemagne, un leader mondial des énergies renouvelables

L'Allemagne est souvent prise pour référence pour établir des comparaisons avec la France, et ce à juste titre. En effet, l'histoire, la géographie et l'économie françaises présentent de nombreuses similarités avec notre voisin européen, ce qui peut permettre de prendre certains axes stratégiques comme modèle de référence pour nos filières.

Politique énergétique

Fin 2010, l'Allemagne a lancé l'Energiewende, un plan majeur pour transformer son système énergétique en un système plus efficace alimenté principalement par des sources d'énergie renouvelables, avec l'éolien en tête. Afin de réaliser cette transformation énergétique d'ici 2030, la moitié de la totalité de l'approvisionnement en électricité devra provenir de sources d'énergies renouvelables.¹¹⁶

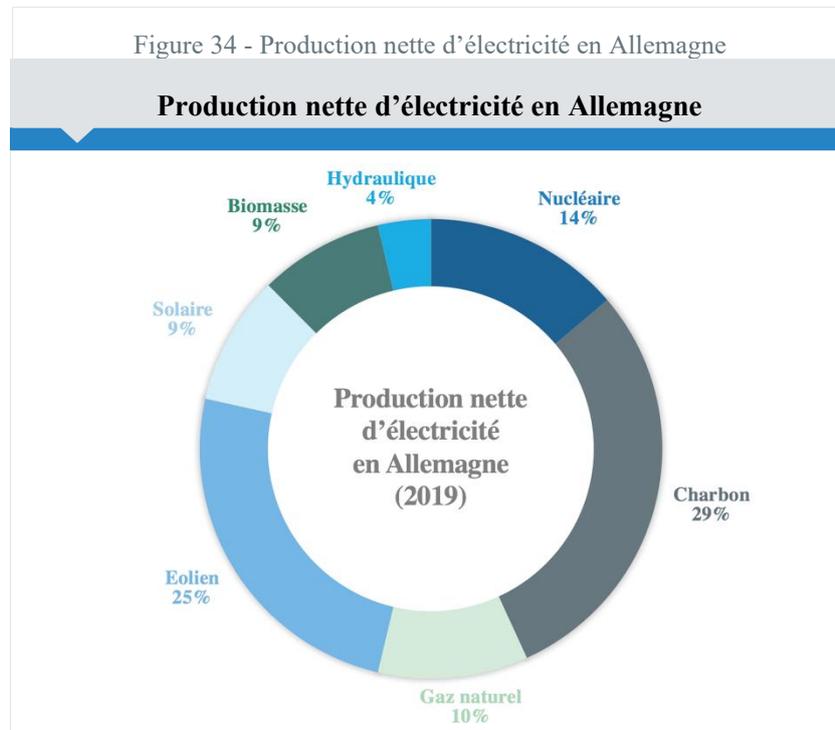
La transition est déjà bien en route : aujourd'hui, rien qu'en Allemagne, plus de 1,7 million de centrales de production décentralisées alimentent en électricité verte l'énergie éolienne, solaire ou le biogaz via de nombreuses « petites routes ». De plus en plus de consommateurs produisent aussi leur propre électricité¹¹⁷ ; tout cela a permis au pays d'atteindre en 2018 plus de 40% d'énergies renouvelables¹¹⁸ (Figure 34).

¹¹⁶ International Energy Agency (IEA). (2020). Germany energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/germany>

¹¹⁷ E.ON. (2020). Artificial Intelligence (AI): Driving the energy transition. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/digitization/artificial-intelligence.html>

¹¹⁸ Connaissance des Énergies. (2019, 7 janvier). Allemagne : un mix électrique « plus renouvelable que charbonneux » en 2018. Consulté à l'adresse <https://www.connaissancedesenergies.org/allemande-un-mix-electrique-plus-renouvelable-que-charbonneux-en-2018-190107>

Figure 34 - Production nette d'électricité en Allemagne



À certaines périodes de la journée, les centrales d'énergie renouvelable produisent plus d'électricité que nécessaire : l'Allemagne a une capacité renouvelable installée de près de 120 Gigawatt tandis que la demande de pointe n'est jamais supérieure à 75 Gigawatt.¹¹⁹ Et inversement, lorsqu'il n'y a ni vent ni soleil, ces centrales ne couvrent qu'une infime partie de de la demande. Pour équilibrer ces fluctuations et optimiser sa transition énergétique, l'Allemagne a donc besoin de solutions IA et de réseaux intelligents pour répondre à ces nouveaux enjeux d'intermittence.

L'IA pour accélérer le potentiel de l'éolien

L'Allemagne est un leader mondial de la production d'énergie éolienne. Des énergéticiens comme E.ON ont investi dans l'Intelligence Artificielle pour optimiser le potentiel de cette énergie renouvelable. À l'aide de l'IA et des méta-prévisions, E.ON est capable de calculer très précisément la quantité de vent dans un parc éolien, que ce soit le lendemain ou dans les heures à venir. Cela leur permet de réagir à l'avance en conséquence, en cas de pénurie comme en cas d'excédent attendu. L'utilisation de l'IA permet également de maximiser le rendement énergétique des parcs éoliens grâce à sa capacité de synchroniser les turbines et à les aligner de manière optimale avec le vent.

Si la production d'énergie éolienne est optimisée grâce à l'IA, la consommation est cependant à la traîne en raison des carences du réseau d'électricité national. Le réseau national allemand ne peut pas exploiter toute l'énergie supplémentaire que les parcs éoliens, comme celui de Basse-Saxe, peuvent produire. C'est pourquoi l'industrie éolienne allemande travaille avec des développeurs d'intelligence artificielle pour aider le réseau national du pays à optimiser la livraison de la ressource et à surmonter les limites du réseau actuel qui ne lui permettent pas de faire face à l'excédent d'électricité. Des scientifiques de l'Institut de technologie de Karlsruhe ont créé un programme d'IA appelé PrognNetz pour optimiser le réseau national. Ce programme, conçu comme une collaboration entre des partenaires industriels et universitaires, utilise des algorithmes d'apprentissage supervisé pour donner aux opérateurs la possibilité de prendre des décisions plus éclairées sur la quantité d'électricité qu'ils peuvent produire en toute sécurité.¹²⁰

¹¹⁹ EURACTIV. (2019). How Internet of Things and Artificial Intelligence pave the way to climate neutrality. Consulté à l'adresse <https://www.euractiv.com/section/digital/opinion/how-internet-of-things-and-artificial-intelligence-pave-the-way-to-climate-neutrality/>

¹²⁰ NS Energy Business. (2019). Germany wind power industry: AI to help deliver its full potential. Consulté à l'adresse <https://www.nsenerybusiness.com/news/ai-german-wind-power-research/>

Zoom sur un acteur majeur : E.ON et l'IA

E.ON est un acteur majeur de l'énergie en Allemagne et compte parmi les plus gros énergéticiens mondiaux. Le groupe, en tant que « pionnier du numérique dans le secteur de l'énergie »¹²¹, utilise l'Intelligence Artificielle pour maximiser le rendement énergétique des parcs éoliens, pour la maintenance prédictive afin d'assurer la sécurité d'approvisionnement de leurs clients, et pour maximiser la satisfaction clients via l'amélioration des services rendus (aperçus de consommation, meilleure gestion des cas par les centres d'appels...). Pour les dirigeants de E.ON, l'Intelligence Artificielle est incontournable dans le secteur de l'énergie, et la développer nécessite de passer par des alliances avec le monde du digital et le monde de la recherche.

Le partenariat de maison intelligente avec Microsoft

Dr Karsten Wildberger, chef de l'exploitation chez E.ON SE explique la nécessité de former des alliances avec le monde du digital : « Pour E.ON, la digitalisation et l'IA mènent à considérer comment nous pouvons combiner le monde physique avec le monde digital. Nous ne sommes pas un pure player du digital - il s'agit donc vraiment de faire la synthèse de ces deux mondes. » [...] « Ne pas adopter l'IA n'est pas une option. Ne pas participer ou participer sans enthousiasme signifie une stagnation, un retour en arrière et finalement la fermeture des affaires. »

Le partenariat avec Microsoft est une illustration de cet état d'esprit. En effet, E.ON s'est associé avec le géant du numérique américain pour offrir un service de *smart home*. Ce service, qui améliore le confort de vie et optimise les dépenses des clients d'E.ON, est permis par une plateforme de Microsoft qui combine l'Internet des objets, le *cloud* et une Intelligence Artificielle. Cette dernière est capable de prendre des décisions, comme par exemple injecter de manière autonome et au bon moment le surplus d'énergie des batteries de voitures ou de panneaux solaires dans le réseau. Ce partenariat permet ainsi à E.ON de mieux gérer son offre d'énergie et d'offrir un service premium à ses clients et ainsi se différencier de ses concurrents.

Sabine Bendiek, directrice de Microsoft en l'Allemagne, dans une interview du quotidien allemand Handelsblatt, a souligné que Microsoft n'essayait pas de concurrencer les énergéticiens, étant donné que la plateforme pouvait être utilisée dans de nombreux secteurs « Nous nous considérons comme un partenaire pour l'industrie, et non comme un concurrent » a-t-elle expliqué.¹²²

Les partenariats avec les startups et l'accélérateur « :agile » E.ON

L'accélérateur de startups de E.ON « :agile » propose aux startups énergétiques un programme d'accélération de trois mois, comprenant le financement et la formation. L'objectif d'E.ON est double : l'accélérateur permet non seulement d'investir dans des technologies stratégiques et des nouveaux modèles économiques, et ainsi de rester à la pointe des nouvelles tendances énergétiques, mais il permet également de construire des partenariats de long terme avec ces startups et de mener avec elles des projets de démonstrateurs communs après leur accélération.¹²³

Le centre de recherche énergétique E.ON

E.ON travaille également avec des universités et des centres de recherche à travers le monde. En particulier, E.ON a formé un partenariat avec l'Université technique RWTH d'Aix-la-Chapelle, qui ont mis en place le E.ON ERC (Centre de recherche sur l'énergie), dont l'objectif est d'identifier et de développer en commun de nouvelles solutions énergétiques comme des solutions d'économie d'énergie, d'efficacité énergétique et d'approvisionnement en énergies renouvelables.¹²⁴

¹²¹ E.ON. (s. d.). Digitization & Digital Pioneers - E.ON SE. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/digitization.html>

¹²² Handelsblatt. (2018, 29 novembre). IoT control. Consulté à l'adresse <https://www.handelsblatt.com/today/companies/iot-control-e-on-partners-with-microsoft-to-offer-smart-home-service/23583434.html?ticket=ST-3023419-sc93cB5obi1FDLpNJ5bJ-ap3>

¹²³ E.ON. (s. d.-a). Cooperation with startups - E.ON SE. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/innovation/startups.html>

¹²⁴ E.ON. (s. d.-c). Energy Research Center - E.ON SE. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/innovation/energy-research.html>

Le code de conduite Oxford-Munich

Pour E.ON, si l'intelligence artificielle est un moteur de la transition énergétique, il est essentiel de l'encadrer afin qu'elle respecte les standards d'éthique auxquels l'entreprise croit. En témoigne Dr. Juan Bernabé-Moreno, directeur des données E.ON SE : « *Nous intégrons l'IA partout chez E.ON pour accélérer la transition énergétique. Pour nous, il est impératif d'adopter des pratiques d'IA responsables, c'est pourquoi nous avons décidé de prendre l'initiative avec l'Université d'Oxford de créer un code de conduite pour les professionnels des données dans l'industrie et le monde universitaire.* ».¹²⁵ Le code de conduite, qui fixe des règles au-delà du RGPD, permet notamment d'encadrer le travail des professionnels de la donnée et de réduire le risque inhérent à l'utilisation des données. Tout cela contribue également à améliorer la confiance des consommateurs et donc à l'image de marque et à la réputation des entreprises signataires.¹²⁶

Les initiatives d'État pour consolider les connaissances en IA

Des énergéticiens attentifs à l'IA mais majoritairement peu informés

Une enquête de l'Agence allemande de l'énergie (dena) menée début 2019 auprès de 250 dirigeants d'entreprises énergétiques d'Allemagne sur l'utilisation de l'IA montre, à l'image d'E.ON, qu'une nette majorité des énergéticiens allemands voient les effets positifs de l'intelligence artificielle pour la transition énergétique. Aujourd'hui, seule une entreprise sur huit environ dans le secteur de l'énergie (13%) a actuellement une stratégie d'utilisation de l'IA. Cependant, un bon tiers (35%) des entreprises souhaitent utiliser l'IA au cours des cinq prochaines années.

Cependant, l'étude montre également que la majorité des entreprises commencent à peine à utiliser l'IA en raison d'un manque de connaissances spécialisées. En effet, selon les décideurs interrogés, le principal obstacle à la propagation de l'IA est, avant tout, un manque de connaissances sur la technologie de l'IA dans les entreprises. La protection des données (80%), la sécurité des données (72%), le cadre réglementaire existant (65%) et la maturité technologique de l'IA (64%) sont également évalués comme des facteurs qui empêchent l'IA de se propager rapidement.

Les entreprises estiment donc que leur niveau d'information est plutôt faible. Seuls 17% se sentent bien informés sur les problèmes d'IA. Le niveau d'information relativement bas n'est pas surprenant : seulement environ un tiers (36%) des sociétés énergétiques examinées se renseignent activement sur les problèmes d'IA. Pour les entreprises de plus de 100 salariés, c'est près de la moitié (47%).¹²⁷

Le projet EnerKI

L'enquête de l'Agence allemande de l'énergie (dena) a donc soulevé un manque d'expertise en ce qui concerne la mise en œuvre de l'IA, ce qui entrave l'utilisation de l'IA à des fins de transition énergétique. Dans cette optique, dena s'est fixé pour objectif, dans le cadre du projet EnerKI financé par le ministère fédéral des Affaires économiques et de l'Énergie allemand (BMWi), de consolider les connaissances sur l'utilisation de l'IA dans le secteur de l'énergie et de promouvoir le dialogue entre les acteurs du marché concernés du secteur de l'énergie, de la politique et du public. L'objectif principal est de fournir aux acteurs du marché les premières recommandations stratégiques d'action. La participation des décideurs politiques garantit que les besoins identifiés dans le projet sont directement communiqués aux représentants politiques. Une attention particulière est accordée à l'évaluation de la technologie de l'IA à utiliser dans certains domaines de l'économie, prenant ainsi en compte tous les aspects techniques, économiques et sociaux.¹²⁸

¹²⁵ E.ON. (2020). Artificial Intelligence (AI): Driving the energy transition. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/digitization/artificial-intelligence.html>

¹²⁶ Oxford-Munich Code of Conduct. (2018, 8 juillet). Code of conduct. Consulté à l'adresse <http://www.code-of-ethics.org/code-of-conduct/>

¹²⁷ Deutsche Energie-Agentur (dena). (2020). Künstliche Intelligenz. Consulté à l'adresse <https://www.dena.de/kuenstliche-intelligenz/>

¹²⁸ German Energy Solutions. (2020). The use of artificial intelligence in the energy sector. Consulté à l'adresse <https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/EN/News/2019/20190902-enerki.html>

Le plan national pour l'IA et l'initiative Smart Networks

Au-delà de son soutien de l'IA spécifiquement dans le domaine de l'énergie, l'Allemagne a publié sa « *Stratégie du gouvernement fédéral pour l'Intelligence Artificielle* » pour un montant de 6 milliards d'euros sur la période 2018-2025, dont l'essentiel sera consacré à la recherche.¹²⁹

Dans le but d'exploiter le potentiel du numérique dans les secteurs clés de l'économie et de la société (éducation, énergie, santé, transports, administration), le Ministère des Affaires économiques a également mis en place l'initiative Smart Networks, une plateforme d'innovation ouverte qui favorise la mise en réseau des différents acteurs. Cette plateforme constitue un point de contact pour les experts, les utilisateurs professionnels et les utilisateurs finaux, et leur permet d'échanger leurs idées et de discuter de leurs projets. La plateforme organise également des activités visant à promouvoir une meilleure compréhension des smart grids et favorise ainsi les progrès dans ce domaine.¹³⁰ Depuis mai 2017, la plateforme d'innovation ouverte se concentre sur l'Intelligence Artificielle et les réseaux intelligents. Elle vise à fédérer la communauté pour étudier les opportunités, le potentiel et les défis de l'Intelligence Artificielle dans le cadre des réseaux intelligents allemands.

2.3.2.2. Le Japon, un leader mondial de l'innovation s'appuyant sur les synergies nationales

Le Japon, bien que loin de la France en termes géographiques, peut également être pris comme référence pour la stratégie française en IA appliquée à l'énergie. Il dispose en effet de similarités structurelles avec la France, avec ses centrales nucléaires, son économie et son avantage comparatif en IA, tiré par des leaders internationaux en numérique et en robotique. A l'image de la France et des pays européens, bien que dépourvu de géants du numérique comparables à ceux des États-Unis ou de la Chine, le Japon affiche une réelle volonté de devenir un acteur majeur du domaine de l'IA sur la scène mondiale.

Politique énergétique

Le Japon est depuis longtemps un grand consommateur et importateur d'énergie et un leader reconnu dans le développement de technologies énergétiques. Les efforts visant à surmonter les retombées du tremblement de terre de 2011 et l'accident nucléaire de Fukushima qui a suivi ont dominé la politique énergétique ces dernières années.

L'une des conséquences de l'accident a été l'arrêt de toutes les centrales nucléaires, ce qui a entraîné une augmentation significative de la production d'énergie fossiles – à hauteur de 78% en 2018 (Figure 35)¹³¹ – et par conséquent une augmentation des émissions de dioxyde de carbone. Il a également ramené les prix de l'électricité à des niveaux insoutenables.

Face à ces défis, le gouvernement du Japon a revu sa politique énergétique ces dernières années afin de se concentrer sur la diversification de son mix énergétique (moins d'utilisation de combustibles fossiles, plus de recours aux énergies renouvelables, redémarrage des centrales nucléaires une fois déclarées sûres) et la réduction des émissions de carbone.¹³²

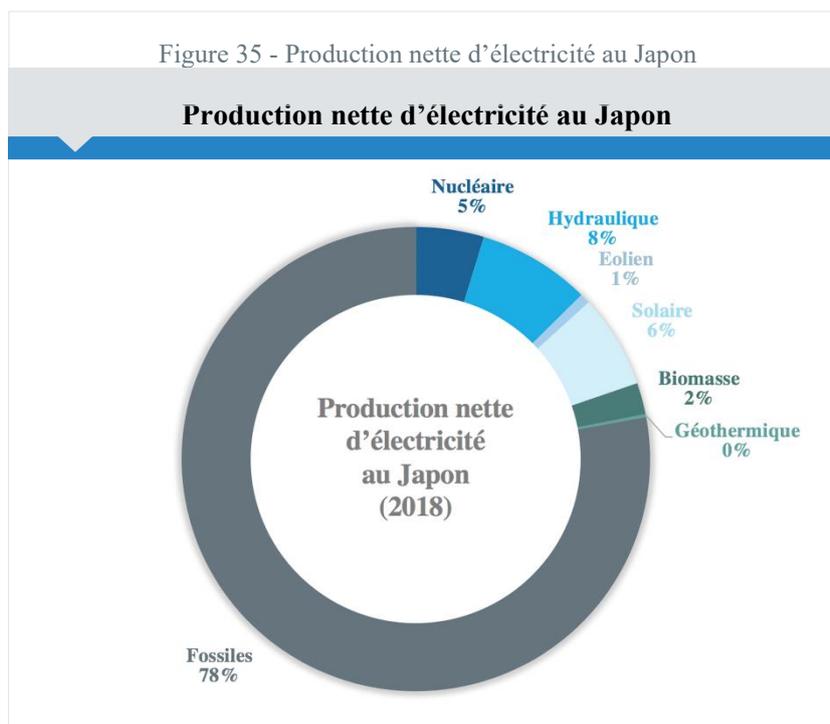
¹²⁹ Bundesregierung (Gouvernement fédéral allemand). (2018, 15 novembre). L'IA, marque de fabrique de l'Allemagne. Consulté à l'adresse <https://www.bundesregierung.de/breg-fr/dossier/l-ia-marque-de-fabrique-de-l-allemande-1551492>

¹³⁰ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2020). Artificial intelligence. Consulté à l'adresse <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Technology/artificial-intelligence.html>

¹³¹ International Energy Agency (IEA). (2020). Japan energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/japan>

¹³² International Energy Agency (IEA). (2020). Japan energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/japan>

Figure 35 - Production nette d'électricité au Japon



En particulier, le 5e plan stratégique pour l'énergie, approuvé par le cabinet japonais en juillet 2018, présente l'orientation de base de la politique énergétique du Japon à l'horizon 2030, puis à l'horizon 2050, y compris la voie de la décarbonisation. Le plan met l'accent sur le renforcement des efforts pour parvenir à un mix énergétique optimal et à une énergie renouvelable à faible coût qui est identifiée comme étant la principale source d'énergie pour 2030.

Apport de l'IA pour l'énergie géothermique

Le Japon, en tant que pays possédant le troisième plus grand potentiel de ressources géothermiques au monde, se montre attentif à la géothermie, qui permet une production régulière d'énergie. La géothermie peut constituer une source potentielle d'énergie de base (la quantité minimale d'énergie nécessaire pour être fournie au réseau électrique à un moment donné) pour soutenir l'expansion des énergies renouvelables moins fiables, d'autant plus que cette ressource renouvelable peut fournir une puissance de sortie stable. La capacité installée de production d'énergie géothermique au Japon devrait atteindre 1 550 MW d'ici 2030.¹³³

Ce plan de transition énergétique promeut donc de nouveaux projets de construction de centrales géothermiques au Japon. Cependant, l'utilisation des centrales géothermiques existantes est faible à ce stade (environ 60%), en raison des pannes imprévues causées par des problèmes de détérioration des équipements mais aussi à cause des pannes engendrées par les travaux de maintenance nécessaires. La transition énergétique se fait urgente au Japon, et impose de réfléchir à des modes de productions plus fiables et moins coûteux financièrement et écologiquement, ce qui mène le pays à réfléchir à des solutions d'Intelligence Artificielle pour accroître le potentiel de l'énergie géothermique et permettre l'injection des énergies renouvelables dans son réseau.

L'augmentation de l'activité des centrales géothermiques fait donc partie des enjeux centraux pour augmenter la production et le rendement des centrales et ainsi permettre le développement d'une source stable d'énergie.

¹³³ Toshiba. (2019). Demonstration Project Starts in Indonesia on the Use of Anomaly Predictive Diagnostics for Geothermal Power Plants. Consulté à l'adresse <https://asia.toshiba.com/press-release/english/demonstration-project-starts-in-indonesia-on-the-use-of-anomaly-predictive-diagnostics-for-geothermal-power-plants/>

Pour répondre à ce défi, Toshiba Energy Systems & Solutions (Toshiba ESS), fournisseur leader de solutions énergétiques intégrées, mène des recherches sur l'utilisation de l'IoT et de l'IA dans le but d'améliorer l'efficacité et la fiabilité des centrales géothermiques. Par exemple, des diagnostics prédictifs rendus possibles par une grande quantité de données sont utilisés pour prédire les anomalies qui pourraient potentiellement arrêter les centrales. Les mesures préventives telles que les pulvérisations d'agents chimiques pour éviter les arrêts de turbine sont optimisées à l'aide de l'IoT et de l'IA.¹³⁴

En octobre 2019, Toshiba ESS et la Nouvelle Organisation de Développement des Technologies Énergétiques et Industrielles (NEDO) ont notamment lancé un projet de démonstration de diagnostic prédictif des anomalies en Indonésie pour améliorer l'utilisation des centrales géothermiques. La technologie de diagnostic prédictif analyse les données d'exploitation passées et quotidiennes de la centrale à travers divers capteurs avec une analyse des mégadonnées et prédit à l'avance les anomalies de l'équipement, détectant les problèmes potentiels pendant les opérations. Grâce à cette démonstration, Toshiba ESS vise à réduire le taux d'occurrence de problèmes dans les centrales géothermiques de 20% et à réduire la période d'interruption imprévue dans les centrales électriques. L'augmentation du facteur d'utilisation entraîne une augmentation de la quantité de production d'énergie et une réduction du coût de production. On peut s'attendre à ce que le projet contribue à une adoption accrue de l'énergie géothermique.¹³⁵

Les stratégies collectives d'innovation soutenues par le NEDO

Au-delà de son soutien à la recherche en géothermie, le NEDO encourage également des stratégies collectives d'envergure dans le domaine de l'énergie, à l'image du projet de construction du Centre de recherche sur l'énergie hydrogène de Fukushima (FH2R) lancé en 2018 et inauguré en février 2020. Ce projet, qui consiste à construire un système d'énergie hydrogène à grande échelle, s'inscrit dans un partenariat de trois acteurs technologiques japonais soutenu par le NEDO. Ainsi, Toshiba ESS supervise le projet et le système de gestion de l'énergie hydrogène, Tohoku Electric Power Co., Inc s'occupe entre autres des questions liées au réseau, et Iwatani Corporation gère le système de prévision de l'offre et de la demande d'hydrogène et transport.¹³⁶

Ce type de de partenariat construit entre plusieurs entreprises technologiques japonaises et soutenu par le NEDO est représentatif d'une stratégie japonaise de mutualisation des ressources à l'échelle nationale. Le NEDO réalise également des partenariats avec des instituts d'autres pays. Par exemple, l'organisation japonaise a organisé en septembre 2019 un appel à projet commun avec Bpifrance sur le thème de l'industrie du futur et l'IoT, qui s'adresse à des PME françaises et japonaises en partenariat d'innovation.¹³⁷

L'importance des stratégies collectives pour le développement des smart grids et smart communities

A travers le monde, le Japon est reconnu comme étant un leader dans le secteur de l'Intelligence Artificielle, avec des champions spécialisés comme Hitachi, NEC, NTT Communications, Fujitsu et Toshiba¹³⁸, qui permettent d'investir leur savoir-faire dans toutes les sphères de l'économie.

¹³⁴ Société Financière Internationale (IFC). (2020). *Artificial Intelligence in the Power Sector* (NOTE 81). Consulté à l'adresse https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/bd3a196d-a88f-45af-bbc6-e0b00790fba8/EMCompass_Note_81-05-web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n72pj5g

¹³⁵ Toshiba. (2019). Demonstration Project Starts in Indonesia on the Use of Anomaly Predictive Diagnostics for Geothermal Power Plants. Consulté à l'adresse <https://asia.toshiba.com/press-release/english/demonstration-project-starts-in-indonesia-on-the-use-of-anomaly-predictive-diagnostics-for-geothermal-power-plants/>

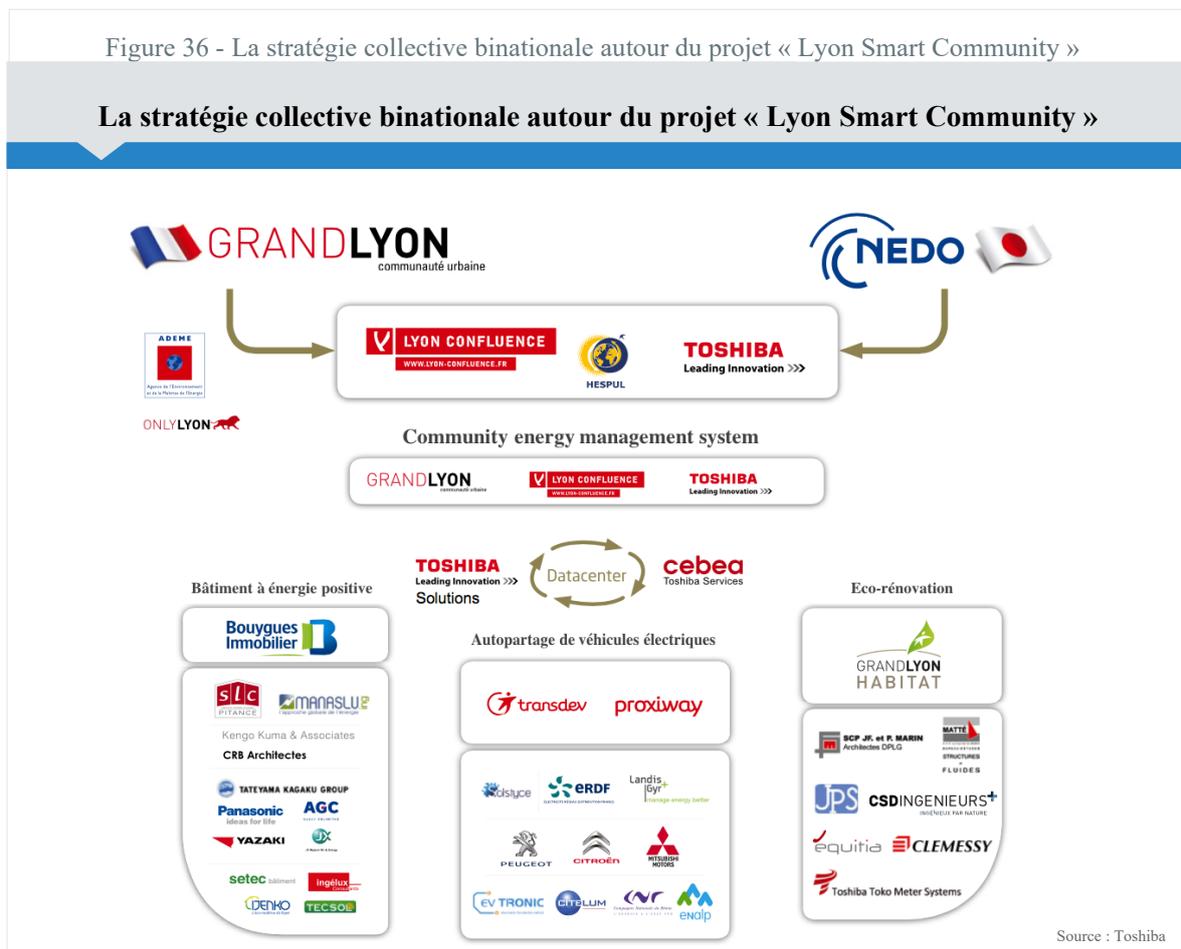
¹³⁶ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, Tohoku Electric Power Co., Inc., Iwatani Corporation. (2020, 11 mars). The world's largest-class hydrogen production, Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R) now is completed at Namie town in Fukushima. Consulté à l'adresse https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020_0307.htm

¹³⁷ Bpifrance. (2019b, septembre). Bpifrance et Nedo lancent un appel à projets ! Consulté à l'adresse <https://www.bpifrance.fr/A-lane/Appels-a-projets-concours/Bpifrance-et-Nedo-lancent-un-appel-a-projets-l-32674>

¹³⁸ CCI France Japon. (2019). *Le marché de l'intelligence artificielle au Japon*. Consulté à l'adresse https://www.cci-france-international.org/fileadmin/cru-1590645636/portail/user_upload/Note_sectorielle_IA_japon.pdf

Le Japon, dans sa stratégie de conquête de l'IA, est aussi un grand adepte des stratégies collectives. Si le Japon est aujourd'hui le leader mondial des smart grids, c'est parce qu'il a su mettre en place des partenariats aux niveaux national et international pour faciliter la réalisation des démonstrateurs. De nombreux organismes et grands groupes s'associent pour mettre en commun leurs moyens financiers et savoir-faire pour mener à bien ces expérimentations. Les *smart communities*, qui sont basées sur l'intégration d'infrastructures énergétiques et sociales innovantes, y compris les *smart grids*, voient également le jour dans de nombreux pays grâce à la mise en place de partenariats multinationaux.¹³⁹

L'un des exemples les plus importants de ces démonstrateurs est la Lyon Smart Community, lancée en 2011 à l'initiative du NEDO et du Grand Lyon. La Lyon Smart Community repose en particulier sur la construction de bâtiments à énergie positive, la mise à disposition de véhicules électriques en autopartage, et l'installation de capteurs permettant une meilleure analyse de la consommation et une meilleure gestion de l'énergie dans les bâtiments grâce à l'Intelligence Artificielle.¹⁴⁰ Cette initiative, qui regroupe une trentaine de partenaires incluant des entreprises d'origines, de secteurs et de tailles variées, dispose aujourd'hui d'un rayonnement mondial et est un excellent modèle de projet d'envergure mené au travers d'une stratégie collective binationale (Figure 36).¹⁴¹



¹³⁹ Energie 3.0 : le magazine spécialisé sur l'efficacité énergétique. (2014, mars). Tour d'horizon des Smart Grids : l'exemple japonais. Consulté à l'adresse <http://www.efficacite-electrique.fr/2014/03/smart-grids-exemple-japonais/>

¹⁴⁰ Lyon Smart Community. (2017, octobre). *Un partenariat international pour développer une ville intelligente au service des citoyens*. Consulté à l'adresse http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/20171010_gl_lyon_smart_community_bilan_perspectives_plaquette_fr.pdf

¹⁴¹ Toshiba. (2014, janvier). *Projet Lyon Smart Community - Community Management System*. Consulté à l'adresse <https://docplayer.fr/2382598-Projet-lyon-smart-community-community-management-system.html>

Les initiatives d'État en matière d'Intelligence Artificielle et de stratégie collective

Le Japon fait partie des pays ayant adopté un plan national pour l'IA : en mars 2017, le Conseil a publié sa « *Stratégie pour la technologie de l'IA.* » et un financement de 640 millions d'euros.¹⁴²

Allant au-delà de la planification et du financement pour soutenir le développement de l'IA, le Japon entend être moteur dans les réflexions internationales, et insuffler un droit mou en matière d'IA, soit des règles communes non contraignantes. Cela se caractérise par la publication d'un « *Guide de l'IA pour les discussions internationales* » dans le cadre du G7 de 2016. Celui-ci suggère « *huit principes à respecter dans le cadre de la recherche et développement en IA : Transparence, Assistance à l'utilisateur, Contrôlabilité, Sécurité, Sûreté, Vie Privée, Ethique, Responsabilité* ». Le Japon a également présenté le livre blanc à l'OCDE, qui a accepté d'en discuter au sein des comités d'experts.¹⁴³

Le Japon a compris assez tôt l'enjeu de favoriser les synergies entre les différents acteurs japonais. En effet, afin de soutenir la croissance des nouvelles technologies énergétiques du Japon, le NEDO (Organisation pour le Développement des Énergies Nouvelles et des Technologies Industrielles) a formé en 2010 la Japan Smart Community Alliance (JSCA), une association d'entreprises japonaises dont l'objectif est d'accumuler des connaissances et de promouvoir la collaboration entre les secteurs public et privé afin de répondre collectivement aux enjeux rencontrés.

La JSCA, qui fédère 259 membres à ce jour, vise notamment à contribuer à la diffusion nationale et internationale des *smart communities* grâce aux efforts de collaboration des secteurs public et privé en planifiant et en mettant en œuvre des activités qui contribuent à l'économie japonaise.¹⁴⁴

2.3.2.3. Le Royaume-Uni, terre d'accueil des startups en Europe

Le Royaume-Uni est également un pays que l'on peut prendre pour référence pour établir des comparaisons avec la France. Son économie, son vivier de startups et sa stratégie énergétique sont en effet relativement proches de la France, et ses ambitions pour l'IA correspondent aux ambitions françaises en termes de moyens et d'objectifs.

Politique énergétique

Le Royaume-Uni est un modèle mondial en matière de transition énergétique. Avec un objectif d'émissions de CO2 net de zéro d'ici 2050, le secteur britannique de l'énergie est en pleine transformation, avec des investissements record dans l'éolien offshore et l'énergie solaire photovoltaïque.

Le troisième trimestre 2019 a marqué un record, selon l'analyse de Carbon Brief, « Les parcs éoliens, les panneaux solaires, la biomasse et les centrales hydroélectriques du Royaume-Uni ont généré plus d'électricité que la production combinée des centrales électriques alimentées au charbon, au pétrole et au gaz. » (Figure 37)¹⁴⁵

D'ici 2030, l'éolien et le solaire devraient atteindre plus de 50% de l'énergie produite, plus que dans tout autre pays membre de l'AIE (Agence Internationale de l'Énergie). Pour y parvenir, les solutions smart grids et les technologies d'efficacité énergétique doivent être étendues, c'est pourquoi la stratégie de

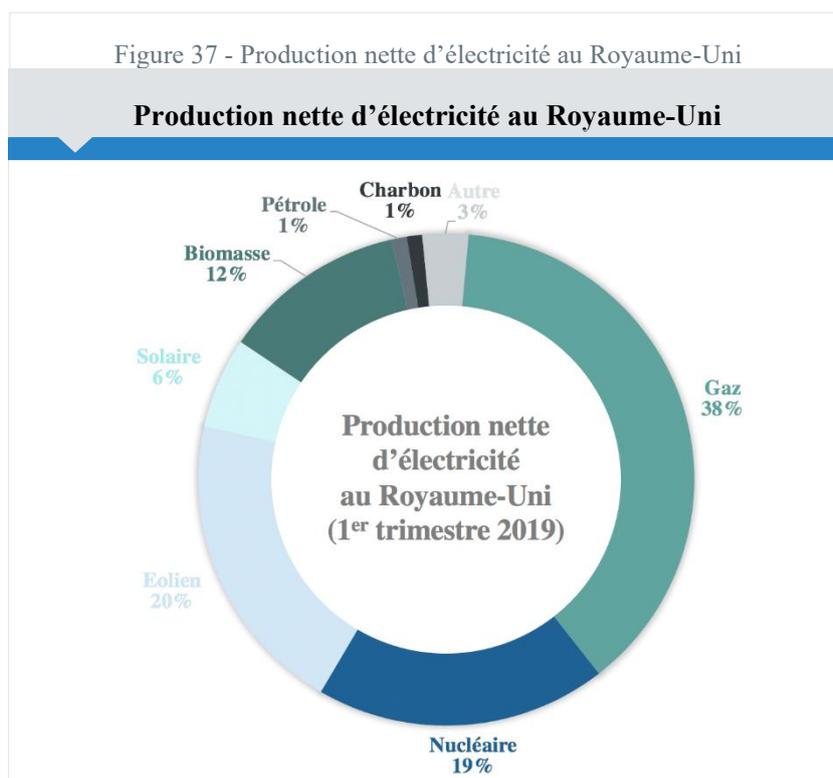
¹⁴² Gendarmerie nationale. (2019, juillet). Intelligence artificielle : état des lieux des initiatives étatiques. *Gendarmerie*. Consulté à l'adresse <https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr>

¹⁴³ Trésor, D. G. (2018, 3 juillet). La stratégie japonaise sur l'intelligence artificielle : augmentation des investissements, enjeux éthiques, sociétaux et réglementaires, et opportunités de coopérations avec la France. Consulté à l'adresse <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2018/07/03/la-strategie-japonaise-sur-l-intelligence-artificielle-augmentation-des-investissements-enjeux-ethiques-societaux-et-reglementaires-et-opportunités-de-cooperations-avec-la-france>

¹⁴⁴ Japan Smart Community Alliance (JSCA). (2020). About JSCA. Consulté à l'adresse <https://www.smart-japan.org/english/about/index.html>

¹⁴⁵ Carbon Brief. (2019, octobre 18). Analysis: UK renewables generate more electricity than fossil fuels for first time. Consulté à l'adresse <https://www.carbonbrief.org/analysis-uk-renewables-generate-more-electricity-than-fossil-fuels-for-first-time>

transition énergétique du Royaume-Uni place la technologie et l'innovation énergétiques au centre de sa politique énergétique.¹⁴⁶



Appel à la création d'un Centre international pour l'IA, l'énergie et le climat

En date du 19 août 2019, une lettre adressée au gouvernement et signée par 27 entreprises et universitaires parmi lesquels figurent les principaux groupes énergétiques, appelle à l'organisation d'une stratégie collective pour l'IA – énergie, qui passerait par le biais de la création d'un Centre international pour l'IA, l'énergie et le climat.¹⁴⁷

Alors que les systèmes énergétiques du monde entier continuent de se décarboniser et de se décentraliser, la lettre souligne l'urgence de gérer et de prévoir les nouvelles composantes du système, comme les énergies renouvelables, les véhicules électriques et le stockage des batteries.

Selon la lettre, l'IA sera donc « essentielle » à la gestion des données et du nouveau système à construire, ajoutant que Londres est « la capitale européenne de l'IA et sert de base à plus de 750 entreprises d'IA - le double du total de Paris et de Berlin combiné ». La lettre avertit que le Royaume-Uni doit transformer "rapidement" le soutien général à l'intelligence artificielle en "propositions sectorielles conjointes" s'il veut maintenir sa position de leader en IA. La lettre souligne également que la réglementation des systèmes énergétiques crée des obstacles à l'IA, et recommande que les modèles de partage de données soient mis à jour.

Le Centre international pour l'IA, l'énergie et le climat, à ce jour non mis en place, aurait quatre fonctions principales :

- Conseiller les gouvernements sur les cadres politiques et l'accès aux données ;
- Faciliter l'implication de la communauté du *machine learning* dans le secteur ;

¹⁴⁶ International Energy Agency (IEA). (2020c). United Kingdom energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/united-kingdom>

¹⁴⁷ E3G - Third Generation Environmentalism. (2019, août 19). Support for an International Centre for AI, Energy and Climate. Consulté à l'adresse https://www.e3g.org/docs/19_08_19_Centre_AI_coalition_letter_Final.pdf

- Fournir un financement « sur mesure » pour accélérer le déploiement et le support ;
- Développer l'écosystème naissant des startups.

La stratégie nationale

Le Royaume-Uni, qui classe le Big Data et l'IA parmi les 4 plus grands challenges de la société actuelle, a également mis en place une stratégie pour l'IA avec son « Deal sur le secteur de l'IA », accompagné d'un financement de 1 milliard d'euros.¹⁴⁸

Cet accord sectoriel met en œuvre les recommandations de la revue indépendante sur l'IA, « Growing the AI industry in the UK »¹⁴⁹ publiée en octobre 2017. Cette revue s'appuie sur des entretiens avec des entreprises, des universités, des investisseurs et d'autres parties prenantes dont l'objectif était de trouver les moyens de stimuler le secteur naissant de l'IA au Royaume-Uni et dans le monde. Le « Deal sur le secteur de l'IA », qui découle de ces entretiens, présente une stratégie nationale pour l'IA qui repose sur 5 piliers :

1. **Les idées** – avec l'objectif d'avoir l'économie la plus innovante du monde
2. **Les personnes** – avec l'objectif de garantir de « bons emplois » et une plus grande capacité de gain pour tous
3. **Les infrastructures** – avec une mise à niveau majeure de l'infrastructure britannique
4. **L'environnement commercial** – avec l'objectif de devenir le meilleur territoire pour démarrer et développer une entreprise
5. **Les lieux** – avec l'objectif de construire des écosystèmes prospères à travers le Royaume-Uni, avec notamment la mise en place de stratégies industrielles locales s'appuyant sur les savoir-faire des entreprises locales.¹⁵⁰

Partenariat de National Grid avec l'Institut Alan Turing pour développer l'IA

Au Royaume-Uni, des stratégies collectives sont déjà mises en œuvre entre énergéticiens et autres parties prenantes de l'IA en énergie. Le National Grid Electricity System Operator (ESO), gestionnaire de réseau de transport du Royaume-Uni, s'est par exemple tourné vers l'Intelligence Artificielle et l'apprentissage automatique à travers un partenariat avec l'Institut Alan Turing pour améliorer les prévisions des panneaux solaires et des éoliennes au Royaume-Uni.

Le projet, financé par l'Ofgem Network Innovation Allowance, a déjà contribué à une amélioration de 33% des prévisions solaires, ce qui permet à National Grid ESO d'exploiter les réseaux d'une manière plus efficace et plus économique, et de contribuer à atteindre l'objectif zéro carbone d'ici 2025.

L'Intelligence Artificielle, fondée sur l'apprentissage automatique, examine les données historiques et environ 80 variables d'entrée (comme la météo et la température) et s'entraîne à prévoir la production d'énergie en associant les données d'entrée aux données de sorties. Ensuite, l'IA s'entraîne et est testée et ajustée pour donner la nouvelle prévision de production.

Rob Rome, directeur des opérations commerciales chez National Grid ESO, a déclaré qu'il était essentiel que ces prévisions soient aussi précises que possible, du fait de la croissance des parts d'énergies renouvelables dans le mix énergétique. Il a ajouté : « *L'équipe d'innovation dédiée de l'ESO est toujours à la recherche de nouvelles techniques et méthodes pour nous aider à équilibrer le système et ce partenariat avec l'Institut Alan Turing en est un excellent exemple.* »¹⁵¹

¹⁴⁸ Gendarmerie nationale. (2019, juillet). Intelligence artificielle : état des lieux des initiatives étatiques. *Gendarmerie*. Consulté à l'adresse <https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr>

¹⁴⁹ Hall, W., & Pesenti, J. (2017). *Growing the Artificial Intelligence Industry in the UK*. Consulté à l'adresse https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/652097/Growing_the_artificial_intelligence_industry_in_the_UK.pdf

¹⁵⁰ GOV.UK. (2019, 19 juillet). AI Sector Deal. Consulté à l'adresse <https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal/ai-sector-deal#fn:1>

¹⁵¹ Energy Live News. (2019, juillet 26). National Grid turns to AI for improved solar power forecasts. Consulté à l'adresse <https://www.energylivenews.com/2019/07/26/national-grid-turns-to-ai-for-improved-solar-power-forecasts/>

Stratégie d'acquisition de startups de National Grid

Si Londres a le statut de « capitale technologique en Europe », avec un record de 39 milliards de dollars investis sans ses startups technologiques en 2019 – contre 3,3 milliards en France ¹⁵², les leaders nationaux de l'énergie profitent de ce dynamisme local pour développer des solutions intelligentes.

Par exemple, National Grid adopte une stratégie d'investissement massif dans les startups du numérique pour moderniser les réseaux, réduire les coûts et optimiser la production. En fin d'année 2019, National Grid Partners (NGP), la branche d'investissement en capital-risque et d'innovation de National Grid, a notamment acquis trois startups de l'IA pour moderniser ses infrastructures énergétiques, portant son portefeuille d'investissements au cours de l'année écoulée à 18 entreprises.¹⁵³

En investissant dans CNIGuard, SparkCognition et Uniphore, NGP élève le montant de ses investissements à 250 millions de dollars dans des entreprises technologiques émergentes, à l'intersection des logiciels et de l'énergie. L'objectif est d'accélérer un avenir énergétique plus intelligent et renouvelable.¹⁵⁴

La première startup CNIGuard fabrique des capteurs IoT permettant de protéger et gérer les équipements des infrastructures critiques. Le logiciel peut par exemple être utilisé pour repérer les menaces pesant sur un service public, comme un poteau affaissé, une fuite de distribution de gaz ou quelqu'un essayant de s'introduire dans un bâtiment utilitaire.

La seconde startup SparkCognition est une plateforme qui fournit des systèmes d'IA pour permettre aux clients d'intégrer l'IA dans leurs organisations. Cette plateforme pourra être utilisée pour régler plus finement le réseau électrique. Elle est déjà utilisée par La Pacific Gas and Electric Company de Californie pour couper l'alimentation des communes lors de vents violents qui présentent un risque d'incendie.

Enfin la troisième startup Uniphore redéfinit l'expérience de service client grâce à l'Intelligence Artificielle qui est capable de suivre une conversation et de répondre aux demandes du client et ainsi prendre en charge les tâches récurrentes et banales du service client.

National Grid a pour objectif de se réinventer ainsi que de réinventer le secteur de l'énergie, notamment par le biais de l'Intelligence Artificielle. Mais selon Lisa Lambert, responsable de la technologie et de l'innovation de National Grid et présidente de NGP, la plupart des autres entreprises du secteur ne font pas les mêmes investissements. En effet, dans une interview avec VentureBeat, Lisa Lambert explique : « *Il n'y a pas d'autre compagnie dont je sois au courant qui fasse autant que nous pour réellement se réinventer et anticiper les changements du secteur pour que l'on puisse mieux servir nos clients.* »

Vers une stratégie collective internationale entre services publics

National Grid va également de l'avant avec un conseil des services publics pour réunir les fournisseurs d'énergie du monde afin que les investissements puissent avoir un impact à l'échelle de l'industrie. « *Il y a 140 services publics dans le monde, et la bonne chose à propos du secteur des services publics est que nous ne sommes pas en concurrence sur le même marché* », a déclaré Lisa Lambert. « *Il n'y a donc aucun inconvénient à collaborer les uns avec les autres pour partager des idées, à s'associer à différentes entreprises sur des projets d'innovation, ou même à tirer parti de notre portefeuille pour*

¹⁵² Frenchweb.fr. (2020, 15 janvier). Loin devant Berlin et Paris, Londres s'accapare la majorité des investissements Tech en Europe. Consulté à l'adresse <https://www.frenchweb.fr/lain-devant-berlin-et-paris-londres-saccapare-la-majorite-des-investissements-tech-en-europe/389335#gsc.tab=0>

¹⁵³ Power Engineering. (2019, octobre 24). National Grid Partners investing in three startup focused on AI, utility infrastructure. Consulté à l'adresse <https://www.power-eng.com/2019/10/24/national-grid-partners-investing-in-three-startup-focused-on-ai-utility-infrastructure/#gref>

¹⁵⁴ VentureBeat. (2019, octobre 24). National Grid Partners invests in 3 more AI and energy infrastructure startup. Consulté à l'adresse <https://venturebeat.com/2019/10/24/national-grid-partners-invests-in-3-more-ai-and-energy-infrastructure-startup/>

aider à résoudre certains de leurs défis commerciaux. C'est bon pour l'industrie dans son ensemble et, finalement, c'est bon pour le consommateur. »¹⁵⁵

L'analyse des leaders de l'IA appliquée à l'énergie nous donne des éléments de réponse à notre troisième question de recherche :

Q3. Comment peut-on s'inspirer d'autres modèles collectifs pour répondre aux enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie ?

Dans le contexte compétitif mondial, de nombreux pays et acteurs privés se sont lancés dans la course à l'IA appliquée à l'énergie. Cela passe notamment par des plans nationaux et des efforts de recherche. Certains acteurs développent l'IA pour un secteur précis, comme le militaire pour la Russie. D'autres, comme la Chine, développent l'IA dans tous les secteurs de l'économie à l'aide de champions nationaux et affichent un objectif clair de devenir le leader mondial des smart grids et autres applications de l'IA pour l'énergie. Les efforts de la filière française pourront être guidés par des modèles de réussite tels que la Chine ou les États-Unis, qui démontrent quels sont les atouts nécessaires pour être un leader à l'échelle mondiale, à savoir le développement d'un écosystème d'acteurs puissants, le développement de stratégies nationales d'envergure ainsi que le développement des ressources nécessaires telles que les données et infrastructures, ainsi que la formation et l'attraction des talents.

L'analyse complémentaire de l'Allemagne, du Japon et du Royaume-Uni, qui ont des moyens et problématiques similaires à la France, a permis d'identifier des axes stratégiques qui fonctionnent pour développer et exporter la filière française de l'IA en énergie.

Des stratégies collectives nationales peuvent être menées pour favoriser le partage d'informations et de réflexions, à l'image du Smart Network allemand ; d'autres peuvent être constituées pour conduire des projets de plus grande ampleur, comme le montre le modèle japonais. Enfin, la formation de stratégies collectives technologiques entre énergéticiens et startups peut être encouragée par la présence et la stimulation d'un écosystème puissant de startups, à l'image du Royaume-Uni.

Ces initiatives et modèles représentent ainsi une source d'inspiration pour les stratégies collectives applicables à la filière française de l'IA pour l'énergie, pour répondre aux grandes caractéristiques et grands enjeux de la filière française.

¹⁵⁵ VentureBeat. (2019, octobre 24). National Grid Partners invests in 3 more AI and energy infrastructure startup. Consulté à l'adresse <https://venturebeat.com/2019/10/24/national-grid-partners-invests-in-3-more-ai-and-energy-infrastructure-startup/>



3. ÉVALUATION ET RECOMMANDATIONS POUR LA FILIÈRE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE

3.1. Évaluation de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie

L'analyse des stratégies et atouts des leaders à l'international ainsi que le SWOT de la filière française de l'IA en énergie permettent de mettre en lumière les forces et faiblesses de l'écosystème français, ainsi que les opportunités et menaces du marché de l'IA en énergie à l'échelle internationale.

En particulier, notre travail de recherche a permis d'identifier six grandes observations - non exhaustives - de la filière française de l'IA en énergie :

1. Une multitude d'initiatives non coordonnées
2. Une filière surtout tirée par les champions nationaux de l'énergie
3. Des synergies encore timides à l'échelle européenne
4. Des difficultés de commercialisation et de transfert technologique
5. Des freins institutionnels et sociaux au développement de l'IA
6. Un risque de dépendance technologique

Ces six observations ont fait l'objet de recherches approfondies au cours de notre étude et sont ici résumées (Figure 38, Figure 39, Figure 40), présentant leurs causes inhérentes, les solutions apportées à ce jour par les acteurs de la filière ainsi que les limites de ces solutions.

Figure 38 - Tableau synoptique de nos grandes observations 1 et 2	
1 - Une multitude d'initiatives non coordonnées	2 - Une filière surtout tirée par les champions nationaux de l'énergie
<p><u>Cause du problème :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Une multitude d'acteurs et une filière encore peu mature <p><u>Solution apportée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • De nouvelles initiatives collectives <p><u>Limite de la solution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de recensement des acteurs de la filière ni des stratégies collectives • Manque de développement des synergies et projets transverses 	<p><u>Cause du problème :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Des inégalités de développement de la filière • Peu de PME exportatrices <p><u>Solution apportée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Des partenariats pour la recherche • Des consortiums pour les contrats internationaux • Des politiques de développement de startups et PME <p><u>Limite de la solution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Toujours une faible part de PME exportatrices

Figure 39 - Tableau synoptique de nos grandes observations 3 et 4

3 – Des synergies encore timides à l'échelle européenne	4 - Des difficultés de commercialisation et de transfert technologique
<p><u>Cause du problème :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Persistance des difficultés à se mettre d'accord sur des objectifs communs à l'échelle européenne <p><u>Solution apportée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Des partenariats bilatéraux plus ou moins poussés entre pays européens • Un livre blanc européen • Des coopérations entre entreprises <p><u>Limite de la solution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans les faits, toujours peu de synergie à l'échelle européenne 	<p><u>Cause du problème :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Difficulté à transformer les technologies en solutions et les industrialiser • Difficulté à trouver les financements pour un porteur de projet <p><u>Solution apportée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Création des SATT (Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies) en 2012 • Plan de Bpifrance de transfert technologique (mars 2019) <p><u>Limite de la solution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Manque de chercheurs • Manque de notoriété des SATT

Figure 40 - Tableau synoptique de nos grandes observations 5 et 6

5 - Des freins institutionnels et sociaux au développement de l'IA	6 - Un risque de dépendance technologique
<p><u>Cause du problème :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • De forte craintes sur l'IA • Une forte valorisation des droits des données <p><u>Solution apportée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Referendum de l'UE sur les données • Sensibilisation du grand public à l'IA à travers des MOOC, ateliers et débats <p><u>Limite de la solution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Manque de « publicité » pour valoriser les solutions d'IA auprès du grand public • Des données qui restent difficilement exploitables 	<p><u>Cause du problème :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Des investissements externes • Des partenariats technologiques qui exemptent temporairement de développer les technologies en interne <p><u>Solution apportée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Un droit à la concurrence européen qui limite la mainmise d'acteurs comme les GAFAM • Des subventions à l'innovation à l'échelle de la France <p><u>Limite de la solution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Des moyens limités de développer certaines solutions IA

3.2. Recommandations

L'évaluation de la filière et l'étude des stratégies mises en œuvre pour la soutenir mettent en avant certaines difficultés des acteurs de l'écosystème à saisir les opportunités, contrer les menaces, capitaliser sur leurs forces et remédier à leurs faiblesses. Suivant ce constat, nous avons dressé six recommandations pour les acteurs de la filière (Figure 41) qui s'adressent directement aux observations établies précédemment. Ce travail de recherche s'impose donc comme un guide à l'intention des organisations qui participent à la définition des stratégies collectives en IA appliquée à l'énergie, à savoir les instances publiques, les associations et les acteurs de la filière.

Figure 41 - Six recommandations pour la filière de l'IA appliquée à l'énergie

Observations	Recommandations associées	Acteurs concernés
1 - Une multitude d'initiatives non coordonnées	Plan de structuration de la filière française	Instance publique Tiers de confiance Acteurs privés
2 - Une filière surtout tirée par les champions nationaux de l'énergie	Stratégie collective commerciale en soutien à l'exportation de la filière	Instance publique Tiers de confiance Acteurs privés
3 - Un début de synergie à l'échelle européenne	Programme de développement des synergies à l'échelle européenne	Instance publique Tiers de confiance Acteurs privés
4 - Des difficultés de commercialisation et de transfert technologique	Plan de soutien au transfert technologique	Instance publique Pôles de recherche Universités Acteurs privés
5 - Des freins institutionnels et sociaux au développement de l'IA	Campagne de familiarisation et de formation à l'IA	Instance publique Associations Acteurs privés
6 - Risques de la dépendance technologique	Construction d'un modèle européen des GAFAM	Instance publique Acteurs privés

3.2.1. Plan de structuration de la filière française

La mise en place de stratégies collectives et en particulier la structuration d'une filière est en mesure de répondre à une majorité des problématiques mises en avant par l'évaluation de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie.

En effet, structurer la filière répond en premier lieu à l'enjeu d'accroître la visibilité de l'ensemble des acteurs de l'écosystème de l'IA appliquée à l'énergie, grâce à une cartographie précise des acteurs, de leurs enjeux et de leurs savoir-faire respectifs. Cette visibilité encouragera non seulement la formation d'alliances sur le territoire national mais permettra également aux acteurs de s'inscrire dans des stratégies collectives à l'échelle européenne voire internationale.

Nos recommandations s'articulent autour d'un plan de structuration de la filière française reposant sur 5 piliers :

1. Un **tiers de confiance** devra être désigné, respectant les quatre rôles identifiés par Laetitia Dari et Gilles Paché, à savoir : « le rôle de neutralité, le rôle de fédérateur et de représentativité, le

rôle de pilotage et d'animation, et le rôle de contrôle et de sanction »¹⁵⁶, (Figure 42) cet acteur pourra être désigné par une instance publique ayant autorité ; il pourra s'agir d'un acteur de type Think Smartgrids, qui par son expérience et sa connaissance des acteurs de la filière et de leurs enjeux sera en mesure de contribuer à l'élaboration des piliers du plan de structuration cités ci-après ;

2. Une **cartographie digitale** précise des acteurs, de leurs enjeux et de leurs savoir-faire respectifs devra être conçue par ce tiers de confiance et mise à disposition de la filière afin d'accroître la visibilité des projets pour encourager la formation d'alliances sur le territoire national voire européen ;
3. Une **structure physique** devra être mise à disposition des acteurs pour faciliter les rencontres et les échanges, à l'image de la « *Japan Smart Community Alliance* », formée par l'État japonais pour accumuler des connaissances et promouvoir la collaboration entre les secteurs public et privé afin de répondre collectivement aux enjeux rencontrés ;
4. Une **charte des bonnes pratiques** comportant les règles claires de collaboration devra être rédigée et signée par l'ensemble des acteurs de la filière ainsi identifiée, afin de garantir le droit de la concurrence sur le marché ainsi que la sécurité des données partagées ;
5. Un **réseau d'information** passant par un canal unique afin de transmettre à l'ensemble des acteurs de la filière sans différence de taille ou de spécialité des informations sur les projets de recherche en cours en France et dans le monde, les opportunités d'exportation et d'association à l'international etc.

Figure 42 - Les quatre rôles du tiers de confiance

Rôle de neutralité	Rôle de fédérateur et de représentativité
<ul style="list-style-type: none"> • Regrouper l'ensemble des acteurs de la filière sans distinction de taille, de statut, de notoriété ou autre • Transmettre la même information à tous les acteurs sans distinction 	<ul style="list-style-type: none"> • Encourager les rencontres entre les acteurs et créer du lien • Développer des synergies entre les membres, réaliser une cartographie de ressources et de savoir-faire • Fédérer autour d'une stratégie commune • Négocier pour la filière et ses membres auprès des instances publiques pour favoriser les subventions • Communiquer sur les marchés internationaux pour aider la filière à remporter des contrats
Rôle de pilotage et d'animation	Rôle de contrôle et de sanction
<ul style="list-style-type: none"> • Animer des temps forts et des groupes de travail • Faire une veille des acteurs français et internationaux, des projets et des tendances • Émettre une stratégie pour l'ensemble de la filière, en France comme à l'international • Encourager le débat, être force de proposition pour des projets 	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la connaissance des acteurs de la législation et du droit des contrats, notamment à l'international • Veiller au respect de la charte des bonnes pratiques et à la bonne circulation de l'information

Source : adapté de Dari et Paché (2015)

¹⁵⁶ Dari, L., & Paché, G. (2015). Acteurs tiers et stratégies collectives au sein des filières. Le cas du liège en Corse. *Économie rurale*, (349-350), 101-123. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4750>

Entretien avec Didier Laffaille sur un plan de structuration de la filière française

Entretien avec Didier Laffaille (Secrétaire Général du Comité de Prospective de la CRE) – mai 2020

- **Comment les associations comme Think Smartgrids peuvent-elles aider la filière française à s'exporter ?**

« Think Smartgrids a édité des règles de bonnes pratiques au sein de l'association. Cependant, dans ce type d'association, il y a des entreprises qui sont en concurrence. La volonté première de Think Smartgrids, c'est de vendre le savoir-faire français en matière de Smart grids à l'étranger et d'accompagner les acteurs en dehors du marché français. Mais dès que l'on veut aller sur un marché à l'export, les acteurs se retrouvent en concurrence. Par contre, ce n'est pas le cas des gestionnaires de réseaux qui eux ne sont pas en concurrence. Comment faire fonctionner l'association avec la présence d'acteurs en concurrence et des gestionnaires de réseaux francophones en monopole naturel ? Malheureusement, je m'aperçois que les acteurs de cette association sont là essentiellement pour prendre de l'information et en donnent très peu. Ceux qui diffusent des informations sont les gestionnaires de réseaux, car ils ne sont pas en concurrence, ils sont donc ouverts à accompagner les projets et à vendre leur savoir-faire.

Le code de bonne pratique qui a été mis en place devrait permettre d'accompagner l'ensemble de ces acteurs à l'export, mais ce n'est pas le cas. C'est le rôle de l'administration, comme c'est le cas dans d'autres domaines - l'aviation avec Airbus, le stockage avec les batteries, ... - de créer l'Airbus des réseaux intelligents pour regrouper sous l'étiquette « France » l'ensemble des acteurs pour les accompagner à l'export.

Il est également nécessaire de désigner un chef de file. Lorsque l'on voulait vendre des centrales nucléaires en Corée, il n'y avait pas de chef de file, ça n'a donc pas marché ! C'était certainement à l'État d'organiser cette exportation de savoir-faire, et de désigner un chef de file. Aujourd'hui, c'est peut-être ce qu'il manque au sein de Think Smartgrids : d'attribuer des chefs de file aux projets en fonction de paramètres, comme leur expertise et leur localisation par exemple. L'État français doit fixer les règles du jeu, il doit avoir son mot à dire. »

- **Votre recommandation est donc de coopérer pour exporter ?**

« Oui, il faudrait un chef de file entouré de plusieurs acteurs. Ce n'est pas parce qu'il y a un chef de file, que celui-ci doit être le même pour toutes les solutions ou tous les pays. Par exemple, pour un projet au Brésil, on peut désigner Schneider Electric qui très bien implanté dans ce pays, et pour un autre projet dans un autre pays, on pourra penser à un autre acteur qui est mieux implanté. Cela dépend beaucoup du savoir-faire. Dans tous les cas, il faut que quelqu'un soit en charge de désigner les chefs de file et les entreprises qui les accompagnent. Je ne suis pas sûr qu'une association comme Think Smartgrids puisse jouer ce rôle et prendre ces décisions. La DGEC pourrait jouer le rôle de décideur, avec l'appui de Think Smartgrids pour la constitution des consortiums grâce à sa connaissance des acteurs. Mais l'association n'a pas l'étiquette « administrative » en France. »

Quel degré de formalisation est optimal pour une coopération dans le but de s'exporter ?

« Airbus marche très bien : pourquoi ne ferait-on pas l'Airbus des Smart grids ? C'est en premier lieu une volonté politique. Selon moi, le modèle à mettre en place ne doit pas être rigide, il doit être à l'écoute du client, comprendre quels sont ses besoins et mettre en place ce qui correspond le mieux à ses enjeux et construire un modèle d'affaire qui s'insère dans son environnement.

L'avantage d'une solution flexible, c'est que les acteurs se connaissent, ont déjà fait du commerce ensemble, ont développé une forme de confiance mutuelle et que l'information circule mieux. Mais, si à chaque fois qu'il y a un nouveau projet on s'interroge sur qui doit participer, cela prendra beaucoup de temps de se mettre d'accord, d'échanger l'information, de monter le projet, etc. À mon avis, il faut qu'il y ait déjà une base d'acteurs qui acceptent de travailler ensemble, et que ce ne soit pas toujours les mêmes qui interviennent. »

3.2.2. Stratégie collective commerciale en soutien à l'exportation de la filière

Les grands groupes nationaux disposent, grâce à leurs ressources et à leurs réseaux, d'une grande force de frappe à l'échelle internationale, laissant souvent de côté les plus petites entreprises. Les plans nationaux de développement des startups et PME se multiplient et montrent de plus en plus leur efficacité, mais il est nécessaire de développer et de consolider les stratégies collectives commerciales à l'export pour que la filière dans son ensemble ait un plus grand impact sur les marchés internationaux.

Dans ce cadre, nous recommandons une stratégie collective commerciale à l'échelle de la filière, avec pour objectif de mettre en relation les acteurs pour mettre sur le marché des solutions communes et organiser la réponse française aux appels d'offre. Cela passe par deux principaux piliers :

1. La **mise en relation des acteurs** devra être pensée, afin de proposer des offres collectives. Dans le cadre de projets d'envergures, proposer des solutions complètes est un avantage considérable : l'objectif sera donc de proposer une offre globale, incluant à la fois une solution clé en main et le financement associé. Une meilleure coordination serait donc un atout commercial majeur à l'international, pour une force de frappe commerciale plus importante. Cette coordination devra être développée à la fois entre les fournisseurs de solutions pour développer une solution technologique clé en main, mais aussi avec les organismes de financement tels que Bpifrance.
2. Une **régulation des réponses aux appels d'offre** devra être engagée afin d'éviter la concurrence de plusieurs consortiums français à l'étranger et de concentrer les savoir-faire des acteurs français dans des consortiums alors plus efficaces. La désignation d'un tiers de confiance sera la clé pour une telle régulation : en plus de son rôle de veille des appels d'offre, il pourra par exemple désigner des chefs de file en fonction de ses ressources pour chaque constitution de consortium afin que chaque réponse à un appel d'offre soit optimale. Cet acteur tiers devra être objectif dans ses attributions ; cela limitera les luttes intestines au sein de la filière et lui permettra de valoriser le savoir-faire français.

Le principal risque serait que les acteurs majeurs du secteur, comme EDF ou ENGIE, refusent d'adhérer à cette stratégie collective en raison des contraintes commerciales que cela pourrait représenter. Ce refus limiterait considérablement l'efficacité de cette initiative. Toutefois, ENGIE et EDF ayant des implantations géographiques très différentes, ces deux leaders ne sont pas en concurrence sur la plupart des marchés internationaux : aussi pouvons-nous imaginer les voir adhérer tous deux à une telle stratégie collective agglomérée.

3.2.3. Programme de développement des synergies à l'échelle européenne

Si des accords binationaux existent déjà dans le domaine de l'IA appliquée à l'énergie, ils demeurent rares et éparés. Il est donc nécessaire d'accentuer les efforts européens dans la constitution de partenariats de recherche et de développement au-delà des frontières, afin de saisir les opportunités d'économies d'échelle permise par l'association d'acteurs travaillant sur le même type de projets. A cet effet, un programme de développement des synergies à l'échelle européenne destiné à l'ensemble des acteurs de la filière de l'IA appliquée à l'énergie doit être mis en place et piloté par une nouvelle instance européenne ; il se compose de six axes :

1. Une **mise en commun des ressources et budgets disponibles** pour les activités de recherche au-delà des frontières ainsi qu'un accompagnement centralisé aux projets dans leur durée devront être effectuées, afin de gagner en efficacité ;

2. Un **plan de sensibilisation des acteurs** devra être engagé afin de transmettre à l'ensemble de l'écosystème les possibilités qu'offre un tel programme de synergies ;
3. Une **base de données** devra être mise en place pour permettre la cartographie digitale des acteurs, de leurs projets et de leurs ressources ; les acteurs, idéalement les fédérations d'acteurs, devront être encouragés à la mettre à jour sur une base régulière ;
4. Des **programmes de travail** ou des appels à projets devront être organisés afin de faciliter les rencontres des acteurs, le partage des objectifs et des savoir-faire de chacun, et ainsi d'engager des négociations en vue de s'associer dans des projets communs ;
5. Des **instances spécialisées dans la protection de la propriété intellectuelle** devront être mises à disposition afin de faciliter les accords de partenariats, surtout lorsque ceux-ci engagent des acteurs ne disposant pas d'organe juridique en leur sein ;
6. Les partenariats pourront faire l'objet de **subventions particulières**, par exemple s'ils font suite à un appel à projets organisé par le Programme.

3.2.4. Plan de soutien au transfert technologique

La recherche en IA en France est une force qui n'est pas exploitée au maximum de son potentiel. Pour cette raison, Bpifrance a lancé en 2012 un plan incluant la création de SATT (Société d'Accélération du Transfert de Technologies). Le transfert technologique fait donc l'objet de nombreux plans stratégiques et se développe ainsi de plus en plus, mais l'effort fourni doit être soutenu afin d'accélérer davantage ce transfert qui permet aux acteurs du secteur d'appliquer des solutions issues de la recherche à leur cœur de métier. Notre conviction est que ces initiatives peuvent être encore plus efficaces si elles sont accompagnées par les acteurs privés, et notamment les grands groupes nationaux. Notre recommandation est donc d'accélérer le transfert technologique à travers quatre piliers :

1. Une meilleure **communication sur les SATT** devra être menée, en mobilisant et sensibilisant les différents acteurs de l'innovation ;
2. Une meilleure **intégration des SATT** devra être envisagée : grâce à leurs relations avec les structures de recherche et leurs connaissances des porteurs de projets, elles pourront notamment venir en soutien du tiers de confiance de la filière à travers l'animation de groupes de travail pour réfléchir à des cas d'usage terrain de solutions IA, et la mise en relation des porteurs de projet avec des acteurs de la recherche, qui peut par exemple passer par des appels à projets ;
3. Une meilleure **intégration des pôles universitaires** dans les stratégies collectives devra être réfléchi, à travers une plus grande participation aux groupes de travail, au soutien à la réflexion d'appels à projets ou de cas d'usage de la filière ;
4. Des **plateformes d'innovation ouverte** devront être créées, suivant l'exemple de l'initiative type Smart Networks : cette plateforme permettra la mise en réseau des différents acteurs dont les experts, les professionnels et les particuliers, qui pourront ainsi échanger leurs idées et enrichir leurs projets.

3.2.5. Campagne de familiarisation et de formation à l'IA

Les freins institutionnels et sociaux au développement de l'IA et leurs impacts mettent en évidence la nécessité de faire évoluer les mentalités sur cette technologie émergente. L'objectif est de changer l'état d'esprit de défiance à l'égard de l'Intelligence Artificielle, qui est accentué par le caractère sensible des données utilisées. Cela peut passer par la valorisation des impacts et usages de l'IA ainsi que par la formalisation d'une nouvelle éthique de l'IA et des données. Nous recommandons 3 axes pour cette campagne :

1. Une **campagne de sensibilisation du grand public** à l'Intelligence Artificielle doit être menée, en mettant en relation le fort potentiel de cette technologie émergente aux enjeux actuels de notre société, y compris celui de la transition énergétique ;
2. L'effort de **formation du grand public** en matière d'IA doit être poursuivi, garantissant l'accès à une initiation à l'IA, et ce à titre gratuit, à l'image du MOOC « IA pour tous » délivré par le Cnam et des ateliers organisés par le collectif *Impact AI* ;
3. Une **charte éthique de l'IA** spécifique au secteur de l'énergie pourra être rédigée, à l'image de la « *Charte éthique européenne d'utilisation de l'intelligence artificielle dans les systèmes judiciaires et leur environnement* »¹⁵⁷ afin d'assurer le respect des droits des citoyens au regard de l'utilisation de l'IA et ainsi rassurer le grand public.

3.2.6. Construction d'un modèle européen des GAFAM

Solliciter l'écosystème de l'Intelligence Artificielle paraît nécessaire pour les énergéticiens souhaitant développer des solutions d'IA appliquée à l'énergie en ce que cela permet des gains de temps et de ressources considérables par rapport à un développement en interne, les technologies émergentes n'étant pas le cœur de métier des acteurs de l'énergie. L'enjeu pour les énergéticiens est toutefois de limiter les risques et les impacts de ces nouveaux partenariats technologiques, afin de garantir leur souveraineté numérique et celle de leurs clients.

Cela semble assez compromis dans le cadre de partenariats avec des acteurs comme les GAFAM, qui répondent au droit des États-Unis, et peuvent ainsi collecter et exploiter les données françaises et européennes en s'affranchissant des réglementations locales ; c'est pourquoi nous recommandons la construction d'un « modèle européen des GAFAM » qui pourrait s'appuyer sur le modèle de succès d'Airbus. Cette structure devra répondre à plusieurs exigences :

1. **Plusieurs leaders européens** du secteur des technologies devront s'associer pour donner naissance à ce modèle, à travers le partage de leurs données et de leur maîtrise technologique. Il pourra par exemple s'agir des leaders français Orange, Thales, Atos et Capgemini (OTAC) qui pourront apporter leurs expertises en Services Informatiques, Intelligence Artificielle, quantique, 5G, cloud et cybersécurité.
2. Les **facteurs clés de succès** d'une telle construction de leader européen devront être étudiés. Par exemple, les facteurs clés de succès de la création du Groupe EADS en 2000 ainsi que les facteurs d'échec du premier projet avorté de création d'un leader aéronautique européen présenté en 1997 pour EADC (European Aerospace and Defence Company) pourront être analysés. La stratégie russe de construction d'un écosystème national du numérique protégeant la Russie des GAFAM et des BATX pourra également servir de modèle ;

¹⁵⁷ Commission Européenne Pour l'Efficacité de la Justice (CEPEJ) . (2018, décembre). *Charte éthique européenne d'utilisation de l'intelligence artificielle dans les systèmes judiciaires et leur environnement* . Consulté à l'adresse <https://rm.coe.int/charte-ethique-fr-pour-publication-4-decembre-2018/16808f699b>

3. Une **structure de collecte et de traitement massifs de données** (data center) devra être mise en place afin d'être en mesure de développer des solutions numériques et d'IA les plus performantes possibles et d'ainsi concurrencer les GAFAM à l'échelle européenne voire internationale ;
4. L'association d'acteurs pourra avoir le **statut de Société Européenne (SE)**, à l'image d'Airbus, ce qui permettra de réduire les coûts administratifs et d'éviter les contraintes juridiques nationales ;
5. **Le modèle européen d'une IA fiable et éthique** devra être respecté et mis en avant afin de garantir une qualité de services et un rayonnement stratégique à l'échelle européenne et internationale ;
6. Un **plan de développement** devra soutenir ce modèle, incluant des financements conséquents ainsi que la mise à disposition des ressources nécessaires, l'objectif étant de rattraper le retard de l'Europe et de ses acteurs sur les leaders mondiaux du numérique. Ce plan devra être conçu dans le respect du droit à la concurrence et des clauses d'accords commerciaux internationaux.
7. Les partenariats réalisés par la suite devront répondre à des **clauses strictes sur la gestion et l'utilisation des données**, notamment avec des acteurs du secteur de l'énergie. Ces clauses pourront être appuyés par une réglementation protectrice européenne afin de garantir la pérennité de ce type de partenariats.

BILAN CRITIQUE

Cette étude portant sur un sujet vaste et complexe mériterait d'être approfondie sur un certain nombre de points.

Tout d'abord, les leaders de l'énergie comme Total, Vinci ou Veolia, bien qu'abordés, ne sont que partiellement analysés au cours de notre étude. Afin de répondre à notre première question de recherche concernant l'organisation et l'évolution de l'écosystème d'acteurs, il aurait également été opportun de dresser une cartographie la plus exhaustive possible des acteurs et des stratégies collectives, mais ceux-ci étant relativement nombreux, cela pourrait constituer une étude à part entière.

Une seconde limite du travail réalisé concerne les relations d'acteurs entre la France et l'Europe, qui ne sont que brièvement étudiées. Il serait opportun d'analyser les relations existantes des acteurs de l'IA en énergie à cette échelle, qu'il s'agisse de partenariats à l'échelle de pays, d'associations, d'entreprises ou de laboratoires, afin d'en extraire les modèles de réussite ainsi que les soutiens à prévoir. De la même manière, il serait optimal de dresser une cartographie « dynamique » de ces relations, afin de mutualiser les ressources engagées et de capitaliser sur les succès de ces stratégies.

Le sujet de la réglementation des données est un sujet sensible et maîtrisé à l'échelle de l'Union Européenne et sur lequel les acteurs français n'ont que peu de marge de manœuvre, qu'il s'agisse des acteurs privés, des associations ou des instances publiques. La limitation du partage des données par la législation européenne constitue une contrainte considérable pour le développement de l'Intelligence Artificielle sur le territoire et un désavantage face aux GAFAM qui bénéficient d'une législation plus souple, si ce n'est inexistante à ce sujet. Cette problématique appelle donc à une réflexion approfondie.

Nous avons choisi de limiter notre évaluation et nos recommandations à 6 axes identifiés grâce à notre étude que nous avons jugés prioritaires. Si des recommandations complémentaires peuvent être faites pour accompagner la filière dans le développement de l'IA et dans son exportation, certaines ont déjà fait l'objet de rapports ou de stratégies plus exhaustives, à l'image du rapport rédigé par Cédric Villani adressé au gouvernement. D'autre part, chacune de nos recommandations pourraient faire l'objet d'études approfondies, afin de désigner plus précisément les acteurs compétents, l'organisation et le pilotage de ces chantiers. A titre d'exemple, la construction d'un modèle européen des GAFAM fait l'objet de nombreux vœux émis par les États européens, et ce dès l'émergence du numérique dans les années 2000.

Des études futures pourront ainsi être menées afin d'approfondir ces différents sujets.

CONCLUSION ET OUVERTURE

L'IA représente un facteur de compétitivité indéniable pour la filière énergétique française et peut répondre aux grands enjeux de libéralisation, de transition énergétique, et de naissance du consommateur. Dans l'objectif de développer ce facteur de compétitivité et de faire face aux nouveaux entrants à l'échelle nationale et internationale, les acteurs français ont tout intérêt à recourir aux stratégies collectives et à mutualiser leurs ressources. Toute la question est de savoir *comment* ces stratégies collectives peuvent permettre de renforcer la compétitivité de la filière française de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie.

L'écosystème français du marché de l'IA appliquée à l'énergie apparaît très dynamique ; à la fois tiré par les leaders historiques du secteur, et dynamisé par l'entrée de nouveaux acteurs et par l'émergence de nouveaux partenariats et associations d'acteurs. Ces stratégies collectives ont pour objectif direct ou indirect d'accroître la compétitivité de la filière à l'international face aux bouleversements majeurs de l'écosystème. Toutefois, la diversité et le nombre de stratégies collectives imposent une meilleure organisation des différentes initiatives afin d'en maximiser l'efficacité.

L'analyse de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie nous a permis de mettre en exergue ses forces et faiblesses, ainsi que les opportunités et menaces inhérentes au marché international. En premier lieu, la filière possède de nombreux atouts lui permettant de se hisser parmi les leaders en IA pour l'énergie. On peut notamment citer le puissant écosystème d'acteurs de l'IA appliquée à l'énergie, tiré par des leaders et des acteurs de l'innovation, le fort soutien de l'État, à travers ses stratégies nationales et un soutien à l'innovation et à l'exportation, et finalement de fortes compétences en termes de formation et de recherche. Toutefois, afin d'être à la hauteur de l'ambition de figurer parmi les leaders mondiaux de l'IA en énergie, la filière doit être soutenue afin de remédier aux difficultés d'accès à des données exploitables, au manque de transfert technologique et au manque de coordination à l'échelle française et européenne.

La filière doit également être soutenue afin d'appréhender les menaces engendrées par l'évolution du marché, à savoir l'intensification de la concurrence et le risque de dépendance technologique lié à la nécessaire formation de partenariats avec les géants du numérique. Elle doit également être soutenue dans son effort de saisir les opportunités qui s'offrent à elle, en particulier les perspectives de coopération intra-européenne et l'émergence de nouveaux marchés à l'international.

Grâce à l'analyse des concurrents internationaux et trois études de cas de leaders, notre travail de recherche nous a permis de comprendre comment les stratégies collectives peuvent aider une filière à faire face à ces défis et de déterminer des facteurs clés de succès et atouts nécessaires au développement de sa compétitivité. Il s'agit en particulier de constituer un écosystème d'acteurs puissant, de déployer des stratégies nationales d'envergure ainsi que développer les ressources nécessaires à l'IA, à savoir les données et infrastructures de traitement, la formation et l'attraction des talents.

Notre analyse complémentaire de l'Allemagne, du Japon et du Royaume-Uni, qui ont des moyens et problématiques similaires à la France a permis d'identifier des solutions applicables à la filière française, exploitées comme source d'inspiration de nos recommandations. Par exemple, la plateforme allemande de collaboration ouverte Smart Networks, qui fédère la communauté des smart grids et détecte les opportunités de l'IA dans le domaine des smart grids, peut servir de modèle pour encourager les synergies dans la filière française et promouvoir le transfert technologique. L'exportation des entreprises japonaises en stratégies collectives, soutenue par le NEDO japonais (Nouvelle Organisation de Développement des Technologies Énergétiques et Industrielles), donne également un exemple de construction d'alliances nationales pour des projets d'envergure à travers le monde. Enfin, l'étude du Royaume-Uni montre que la constitution d'un vivier de startups s'avère être un véritable atout pour favoriser des partenariats technologiques avec les énergéticiens nationaux en quête d'innovation.

Notre analyse de la filière nous a conduites à tirer 6 grandes recommandations pour renforcer la compétitivité de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie, à savoir :

1. Un plan de structuration de la filière française ;
2. Une stratégie collective commerciale en soutien à l'exportation de la filière ;
3. Un programme de développement des synergies à l'échelle européenne ;
4. Un plan de soutien au transfert technologique et aux SATT ;
5. Une campagne de familiarisation et de formation à l'IA ;
6. La construction d'un modèle européen des GAFAM.

Nous sommes convaincues que ces modèles de stratégies collectives sont des facteurs de compétitivité de la filière française de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie.

Des analyses futures pourront permettre de compléter et approfondir nos recommandations. Il s'agira en premier lieu d'élargir le champ des recommandations, en se focalisant sur d'autres aspects que les six axes de réflexion que nous avons sélectionnés. En second lieu, il s'agira d'approfondir les modalités de déploiement des six propositions, avec par exemple la proposition de nomination de l'acteur tiers, l'organisation d'une concertation entre les acteurs de la filière, la réalisation d'une étude d'impact pour confirmer les opportunités d'une telle stratégie, et le cadrage de la structuration de la filière (cahier des charges et pilotage).

INDEX

REMERCIEMENTS	1
RÉSUMÉ EXÉCUTIF	2
TABLE DES MATIÈRES	3
INTRODUCTION	4
1. REVUE DE LITTÉRATURE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE ET DES STRATÉGIES COLLECTIVES	5
1.1. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE	6
1.1.1. LES ENJEUX DU SECTEUR DE L'ENERGIE	6
1.1.1.1. <i>Libéralisation des marchés de l'énergie</i>	6
1.1.1.2. <i>Transition énergétique</i>	7
1.1.1.3. <i>Naissance du consomm'acteur</i>	8
1.1.2. L'IA COMME REPOSE AUX ENJEUX DU SECTEUR DE L'ENERGIE	9
1.1.2.1. <i>Définition de l'Intelligence Artificielle</i>	9
1.1.2.2. <i>Cas d'usage de l'Intelligence Artificielle dans l'énergie</i>	10
Exploration, production et négoce	11
Cas d'application	11
Stade d'évolution	13
Stratégie de déploiement.....	13
Transport et distribution.....	13
Cas d'application	13
Stade d'évolution	14
Stratégie de déploiement.....	14
Marketing et relation client	15
Cas d'application	15
Stade d'évolution	16
Stratégie de déploiement.....	16
Fourniture et services	16
Cas d'application	16
Stade d'évolution	17
Stratégie de déploiement.....	17
1.1.3. DEFINITION DU MARCHE DE L'IA DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE.....	17
1.1.3.1. <i>Définition de la filière de l'IA dans le secteur de l'énergie</i>	17
1.1.3.2. <i>L'IA appliquée à l'énergie, une filière relativement en avance en France</i>	18
1.1.3.3. <i>Les contraintes de développement de l'IA dans le secteur de l'énergie</i>	19
1.1.3.4. <i>Un secteur encore inégalement mature</i>	20
1.2. STRATEGIES COLLECTIVES DANS LE SECTEUR DE L'IA APPLIQUEE A L'ENERGIE 23	
1.2.1. REVUE DE LITTERATURE DES STRATEGIES COLLECTIVES.....	23
1.2.1.1. <i>Naissance du concept de stratégie collective</i>	23
1.2.1.2. <i>Stratégies de coopération</i>	24
Revue de littérature de la coopération.....	24
Intérêt de la coopération.....	24
1.2.1.3. <i>Stratégies collectives agglomérées</i>	25
1.2.2. PERTINENCE DES STRATEGIES COLLECTIVES DANS LE SECTEUR DE L'IA APPLIQUEE A L'ENERGIE	25
1.2.2.1. <i>Les stratégies collectives justifiées par un besoin commun d'innover</i>	25
1.2.2.2. <i>Le marché de l'IA appliquée à l'énergie favorable à l'émergence de stratégies collectives</i>	26
Un marché peu mature	26
Un marché marqué par le rôle de l'État	26
1.2.2.3. <i>La pertinence des stratégies collectives agglomérées pour le secteur de l'IA appliquée à l'énergie</i> 27	
Un secteur encore peu stable qui favorise le regroupement	27
La pertinence de la création d'un écosystème leader en IA	27
1.3. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE	28
1.3.1. PROBLEMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE.....	28
1.3.2. METHODOLOGIE DE RECHERCHE	28

2.	ANALYSE DES STRATÉGIES COLLECTIVES DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE.....	31
2.1.	L'ECOSYSTEME FRANÇAIS DU MARCHÉ DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE.....	32
2.1.1.	ACTEURS HISTORIQUES DU MARCHÉ FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE	33
2.1.1.1.	<i>EDF</i>	33
	Activité du groupe.....	33
	Stratégie CAP 2030.....	34
2.1.1.2.	<i>ENGIE</i>	35
	Activité du groupe.....	35
	Stratégie 2019 – 2021	36
2.1.2.	NOUVEAUX ENTRANTS PAR L'IA.....	37
2.1.2.1.	<i>Les géants du numérique</i>	37
2.1.2.2.	<i>Les startups</i>	38
2.1.2.3.	<i>Les équipementiers</i>	38
2.1.3.	STRATÉGIES COLLECTIVES MISES EN ŒUVRE.....	38
2.1.3.1.	<i>Partenariats d'innovation et commerciaux</i>	39
	Partenariats d'innovation entre acteurs du digital et de l'énergie.....	39
	Partenariats des énergéticiens	40
	Partenariats des équipementiers	40
	Partenariats des acteurs du numérique	41
	Partenariats d'innovation entre géants intersectoriels	41
	Partenariats commerciaux entre acteurs du digital et de l'énergie	41
2.1.3.2.	<i>Joint-ventures</i>	42
2.1.3.3.	<i>Stratégies collectives agglomérées</i>	42
	Contrats Stratégiques de Filières.....	43
	Pôles de compétitivité et clusters	43
	Associations et fédérations.....	43
2.2.	ANALYSE STRATÉGIQUE DE LA FILIÈRE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE.....	45
2.2.1.	UN PUISSANT ECOSYSTEME D'ACTEURS SOUTENU PAR UN ÉTAT ENGAGÉ.....	45
2.2.1.1.	<i>Un écosystème d'acteurs puissant</i>	45
	Des leaders qui tirent la filière dans la recherche et l'exportation.....	45
	Un écosystème spécialisé en IA	46
2.2.1.2.	<i>L'État en soutien à l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie</i>	46
	La stratégie nationale « AI for Humanity ».....	46
	Le soutien à l'innovation.....	47
	La valorisation du savoir-faire français dans le monde.....	47
2.2.1.3.	<i>L'excellence académique en soutien à la recherche française</i>	48
2.2.2.	UN MANQUE DE RESSOURCES ET UN DEPLOIEMENT INÉGAL QUI FREINENT LA FILIÈRE	48
2.2.2.1.	<i>Un certain conservatisme qui freine l'innovation</i>	48
2.2.2.2.	<i>Un déploiement inégal entre les acteurs de la filière</i>	49
2.2.2.3.	<i>Un accès limité aux données</i>	50
2.2.2.4.	<i>Une fuite des cerveaux nationaux</i>	50
2.2.2.5.	<i>Des difficultés à passer de la recherche à l'innovation</i>	51
2.2.2.6.	<i>Un manque de coordination à l'échelle européenne</i>	51
	Des coordinations bilatérales limitées	51
	Un manque d'ambition de la part de l'Union Européenne	52
2.2.3.	DES OPPORTUNITÉS LIÉES À LA COOPÉRATION EUROPÉENNE ET AUX MARCHÉS ÉMERGENTS	52
2.2.3.1.	<i>Un fort potentiel de croissance des marchés internationaux de l'IA appliquée à l'énergie</i>	52
2.2.3.2.	<i>Des infrastructures de calcul qui offrent un potentiel de développement de l'IA</i>	52
2.2.3.3.	<i>L'Europe, une opportunité pour la filière française de construire de nouvelles stratégies collectives</i> 53	
	Un fort potentiel de création de valeur en Europe.....	53
	Un potentiel qui s'explique en partie par la diversité des compétences des pays européens.....	53
2.2.3.4.	<i>Une prise de conscience et un changement des mentalités en faveur de l'IA</i>	54
2.2.4.	UNE MENACE SUSCITÉE PAR UNE CONCURRENCE ACCRUE ET DES BARRIÈRES NORMATIVES	54
2.2.4.1.	<i>Une concurrence accrue sur le marché</i>	54
	De nouveaux entrants sur le marché international de l'IA en énergie.....	54
	De nombreux marchés peu ouverts à la concurrence	55
	Une forte concurrence des plans nationaux.....	55
2.2.4.2.	<i>Des normes européennes strictes en matière de données et de concurrence</i>	55
	Des normes strictes en matière de protection des données.....	55

Un droit à la concurrence fort qui peut freiner des initiatives de stratégies collectives.....	56
2.2.4.3. <i>La dépendance envers des pays et leaders étrangers maîtrisant les technologies nécessaires au développement de l'IA.....</i>	56
2.3. CONCURRENTS ET STRATEGIES COLLECTIVES INTERNATIONALES.....	58
2.3.1. CONCURRENTS INTERNATIONAUX ET STRATEGIES COLLECTIVES.....	58
2.3.1.1. <i>Les stratégies nationales et efforts de recherche comme soutien à la course en IA.....</i>	58
Stratégies nationales pour l'IA.....	58
Efforts de recherche et innovation.....	60
2.3.1.2. <i>Les leaders nationaux comme vecteur de compétitivité.....</i>	60
L'exemple de la State Grid Corporation of China (SGCC).....	61
Développement des réseaux intelligents par la planification.....	61
Développement à l'international.....	61
2.3.1.3. <i>Les atouts et écosystèmes des trois leaders du secteur de l'IA en énergie.....</i>	62
Trois leaders aux profils très différents.....	62
Les États-Unis, acteur historiquement présent sur l'Intelligence Artificielle.....	62
La Chine, acteur plus récent à très forte croissance en IA appliquée à l'énergie.....	62
L'Union Européenne, une puissance industrielle de l'énergie tentant un rattrapage en IA.....	62
Des écosystèmes d'acteurs puissants.....	63
Des leaders nationaux.....	63
Des startups spécialisées.....	63
Des stratégies collectives ambitieuses.....	64
Une propension à collaborer avec d'autres acteurs pour se développer.....	64
Des stratégies nationales d'envergure.....	64
Des stratégies d'envergure planifiées sur le long terme.....	64
Des plans de financement massifs.....	64
Des structures de coordination formalisées.....	65
Des barrières à l'entrée pour protéger et développer les acteurs locaux.....	65
Des ressources nécessaires au développement de l'IA en énergie.....	65
Données et infrastructures.....	65
Formation et attraction des talents.....	66
2.3.2. ANALYSE STRATEGIQUE DE TROIS LEADERS.....	67
2.3.2.1. <i>L'Allemagne, un leader mondial des énergies renouvelables.....</i>	67
Politique énergétique.....	67
L'IA pour accélérer le potentiel de l'éolien.....	68
Zoom sur un acteur majeur : E.ON et l'IA.....	69
Le partenariat de maison intelligente avec Microsoft.....	69
Les partenariats avec les startups et l'accélérateur « agile » E.ON.....	69
Le centre de recherche énergétique E.ON.....	69
Le code de conduite Oxford-Munich.....	70
Les initiatives d'État pour consolider les connaissances en IA.....	70
Des énergéticiens attentifs à l'IA mais majoritairement peu informés.....	70
Le projet EnerKI.....	70
Le plan national pour l'IA et l'initiative Smart Networks.....	71
2.3.2.2. <i>Le Japon, un leader mondial de l'innovation s'appuyant sur les synergies nationales.....</i>	71
Politique énergétique.....	71
Apport de l'IA pour l'énergie géothermique.....	72
Les stratégies collectives d'innovation soutenues par le NEDO.....	73
L'importance des stratégies collectives pour le développement des smart grids et smart communities.....	73
Les initiatives d'État en matière d'Intelligence Artificielle et de stratégie collective.....	75
2.3.2.3. <i>Le Royaume-Uni, terre d'accueil des startups en Europe.....</i>	75
Politique énergétique.....	75
Appel à la création d'un Centre international pour l'IA, l'énergie et le climat.....	76
La stratégie nationale.....	77
Partenariat de National Grid avec l'Institut Alan Turing pour développer l'IA.....	77
Stratégie d'acquisition de startups de National Grid.....	78
Vers une stratégie collective internationale entre services publics.....	78
3. ÉVALUATION ET RECOMMANDATIONS POUR LA FILIÈRE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUÉE À L'ÉNERGIE.....	80
3.1. ÉVALUATION DE LA FILIERE FRANÇAISE DE L'IA APPLIQUEE A L'ENERGIE.....	81
3.2. RECOMMANDATIONS.....	83
3.2.1. PLAN DE STRUCTURATION DE LA FILIERE FRANÇAISE.....	83
3.2.2. STRATEGIE COLLECTIVE COMMERCIALE EN SOUTIEN A L'EXPORTATION DE LA FILIERE.....	86

3.2.3.	PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES SYNERGIES A L'ECHELLE EUROPEENNE	86
3.2.4.	PLAN DE SOUTIEN AU TRANSFERT TECHNOLOGIQUE.....	87
3.2.5.	CAMPAGNE DE FAMILIARISATION ET DE FORMATION A L'IA	88
3.2.6.	CONSTRUCTION D'UN MODELE EUROPEEN DES GAFAM.....	88
BILAN CRITIQUE		90
CONCLUSION ET OUVERTURE		91
INDEX		93
INDEX DES ILLUSTRATIONS.....		97
RÉFÉRENCES		98

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - La démarche négaWatt.....	7
Figure 2 - Le compteur communicant Linky de ENEDIS	9
Figure 3 - Entretien avec Nicolas Bonnerot sur l'IA chez d'RTE	10
Figure 4 - Cas d'usage de l'IA sur la chaîne de valeur de l'énergie	11
Figure 5 - Chaîne de valeur de l'énergie : focus sur exploration, production et négoce.....	11
Figure 6 - SMAP de InUse.....	12
Figure 7 - Agregio de EDF	12
Figure 8 - Chaîne de valeur de l'énergie : focus sur transport et distribution.....	13
Figure 9 - Apogée de RTE	14
Figure 10 - SMILE.....	14
Figure 11 - Chaîne de valeur de l'énergie : focus sur marketing & relation client.....	15
Figure 12 - Direct Energie et Nuance	15
Figure 13 - Chaîne de valeur de l'énergie : focus sur fourniture & services	16
Figure 14 - Dalkia et MÉTRON	16
Figure 15 - Les acteurs de l'IA appliquée à l'énergie.....	18
Figure 16 - Le Smart Operation et les pays émergents	19
Figure 17 - Les quatre types d'Intelligence Artificielle	21
Figure 18 - Matrice de caractérisation du déploiement des cas d'usage de l'IA dans l'énergie	22
Figure 19 - Liste des entretiens semi-directifs réalisés	29
Figure 20 - Le marché de l'Intelligence Artificielle appliquée à l'énergie	32
Figure 21 - Production nette d'électricité en France.....	33
Figure 22 - Production nette d'électricité de EDF	34
Figure 23 - Les trois leviers de développement de l'IA chez EDF	35
Figure 24 - Production nette d'électricité de ENGIE.....	36
Figure 25 - Stratégies collectives dans le secteur de l'IA appliquée à l'énergie.....	39
Figure 26 - Think Smartgrids.....	44
Figure 27 - Spécificités et enjeux de la filière française de l'IA appliquée à l'énergie	45
Figure 28 - Les six axes de la stratégie nationale « AI for Humanity ».....	47
Figure 29 - Entretien avec Didier Laffaille sur les acteurs de l'innovation	50
Figure 30 - Pays ayant adopté une stratégie nationale en matière d'IA en 2019	58
Figure 31 - Etats-Unis – Chine : les stratégies des leaders en IA	59
Figure 32 - Nombre de brevets déposés en IA dans le monde.....	60
Figure 33 - Top 5 des pays comptant le plus de startups dans l'IA en 2018.....	63
Figure 34 - Production nette d'électricité en Allemagne	68
Figure 35 - Production nette d'électricité au Japon	72
Figure 36 - La stratégie collective binationale autour du projet « Lyon Smart Community »	74
Figure 37 - Production nette d'électricité au Royaume-Uni	76
Figure 38 - Tableau synoptique de nos grandes observations 1 et 2.....	81
Figure 39 - Tableau synoptique de nos grandes observations 3 et 4.....	82
Figure 40 - Tableau synoptique de nos grandes observations 5 et 6.....	82
Figure 41 - Six recommandations pour la filière de l'IA appliquée à l'énergie.....	83
Figure 42 - Les quatre rôles du tiers de confiance	84
Figure 43 - Entretien avec Didier Laffaille sur un plan de structuration de la filière française	85

RÉFÉRENCES

Agregio. (s. d.). Agregio, agrégateur du Groupe EDF. Consulté à l'adresse <http://www.agregio-edf.com>

Assystem. (2019, 7 octobre). Assystem signe un accord avec le Ministère de l'Énergie de la République d'Ouzbékistan. Consulté à l'adresse <https://www.assystem.com/fr/communiquede-presse/assystem-signe-un-accord-avec-le-ministere-de-lenergie-de-la-republique-douzbekistan/>

Astley, W. G., & Fombrun, C. J. (1983). Collective Strategy : Social Ecology of Organizational Environments. *Academy of Management Review*, 8(4), 576-587. <https://doi.org/10.5465/amr.1983.4284657>

BearingPoint. (2020b, mars 9). La Chine en voie de maîtriser le réseau électrique mondial ? *BearingPoint France*. Consulté à l'adresse <https://www.bearingpoint.com>

Bengtsson, M., & Kock, S. (1999). Cooperation and competition in relationships between competitors in business networks. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 14(3), 178-190. Consulté à l'adresse <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/08858629910272184/full/html>

Berthier, T. (2019, 26 novembre). La stratégie russe de développement de l'intelligence artificielle. *The Conversation*. Consulté à l'adresse <https://theconversation.com>

Bpifrance. (2019a, juillet). Cartographie des startups IA en France. Consulté à l'adresse <https://fr.slideshare.net/Bpifrance/20190717-bpifrance-cartographie-ia>

Bpifrance. (2019b, septembre). Bpifrance et Nedo lancent un appel à projets ! Consulté à l'adresse <https://www.bpifrance.fr/A-la-une/Appels-a-projets-concours/Bpifrance-et-Nedo-lancent-un-appel-a-projets-!-32674>

Brandenburger, A. M., & Nalebuff, B. J. (1996). *Co-opetition*. New York, USA : Currency Doubleday.

Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. (2020). Artificial intelligence. Consulté à l'adresse <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Technology/artificial-intelligence.html>

Bundesregierung (Gouvernement fédéral allemand). (2018, 15 novembre). L'IA, marque de fabrique de l'Allemagne. Consulté à l'adresse <https://www.bundesregierung.de/breg-fr/dossier/l-ia-marque-de-fabrique-de-l-allemande-1551492>

Capgemini. (2019, mai). *Intelligent Automation in Energy and Utilities - The next digital wave*. Consulté à l'adresse <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/05/Digital-Report---Automation-in-Utilities-1.pdf>

Capital.fr. (2014, 11 août). Le chinois State Grid tisse sa toile autour de la Méditerranée. *Capital.fr*. Consulté à l'adresse <https://www.capital.fr>

Capital.fr. (2017, 28 août). EDF n'est plus le n°1 mondial de l'électricité ! Consulté à l'adresse <https://www.capital.fr/entreprises-marches/guodian-et-shenhua-creent-le-ndeg1-mondial-de-l-electricite-1241221>

Carbon Brief. (2019, 18 octobre). Analysis : UK renewables generate more electricity than fossil fuels for first time. Consulté à l'adresse <https://www.carbonbrief.org/analysis-uk-renewables-generate-more-electricity-than-fossil-fuels-for-first-time>

- CCI France Japon. (2019, juillet). *Le marché de l'intelligence artificielle au Japon*. Consulté à l'adresse https://www.ccifrance-international.org/fileadmin/cru-1590645636/portail/user_upload/Note_sectorielle_IA_japon.pdf
- Chesbrough, H. W. (2003). *Open Innovation : The New Imperative for Creating and Profiting from Technology* (First Trade Paper éd.). Boston, United States of America : Harvard Business Review Press.
- CNRS. (2020, 23 janvier). Supercalculateur Jean Zay : les défis de la co-construction. Consulté à l'adresse <http://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/supercalculateur-jean-zay-les-defis-de-la-co-construction>
- Commissariat général au développement durable . (2018, avril). *Modes de vie et pratiques environnementales des Français*. Consulté à l'adresse <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Modes%20de%20vie%20et%20pratiques%20environnementales%20des%20Fran%C3%A7ais.pdf>
- Commission Européenne. (2017, 16 février). Paquet sur le climat et l'énergie à l'horizon 2020. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_fr
- Commission Européenne. (2020, février). *Intelligence Artificielle : Une approche européenne axée sur l'excellence et la confiance*. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_fr.pdf
- Commission Européenne Pour l'Efficacité de la Justice (CEPEJ) . (2018, décembre). *Charte éthique européenne d'utilisation de l'intelligence artificielle dans les systèmes judiciaires et leur environnement* . Consulté à l'adresse <https://rm.coe.int/charte-ethique-fr-pour-publication-4-decembre-2018/16808f699b>
- Connaissance des énergies. (2015, 14 avril). Réseau intelligent (Smart Grid). Consulté à l'adresse <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reseau-intelligent-smart-grid>
- Connaissance des énergies. (2019, 7 janvier). Allemagne : un mix électrique « plus renouvelable que charbonneux » en 2018. Consulté à l'adresse <https://www.connaissancedesenergies.org/allemande-un-mix-electrique-plus-renouvelable-que-charbonne-en-2018-190107>
- Cusin, J., Loubaresse, E., & Charreire Petit, S. (2014). Analyse d'une dynamique de coopération conflictuelle. *Revue internationale P.M.E.*, 26(2), 103-125. Consulté à l'adresse <http://id.erudit.org.ezp.em-lyon.com/iderudit/1024323ar>
- Czakon, W., Srivastava, M. K., Le Roy, F., & Gnyawali, D. (2020a). Coopetition strategies : Critical issues and research directions. *Long Range Planning*, 53(1), 101948. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101948>
- Dagnino, G. B., Leroy, F., & Yami, S. (2007). La dynamique des stratégies de coopération. *Revue française de gestion*, 33(176), 87-98. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2007-7-page-87.htm>
- Dalkia. (s. d.). Dalkia et METRON signent un partenariat pour une offre numérique afin d'accélérer la transition énergétique des industriels | Dalkia. Consulté à l'adresse <https://www.dalkia.fr/fr/espace-presse/communiquede-presse/dalkia-analytics-metron>
- Dari, L., & Paché, G. (2015). Acteurs tiers et stratégies collectives au sein des filières. Le cas du liège en Corse. *Économie rurale*, (349-350), 101-123. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4750>

Davesne, S. (2019, 9 février). Pourquoi la Commission européenne refuse la fusion Alstom-Siemens. Consulté à l'adresse <https://www.usinenouvelle.com/editorial/pourquoi-la-commission-europeenne-refuse-la-fusion-alstom-siemens.N802765>

Deutsche Energie-Agentur (dena). (2020). Künstliche Intelligenz. Consulté à l'adresse <https://www.dena.de/kuenstliche-intelligenz/>

Direction des achats de l'Etat. (s. d.). Le groupement momentané d'entreprises (GME). Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dae/doc/gme.pdf

Direction générale des entreprises (DGE). (2020). La filière Industries des nouveaux systèmes énergétiques | Conseil national de l'industrie. Consulté à l'adresse <https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/la-filiere-industries-des-nouveaux-systemes-energetiques>

Direction générale du Trésor. (2019, 21 juin). Le secteur cleantech en Israël. Consulté à l'adresse <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2019/06/21/le-secteur-cleantech-en-israel>

Dyer, J. H., & Singh, H. (1998). The Relational View : Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage. *The Academy of Management Review*, 23(4), 660. <https://doi.org/10.2307/259056>

E3G - Third Generation Environmentalism. (2019, 19 août). Support for an International Centre for AI, Energy and Climate. Consulté à l'adresse https://www.e3g.org/docs/19_08_19_Centre_AI_coalition_letter_Final.pdf

EDF. (2017). La production d'électricité d'origine hydraulique - Note d'information . Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/hydraulique/Notes%20d%27info/201711la-production-d-electricite.pdf>

EDF. (2018, 27 juin). EDF, Dassault Systèmes et Capgemini signent un partenariat pour la transformation numérique de l'ingénierie nucléaire d'EDF. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiques-de-presse/edf-dassault-systemes-et-capgemini-signent-un-partenariat-pour-la-transformation-numerique-de-l-ingenierie-nucleaire-d-edf>

EDF. (2019a, juin 6). Stratégie CAP 2030. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/qui-sommes-nous/strategie-cap-2030>

EDF. (2019b, novembre 5). Avec l'acquisition de Pivot Power, EDF accélère son développement dans le stockage par batteries et l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiques-de-presse/royaume-uni-avec-l-acquisition-de-pivot-power-edf-accelere-son-developpement-dans-le-stockage-par-batteries-et-l-infrastructure-de-recharge-pour-vehicules-electriques>

EDF. (2019c, novembre 20). EDF lance Metroscope, la solution d'intelligence artificielle au service de l'excellence opérationnelle de ses clients industriels. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiques-de-presse/edf-lance-metroscope-la-solution-d-intelligence-artificielle-au-service-de-l-excellence-operationnelle-de-ses-clients-industriels>

EDF. (2020). *Faits et Chiffres 2019*. Consulté à l'adresse <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-fr/informations-financieres/publications-financieres/faits-et-chiffres/faits-et-chiffres-2019-v2.pdf>

Emery, F. E., & Trist, E. L. (1965). The Causal Texture of Organizational Environments. *Human Relations*, 18(1), 21-32. <https://doi.org/10.1177/001872676501800103>

Energie 3.0 : le magazine spécialisé sur l'efficacité énergétique. (2014, mars). Tour d'horizon des Smart Grids : l'exemple japonais. Consulté à l'adresse <http://www.efficacite-electrique.fr/2014/03/smart-grids-exemple-japonais/>

Energy Live News. (2019, 26 juillet). National Grid turns to AI for improved solar power forecasts. Consulté à l'adresse <https://www.energylivenews.com/2019/07/26/national-grid-turns-to-ai-for-improved-solar-power-forecasts/>

ENGIE. (2019a, avril 26). ENGIE accélère la mise en œuvre de sa stratégie en cédant ses centrales à charbon en Allemagne et aux Pays-Bas | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/journalistes/communiqués-de-presse/cession-centrales-charbon-allemande-pays-bas>

ENGIE. (2019b, juillet). ENGIE en chiffres. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2019-11/engie-chiffrescle2019-fr-032.pdf>

ENGIE. (2019c, août 12). blu.e by ENGIE accompagne les industriels pour minimiser leur empreinte sur la planète. Consulté à l'adresse <https://www.engie-cofely.fr/solutions-innovantes-engie-cofely/solutions-smart-et-iot/blu-e/>

ENGIE. (2019d, octobre). ENGIE et C3.ai lancent une solution de gestion de l'énergie basée sur l'IA pour les grandes institutions | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/journalistes/communiqués-de-presse/c3ai-solution-gestion-energie-ia>

ENGIE. (2020, 23 janvier). ENGIE a conclu un accord avec EDPR pour la création d'une joint-venture à 50/50 pour l'éolien en mer | ENGIE. Consulté à l'adresse <https://www.engie.com/accord-edpr-eolien-mer>

ENGIE Pro. (s. d.). Open innovation : ENGIE s'engage avec les porteurs de projets - ENGIE Pro. Consulté à l'adresse <https://pro.engie.fr/actualitesenergie-mag-l-esprit-d-entreprendre/l-energie-et-vous/open-innovation-engie-s-engage-avec-les-porteurs-de-projets>

E.ON. (s. d.-a). Cooperation with start-ups - E.ON SE. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/innovation/start-ups.html>

E.ON. (s. d.-b). Digitization & Digital Pioneers - E.ON SE. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/digitization.html>

E.ON. (s. d.-c). Energy Research Center - E.ON SE. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/innovation/energy-research.html>

E.ON. (2020). Artificial Intelligence (AI) : Driving the energy transition. Consulté à l'adresse <https://www.eon.com/en/new-energy/digitization/artificial-intelligence.html>

EURACTIV. (2019). How Internet of Things and Artificial Intelligence pave the way to climate neutrality. Consulté à l'adresse <https://www.euractiv.com/section/digital/opinion/how-internet-of-things-and-artificial-intelligence-pave-the-way-to-climate-neutrality/>

Fjeldstad, Ø. D., Becerra, M., & Narayanan, S. (2004). Strategic action in network industries: an empirical analysis of the European mobile phone industry. *Scandinavian Journal of Management*, 20(1-2), 173-196. <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2004.05.007>

Frenchweb.fr. (2020, 15 janvier). Loin devant Berlin et Paris, Londres s'accapare la majorité des investissements Tech en Europe. Consulté à l'adresse <https://www.frenchweb.fr/loin-devant-berlin-et-paris-londres-saccapare-la-majorite-des-investissements-tech-en-europe/389335#gsc.tab=0>

Gartner. (2019a, août). *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2019*. Consulté à l'adresse <https://www.gartner.com/en/documents/3956015/hype-cycle-for-emerging-technologies-2019>

Gartner. (2019b, juillet 29). Gartner Says Worldwide IaaS Public Cloud Services Market Grew 31.3% in. *Gartner*. Consulté à l'adresse <https://www.gartner.com>

Gendarmerie nationale. (2019, juillet). Intelligence artificielle : état des lieux des initiatives étatiques. *Gendarmerie*. Consulté à l'adresse <https://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr>

German Energy Solutions. (2020). The use of artificial intelligence in the energy sector. Consulté à l'adresse <https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/EN/News/2019/20190902-enerki.html>

Giannelloni, J. L., & Vernet, E. (2001). *Etudes de marché*. Paris, France : Edition Vuibert.

Gnyawali, D. R., & Ryan Charleton, T. (2018). Nuances in the Interplay of Competition and Cooperation : Towards a Theory of Coopetition. *Journal of Management*, 44(7), 2511-2534. <https://doi.org/10.1177/0149206318788945>

Gouvernement français. (2017). *Rapport de synthèse France Intelligence Artificielle*. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/2017/Rapport_synthese_France_IA_.pdf

Gouvernement français, & AI for humanity. (2018, novembre). *Stratégie nationale de recherche en IA*. Consulté à l'adresse https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/strategie_IA/60/7/mesri_IA_dep_A4_09_1040607.pdf

GOV.UK. (2019, 19 juillet). AI Sector Deal. Consulté à l'adresse <https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal/ai-sector-deal#fn:1>

Granata, J., Da Fonseca, M. C., Marquès, P., & Géraudel, M. (2018). Dynamique d'évolution d'une stratégie collective entre PME : le cas des vignerons du Pic Saint-Loup. *Management international*, 20(2), 69-83. Consulté à l'adresse <https://www.erudit.org/fr/revues/mi/2016-v20-n2-mi03715/1046563ar/>

Hall, W., & Pesenti, J. (2017). *Growing the Artificial Intelligence Industry in the UK*. Consulté à l'adresse https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/652097/Growing_the_artificial_intelligence_industry_in_the_UK.pdf

Handelsblatt. (2018, 29 novembre). IoT control. Consulté à l'adresse <https://www.handelsblatt.com/today/companies/iot-control-e-on-partners-with-microsoft-to-offer-smart-home-service/23583434.html?ticket=ST-3023419-sc93cB5obi1FDLpNJ5bJ-ap3>

Hawley, H. (1950). Human Ecology. *Ronald Press Company*, 29(1), 98-99. <https://doi.org/10.2307/2572772>

IGPDE (Institut de la gestion publique et du développement économique). (2018, octobre). Chine : l'intelligence artificielle au cœur de l'État. Consulté à l'adresse https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/igpde-editions-publications/revuesGestionPublique/IGPDE_Reactive_Chine_octobre_2018.pdf

- Impact AI. (2019, juillet). *Un engagement collectif pour un usage responsable de l'intelligence artificielle*. Consulté à l'adresse <http://www.impact-ai.fr/wp-content/uploads/2019/07/Livre-blanc-Impact-AI.pdf>
- Innhotep. (2012, 28 juin). Innhotep - Etude Smart Grids et services d'efficacité énergétique en aval compteur - Benchmark mondial de startups. Consulté à l'adresse <https://fr.slideshare.net/Innhotep/innhotep-etude-smart-grids-et-services-defficacit-nergtique-en-aval-compteur-benchmark-mondial-de-startups-13479967>
- International Energy Agency (IEA). (2020a). Germany energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/germany+>
- International Energy Agency (IEA). (2020b). Japan energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/japan>
- International Energy Agency (IEA). (2020c). United Kingdom energy profile. Consulté à l'adresse <https://www.iea.org/countries/united-kingdom>
- InUse. (s. d.). La SHEM choisit InUse pour digitaliser la maintenance de ses usines hydroélectriques. Consulté à l'adresse <https://inuse.eu/fr/news/la-shem-choisit-inuse-pour-digitaliser-la-maintenance-preventive-de-son-activite-petite-hydroelectricite/>
- IRIS. (2020, février). La stratégie européenne en intelligence artificielle : un acte manqué ? Consulté à l'adresse <https://www.iris-france.org/144431-la-strategie-europeenne-en-intelligence-artificielle-un-acte-manque%E2%80%89/>
- Japan Smart Community Alliance (JSCA). (2020). About JSCA. Consulté à l'adresse <https://www.smart-japan.org/english/about/index.html>
- Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2015). *Stratégie Océan Bleu*. Montreuil, France : Pearson.
- La Tribune. (2020, 20 février). Données et intelligence artificielle : comment l'Europe veut rattraper son retard. *La Tribune*. Consulté à l'adresse <https://www.latribune.fr>
- Le médiateur national de l'énergie. (2019, 8 novembre). L'ouverture du marché de l'électricité et du gaz naturel à la concurrence. Consulté à l'adresse https://www.energie-info.fr/fiche_pratique/louverture-du-marche-de-lelectricite-et-du-gaz-naturel-a-la-concurrence/
- Le Moniteur. (2019, 24 septembre). RTE embarque plus de 6 000 personnes sur le réseau électrique de demain. Consulté à l'adresse <https://www.lemoniteur.fr/article/rte-embarque-plus-de-6-000-personnes-sur-le-reseau-electrique-de-demain.944319>
- Le Roy, F., & Czakon, W. (2016). Managing coepetition: the missing link between strategy and performance. *Industrial Marketing Management*, 53, 3-6. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2015.11.005>
- Les Échos. (2016, 10 octobre). Schneider Electric s'active dans la Silicon Valley. Consulté à l'adresse <https://business.lesechos.fr/directions-numeriques/digital/transformation-digitale/0211364996044-schneider-electric-s-active-dans-la-silicon-valley-300767.php>
- Les Échos. (2017, 25 janvier). La Chine à l'offensive dans l'électricité au Brésil. Consulté à l'adresse <https://www.lesechos.fr/2017/01/la-chine-a-loffensive-dans-lelectricite-au-bresil-166848>
- Les Échos. (2019, 6 mars). Seules 60% des start-up IA en Europe peuvent prouver qu'elles font de l'intelligence artificielle. Consulté à l'adresse <https://www.lesechos.fr/tech-medias/intelligence->

[artificielle/seules-60-des-start-up-ia-en-europe-peuvent-prouver-que-elles-ont-de-l'intelligence-artificielle-996183](#)

Les-smartgrids.fr. (2019, 26 août). Smart grids : les projets fleurissent en Europe, la France bien placée. Consulté à l'adresse <https://les-smartgrids.fr/smart-grids-projets-europe-france/>

L'USINENOUVELLE.com. (2020, 10 février). EDF, Thales et Total ouvrent un laboratoire commun en IA. Consulté à l'adresse <https://www.usinenouvelle.com/editorial/edf-thales-et-total-ouvrent-un-laboratoire-commun-en-ia.N927479>

Lyon Smart Community. (2017, octobre). *Un partenariat international pour développer une ville intelligente au service des citoyens*. Consulté à l'adresse http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/20171010_gl_lyon_smart_community_bilan_perspectives_plaquette_fr.pdf

McKinsey. (2019, février). Tackling Europe's gap in digital and AI. Consulté à l'adresse <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/tackling-europes-gap-in-digital-and-ai>

McKinsey Global Institute. (2017, juin). *Artificial Intelligence the next digital frontier ?*. Consulté à l'adresse <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/how%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20value%20to%20companies/mgi-artificial-intelligence-discussion-paper.ashx>

Ministère de la cohésion des territoires et ministère de l'économie et des finances. (2019). *PROSPECTIVE Intelligence artificielle - État de l'art et perspectives pour la France*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Intelligence_artificielle/2019-02-intelligence-artificielle-etat-de-l-art-et-perspectives.pdf

Ministère de l'économie et des finances, & AI for humanity. (2019). *Stratégie nationale pour l'Intelligence Artificielle : Présentation du volet économique*. Consulté à l'adresse https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/numerique/grands-dossiers/intelligence-artificielle/Dossier_participant_ia_030719.pdf

Moigne, G. L. (2019, 28 mars). SATT : La France ambitionne d'accélérer le transfert de technologie entre la recherche et l'industrie. Consulté à l'adresse <https://www.actuia.com/actualite/la-france-ambitionne-daccelerer-le-transfert-de-technologie-entre-la-recherche-et-lindustrie/>

Nag, R., Hambrick, D. C., & Chen, M.-J. (2007). What is strategic management, really ? Inductive derivation of a consensus definition of the field. *Strategic Management Journal*, 28(9), 935-955. <https://doi.org/10.1002/smj.615>

Nalebuff, B. J., Brandenburger, A., & Cohen, L. (1996). *La co-opétition*. Paris, France : Village mondial.

négaWatt. (s. d.). La démarche négaWatt. Consulté à l'adresse <https://negawatt.org/La-demarche-negaWatt>

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, Tohoku Electric Power Co., Inc., Iwatani Corporation. (2020, 11 mars). The world's largest-class hydrogen production, Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R) now is completed at Namie town in Fukushima. Consulté à l'adresse https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020_0307.htm

Next Kraftwerke. (2019, 11 décembre). Artificial Intelligence. Consulté à l'adresse <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/artificial-intelligence>

Nhede, N. (2020, 12 février). The US reclaims top position in global AI investment, halts advancement in China. *Smart Energy International*. Consulté à l'adresse <https://www.smart-energy.com>

Novethic. (2018, décembre). La France veut devenir leader de l'intelligence artificielle mais ne s'en donne pas les moyens. Consulté à l'adresse <https://www.novethic.fr/actualite/numerique/intelligence-artificielle/isr-rse/la-france-veut-devenir-leader-de-l-intelligence-artificielle-mais-ses-moyens-ne-suffiront-pas-a-concurrer-les-etats-unis-ou-la-chine-146650.html>

NS Energy Business. (2019). Germany wind power industry : AI to help deliver its full potential. Consulté à l'adresse <https://www.nsenerybusiness.com/news/ai-german-wind-power-research/>

Nuance. (2017). Direct Energie continue d'innover au service de ses clients grâce à la solution Nuance Transcription Engine. Consulté à l'adresse <https://www.nuance.com/fr-fr/about-us/newsroom/press-releases/Direct-Energie-continue-au-service-de-ses-clients-la-solution-Nuance-Transcription-Engine.html>

Oxford-Munich Code of Conduct. (2018, 8 juillet). Code of conduct. Consulté à l'adresse <http://www.code-of-ethics.org/code-of-conduct/>

Power Engineering. (2019, 24 octobre). National Grid Partners investing in three startups focused on AI, utility infrastructure. Consulté à l'adresse <https://www.power-eng.com/2019/10/24/national-grid-partners-investing-in-three-startups-focused-on-ai-utility-infrastructure/#gref>

Roland Berger. (2018, 17 mai). AI startups as innovation drivers. Consulté à l'adresse <https://www.rolandberger.com/fr/Publications/AI-startups-as-innovation-drivers.html>

RTE. (2017, mars). *Voyage au coeur du réseau de demain* . Consulté à l'adresse https://www.rte-france.com/sites/default/files/files/au_coeur_du_reseau_dossier.pdf

SATT. (2020, 23 avril). Réseau SATT. Consulté à l'adresse <https://www.satt.fr/societe-acceleration-transfert-technologies/>

Selectra. (2020, 6 mars). La production d'électricité en France : ressources et statistiques. Consulté à l'adresse <https://selectra.info/energie/guides/comprendre/electricite/production>

SMILE. (2016). Les dates clés de SMILE. Consulté à l'adresse <https://smile-smartgrids.fr/fr/actualites/les-dates-cles-de-smile.html>

Société Financière Internationale (IFC). (2020, avril). *Artificial Intelligence in the Power Sector* (NOTE 81). Consulté à l'adresse https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/bd3a196d-a88f-45af-bbc6-e0b00790fba8/EMCompass_Note_81-05-web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n72pj5g

Solutions numériques. (2018, 13 juin). EDF mise sur son pôle intelligence artificielle pour satisfaire les besoins métiers du groupe. Consulté à l'adresse <https://www.solutions-numeriques.com/edf-mise-sur-son-pole-intelligence-artificielle-pour-satisfaire-les-besoins-metiers-du-groupe/>

Swedish Smart Grid, & WSP. (2019, mars). *Smart Grid Market Analysis : China*. Consulté à l'adresse http://swedishsmartgrid.se/globalassets/publikationer/china_marketanalysis21mars.pdf

Tarnowski, J. (2020, 4 février). Quand l'IA peut atténuer le caractère imprévisible des renouvelables. Consulté à l'adresse <https://www.lemondedelenergie.com/ia-renouvelables/2020/02/04/#:%7E:text=Le%2026%20f%C3%A9vrier%202019%2C%20Google,production%20d'un%20parc%20%C3%A9olien>

Think Smartgrids. (2017, 21 février). Think Smartgrids | Solutions Smart Grids françaises. Consulté à l'adresse <https://www.thinksmartgrids.fr>

Think Smartgrids. (2019, 1 avril). France leader IA domaine energie. Consulté à l'adresse <https://www.thinksmartgrids.fr/actualites/france-leader-ia-domaine-energie>

Toshiba. (2014, janvier). *Projet Lyon Smart Community - Community Management System*. Consulté à l'adresse <https://docplayer.fr/2382598-Projet-lyon-smart-community-community-management-system.html>

Toshiba. (2019). Demonstration Project Starts in Indonesia on the Use of Anomaly Predictive Diagnostics for Geothermal Power Plants. Consulté à l'adresse <https://asia.toshiba.com/press-release/english/demonstration-project-starts-in-indonesia-on-the-use-of-anomaly-predictive-diagnostics-for-geothermal-power-plants/>

Trésor, D. G. (2018, 3 juillet). La stratégie japonaise sur l'intelligence artificielle : augmentation des investissements, enjeux éthiques, sociétaux et réglementaires, et opportunités de coopérations avec la France. Consulté à l'adresse <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2018/07/03/la-strategie-japonaise-sur-l-intelligence-artificielle-augmentation-des-investissements-enjeux-ethiques-societaux-et-reglementaires-et-opportunités-de-cooperations-avec-la-france>

UFC-Que Choisir. (2019, 19 décembre). Offres Linky - Big Brother débarque chez vous - Décryptage. Consulté à l'adresse <https://www.quechoisir.org/decryptage-offres-linky-big-brother-debarque-chez-vous-n74171/>

Université Paris Saclay. (2020, 30 janvier). Un supercalculateur surpuissant sur le campus de Paris-Saclay. Consulté à l'adresse <https://www.universite-paris-saclay.fr/actualites/un-supercalculateur-surpuissant-sur-le-campus-de-paris-saclay>

VentureBeat. (2019, 24 octobre). National Grid Partners invests in 3 more AI and energy infrastructure startups. Consulté à l'adresse <https://venturebeat.com/2019/10/24/national-grid-partners-invests-in-3-more-ai-and-energy-infrastructure-startups/>

Villani, C. (2018). *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*. Consulté à l'adresse https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/9782111457089_Rapport_Villani_accessible.pdf

White House. (s. d.). Artificial Intelligence for the American People. Consulté à l'adresse <https://www.whitehouse.gov/ai/ai-american-innovation/>

WIPO (ONU). (2019). *WIPO Technology Trends 2019 : Artificial Intelligence*. Consulté à l'adresse https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055.pdf

Xerfi. (2020, juin). *La révolution de l'intelligence artificielle dans la filière de l'énergie*. Consulté à l'adresse https://www.xerfi.com/presentationetude/La-revolution-de-l-intelligence-artificielle-dans-la-filiere-de-l-energie_20SCO58

Yami, S. (2006). Fondements et perspectives des stratégies collectives. *Revue française de gestion*, (167), 91-104. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2006-8-page-91.htm>

Yami, S., & Le Roy, F. (2007). *Les stratégies collectives : une nouvelle forme de concurrence*. Caen, France : EMS.

Yami, S., & Roy, F. L. (2007). *Les stratégies collectives - Rivaliser et coopérer avec ses concurrents*. Caen, France : Éditions EMS.

Yami, Saïd. (2006). Fondements et perspectives des stratégies collectives. *Revue française de gestion*, 32(167), 91-104. <https://doi.org/10.3166/rfg.167.91-104>