

Brevets pour l'amélioration des réseaux électriques

Analyse des tendances mondiales de l'innovation dans les réseaux électriques physiques et intelligents

Décembre 2024

Résumé

L'électricité est au cœur des transitions énergétiques en cours. La demande d'électricité a augmenté deux fois plus vite que la demande globale d'énergie au cours de la dernière décennie, et la croissance de la consommation d'électricité devrait encore s'accélérer dans les années à venir. Pour atteindre les objectifs nationaux en matière d'énergie et de climat (qui vont au-delà des politiques actuellement en place), la consommation mondiale d'électricité doit augmenter au cours de la prochaine décennie à un rythme supérieur de 20 % à celui enregistré au cours de la précédente. Du côté de l'offre, les réseaux électriques continueront d'intégrer davantage de ressources renouvelables à production variable et avec des répartitions géographiques différentes de celles des réseaux actuels. Dans le même temps, de nombreux pays sont confrontés à des besoins d'investissement croissants pour moderniser leurs infrastructures de réseau vieillissantes afin de les adapter aux systèmes énergétiques modernes : près de 50 millions de kilomètres de lignes de transmission et de distribution anciennes devront être remplacées dans le monde d'ici à 2050.

Des réseaux modernes, intelligents et étendus sont donc essentiels à la réussite des transitions énergétiques. Garantir la compétitivité, la sécurité et l'accessibilité financière tout en rénovant, en étendant et en optimisant les réseaux électriques afin de permettre aux sources d'approvisionnement de répondre de manière plus souple à la demande d'électricité, tels sont les défis à relever dans les domaines de l'innovation technologique, des investissements et des politiques publiques. Nombreuses sont les opportunités qui permettront aux innovateurs d'accélérer la transition vers les énergies propres grâce à des technologies réseau améliorées et d'engranger la valeur économique du marché porteur que représentent ces solutions.

Cependant, les réseaux électriques sont souvent les héros méconnus des transitions énergétiques et leurs infrastructures sont un élément familier et peu flatteur du paysage. Dans le meilleur des cas, ils sont considérés comme acquis, et dans le pire des cas, leur développement est entravé par les oppositions locales. Si l'on accorde trop peu d'attention à la création de

nouveaux produits et services visant à réduire les coûts et à améliorer les performances des technologies de réseau - notamment en réduisant le besoin de lignes aériennes et en aidant les consommateurs d'électricité à monétiser leurs choix de consommation - les réseaux risquent de devenir un goulet d'étranglement dans la modernisation des systèmes énergétiques.

Comme le montre ce rapport, les chercheurs et les innovateurs du monde entier sont en train de relever le défi. Au cours des 19 dernières années, le nombre de brevets déposés pour des technologies liées aux réseaux électriques a augmenté pour atteindre des niveaux environ sept fois supérieurs à ceux de 2005. Grâce à des données solides sur la répartition technologique, géographique et commerciale de cette activité de brevetage, les gouvernements et les innovateurs peuvent suivre les tendances et les lacunes qui les intéressent. Indicateur avancé de l'évolution technologique, les données sur les brevets complètent d'autres sources d'information et fournissent ainsi des informations exploitables sur les avantages régionaux, les faiblesses concurrentielles et les opportunités stratégiques.

Cette étude, qui associe l'expertise de l'Agence internationale de l'énergie et de l'Office européen des brevets, est jusqu'à présent l'enquête la plus complète, globale et actualisée des enjeux et des opportunités clés au niveau des brevets dans le domaine des réseaux électriques. Elle distingue trois groupes de défis critiques que la technologie peut aider à relever. Bien qu'il reste un potentiel d'amélioration énorme pour rendre le réseau électrique "plus intelligent" - processus déjà largement entamé qui consiste à superposer un réseau de communication au réseau qui transporte l'électricité elle-même - chacun de ces trois défis ne peut être relevé qu'en conjuguant les améliorations matérielles et logicielles. Si les technologies liées aux réseaux intelligents connaissent la plus forte croissance du nombre de brevets déposés, celui des brevets visant à améliorer les réseaux physiques n'est pas loin derrière, et il sera crucial de poursuivre les efforts d'innovation dans ce domaine au cours des décennies à venir.

Principales conclusions

1. **Le dépôt de brevets liés aux réseaux électriques a connu une accélération spectaculaire au cours de la période 2009-2013. Elle s'est depuis stabilisée dans la plupart des grandes régions, à l'exception de la République populaire de Chine (RPC); en 2022, ce pays a dépassé l'UE pour la première fois, devenant la première source régionale de dépôts.**

Le nombre de brevets déposés dans le domaine des technologies liées aux réseaux électriques a connu une croissance remarquable entre 2009 et 2013. Au cours de cette période, le nombre de familles internationales de brevets (FBI)¹ liées aux réseaux a augmenté à un taux de croissance annuel moyen de 30 % - bien au-delà des taux moyens de 12 % pour les technologies énergétiques sobres en carbone (OEB-IEA, 2021) et de 4 % pour l'ensemble des technologies. Cette phase de décollage reflète une période d'intérêt industriel intense pour un ensemble de nouvelles technologies liées aux réseaux intelligents, tiré par les politiques publiques à l'origine de la création de marchés et de normes pour les compteurs intelligents et les véhicules électriques, ainsi que par la perspective

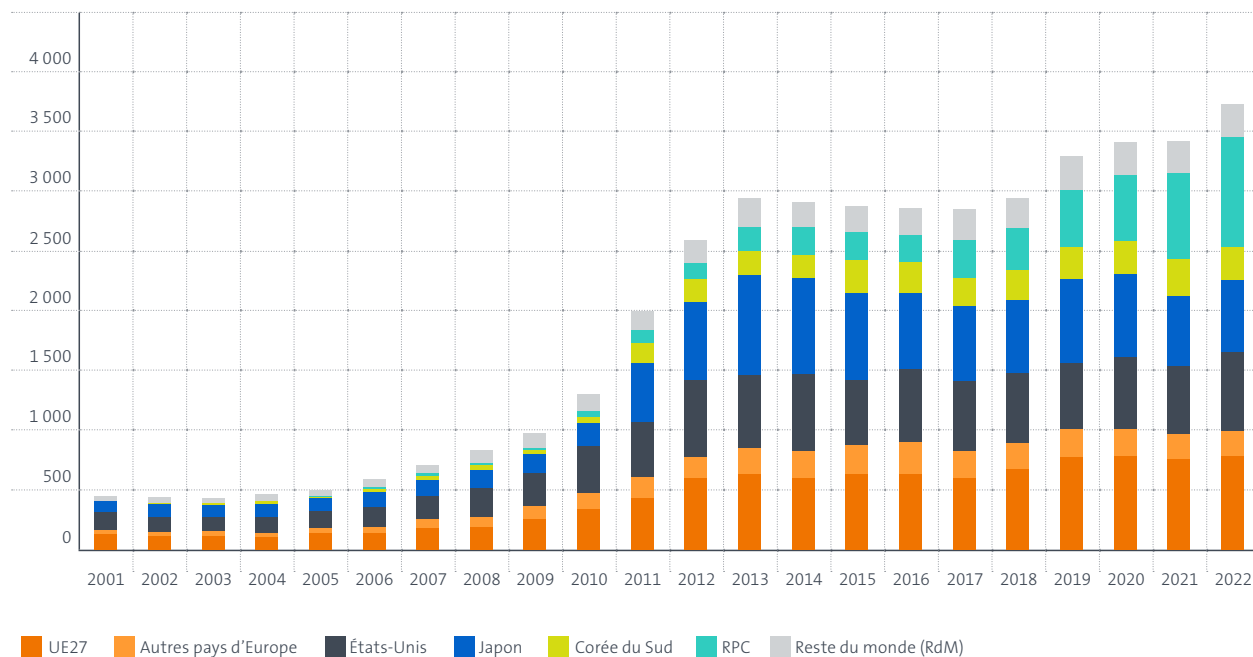
d'un déploiement plus rapide des énergies renouvelables. Cette tendance a également été amplifiée par le fait que l'innovation logicielle est devenue un élément central de la stratégie d'entreprise au cours de cette période. Cela a élargi le périmètre des inventions de réseaux intelligents brevetés, ce qui s'est traduit par une augmentation de 50 % des brevets de réseaux physiques contenant des éléments de réseaux intelligents au cours de la période 2010-2022 par rapport à la décennie précédente.

Cette croissance impressionnante s'est surtout produite en Europe, au Japon et aux États-Unis, et le nombre de dépôts de brevets est resté stable à un niveau élevé par la suite dans ces régions. Dans le même temps, des progrès constants ont permis à la RPC d'émerger progressivement comme le nouveau moteur mondial de la croissance du nombre de brevets déposés dans le domaine des réseaux électriques, passant de 7 % du total mondial en 2013 à 25 % en 2022. Cette année-là, la RPC est devenue pour la première fois la première région du monde en matière de brevets dans ce domaine technologique.

¹ Chaque FBI couvre une seule invention et englobe les demandes de brevet déposées auprès de plusieurs offices et publiées par ceux-ci. Il s'agit d'un indicateur fiable de l'innovation, car il permet un certain contrôle de la qualité des brevets en ne comptabilisant que les inventions jugées suffisamment intéressantes pour mériter une protection internationale. Les données relatives aux brevets présentées dans ce rapport font référence aux nombres de familles de brevets internationales.

Figure E1

Tendances en matière de dépôt de brevets par grande région du monde (FBI, 2001-2022)



NB : les calculs reposent sur le pays du demandeur de FBI, avec un comptage fractionné dans le cas de co-demandes.

Source : calculs de l'auteur

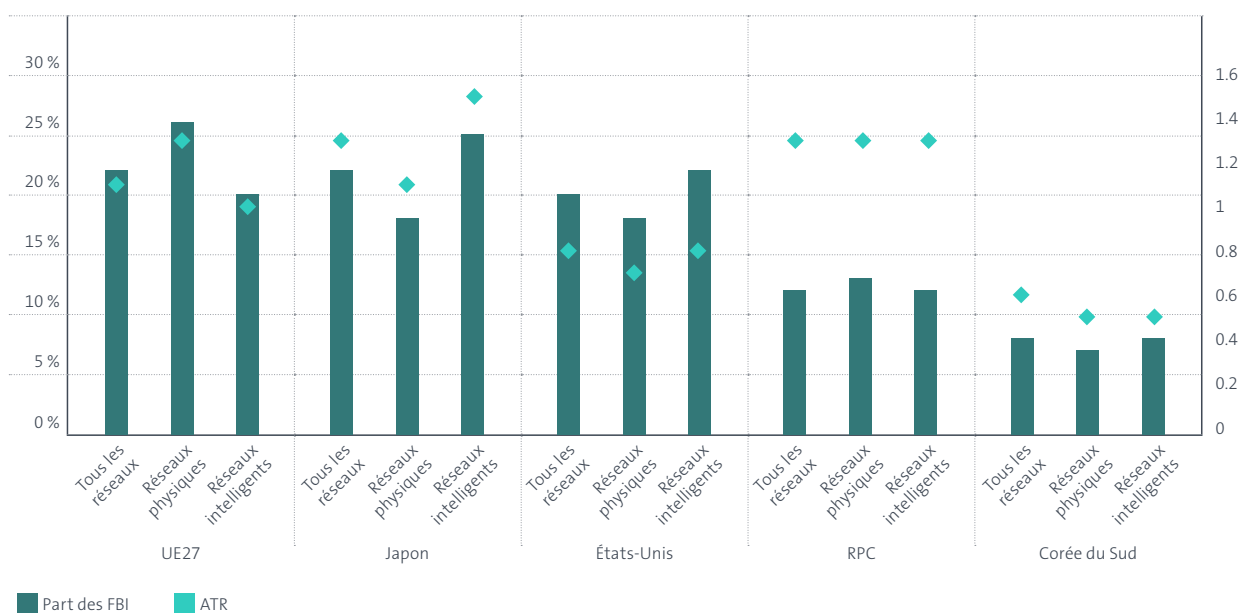
2. Au cours de la dernière décennie, l'UE27 et le Japon arrivent en tête du classement des déposants de brevets dans le domaine des réseaux électriques.

L'UE27 et le Japon ont chacun généré plus d'un cinquième des FBI liés aux réseaux sur la période 2011-2022, et ils possèdent un avantage technologique révélé (ATR) dans ces technologies par rapport aux domaines technologiques non liés aux réseaux.² La contribution de l'Europe s'est principalement appuyée sur l'expertise dans

les technologies de réseau physique - la Suisse a généré à elle seule 5 % de tous les FBI liés aux réseaux - tandis que le Japon montre une spécialisation relative plus forte dans les technologies liées aux réseaux intelligents. Parmi les autres régions, les États-Unis ont contribué à hauteur de 20 % aux dépôts de brevets liés aux réseaux, mais n'ont pas de spécialisation relative dans ce domaine. La part de la RPC dans l'ensemble des FBI liés aux réseaux était nettement inférieure entre 2011 et 2022, mais elle montre une spécialisation dans les technologies liées aux réseaux physiques et aux réseaux intelligents aussi importante que celle de l'UE.

Figure E2

Part des brevets internationaux et de l'avantage technologique révélé par principale région du monde et principal type de technologies liées aux réseaux (FBI, 2011-2022)



NB : les calculs reposent sur le pays du demandeur de FBI, avec un comptage fractionné dans le cas de co-demandes.

Source : calculs de l'auteur

² L'indice ATR (avantage technologique révélé) définit la spécialisation d'un pays en matière d'innovation dans le domaine des réseaux par rapport à sa capacité d'innovation globale. On le calcule à partir de la part des FBI d'un pays dans un domaine technologique particulier divisée par la part des FBI de ce pays dans tous les domaines technologiques. Un ATR supérieur à un reflète la spécialisation d'un pays dans une technologie donnée.

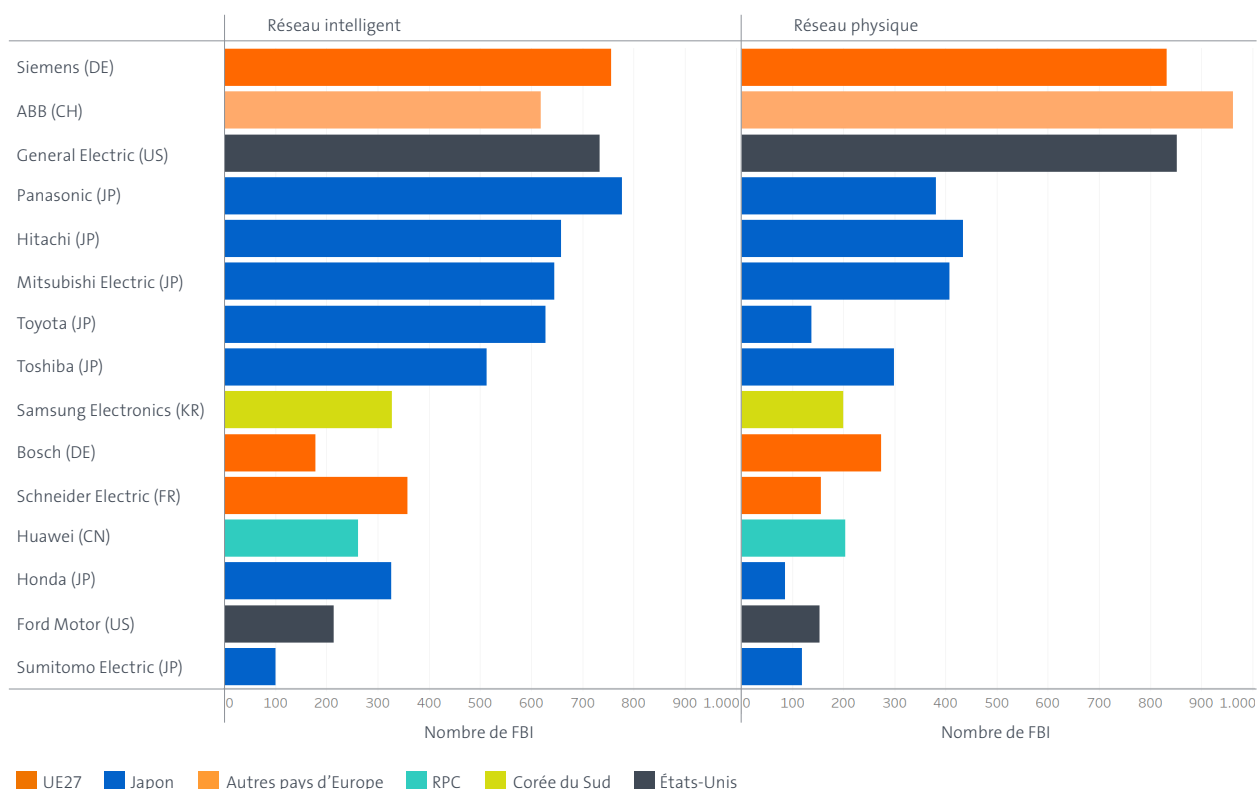
3. Siemens, ABB et General Electric sont en tête du classement des déposants de brevets sur les réseaux électriques, ce qui témoigne de leurs fortes compétences dans les technologies liées aux réseaux physiques en particulier. Ils sont confrontés à une forte concurrence asiatique en matière d'innovation dans le domaine des réseaux intelligents.

Les 15 premières entreprises déposantes ont généré à elles seules près d'un tiers (31 %) des FBI dans le domaine des technologies liées aux réseaux sur la période 2011-2022. Leur part cumulée de FBI est légèrement plus

importante dans les technologies liées aux réseaux physiques (35 %, contre 31 % dans les réseaux intelligents). Siemens, General Electric et ABB, trois grands conglomérats d'Allemagne, des États-Unis et de Suisse respectivement, sont en tête du classement. Cependant, sept candidats japonais figurent également dans le classement, tous avec une spécialisation plus poussée dans les réseaux intelligents. Les autres déposants en tête de liste sont la société coréenne Samsung Electronics, la société française Schneider Electric et l'entreprise chinoise Huawei, spécialisée dans les équipements de télécommunications, qui se développe dans les réseaux intelligents. Trois entreprises automobiles (Toyota, Honda et Ford Motor) figurent dans le classement en raison de leur forte contribution à l'innovation dans le domaine de la recharge intelligente des véhicules électriques.

Figure E3

Top 15 des entreprises déposantes dans les technologies liées aux réseaux (FBI, 2011-2022)



NB : les entreprises déposantes sont classées en fonction du nombre total de FBI dans les technologies liées aux réseaux. Certaines peuvent être pertinentes dans plus d'une des trois sous-catégories présentées ; elles sont prises en compte dans chacune de ces sous-catégories. Les FBI déposés par ABB Grid ont été consolidés sous Hitachi.

Source : calculs de l'auteur

4. L'innovation en matière de réseaux intelligents explique la récente envolée de dépôts de brevets dans le domaine des réseaux électriques. Bien qu'une grande attention soit accordée aux innovations permettant au client de contrôler la demande d'électricité, les domaines connaissant le plus grand nombre de dépôts de brevets liés aux réseaux intelligents concernent le contrôle des actifs à l'échelle de réseaux plus étendus.

Des technologies intelligentes sont en train d'être mises au point pour résoudre des problèmes liés à presque tous les aspects des réseaux électriques. Le dépôt de brevets dans le domaine du contrôle des actifs à l'échelle d'un réseau a démarré vers 2010 et leur nombre n'a pas cessé d'augmenter depuis. Les déposants japonais ont une forte avance dans des domaines tels que la prévision et la prise de décisions ou le contrôle à distance des onduleurs et des actifs de stockage de l'électricité ; l'accélération récente du dépôt de brevets dans le domaine de la détection des défaillances a été principalement le fait de déposants chinois.

Les compteurs intelligents ont été le premier domaine orienté client à connaître une hausse du nombre de brevets déposés, principalement aux États-Unis et en Europe, mais cette progression a fortement ralenti après l'explosion d'activité suscitée par leur déploiement initial.

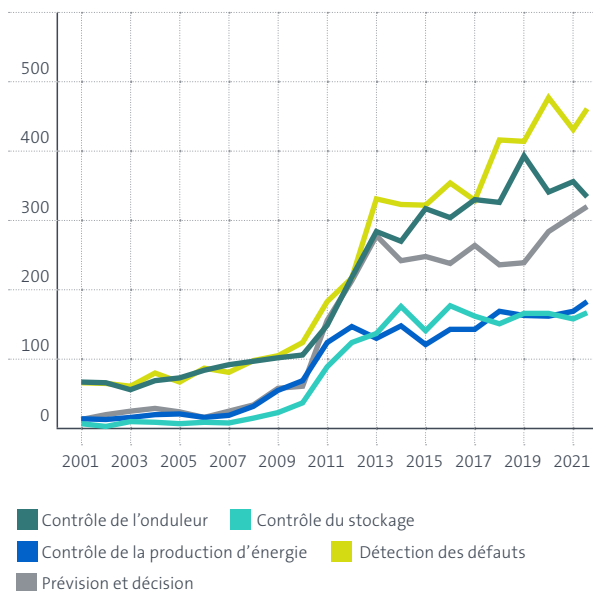
Plus généralement, le dépôt de brevets a tendance à être plus volatil du côté client des réseaux intelligents, en raison de délais de développement des produits plus courts et de la normalisation des protocoles et des interfaces pour les équipements connectés au réseau. Par conséquent, il est important que les innovateurs obtiennent la propriété intellectuelle dès le début du développement de nouvelles technologies liées aux réseaux intelligents, car ils risquent de ne pas bénéficier de longues périodes d'améliorations progressives par la suite.

Une dynamique similaire est constatée dans les brevets liés à la recharge des véhicules électriques, bien que ceux-ci aient retrouvé une croissance impressionnante depuis 2015 grâce à l'apparition de nouvelles techniques d'agrégation et de contrôle à distance. Cette nouvelle phase de croissance coïncide avec un déplacement du brevetage des fournisseurs d'équipements vers les fabricants d'équipement d'origine (OEM), soulignant l'intérêt stratégique accru de ces derniers pour la maîtrise des technologies de recharge intelligente. Globalement, les déposants japonais représentent à eux seuls environ un tiers des FBI dans ce domaine sur la période 2011-2022, suivis par les déposants américains et européens avec environ 20 % chacun.

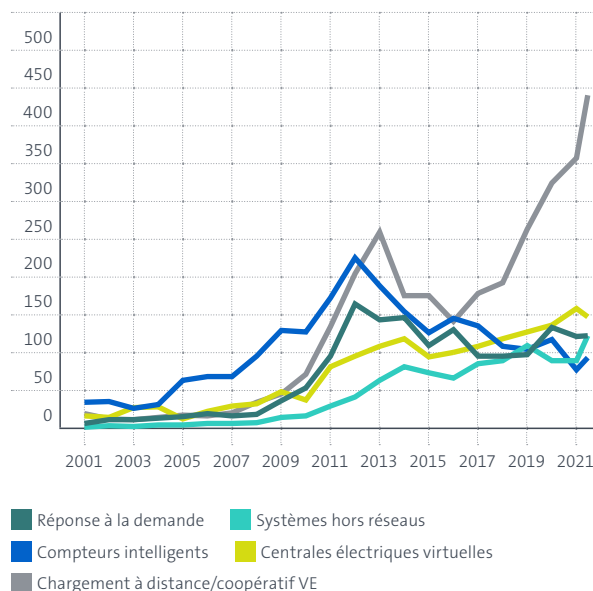
Figure E4

Croissance du nombre de brevets dans certaines technologies liées aux réseaux intelligents, 2001-2022

Contrôle de la production, de la distribution et du transport d'électricité



Contrôle de la demande d'électricité et de sa vente au détail



Source : calculs de l'auteur

5. Le nombre de brevets déposés dans le domaine de l'IA liée aux réseaux a augmenté de plus de 500 % au cours des cinq années précédant 2022 et constitue désormais le domaine de brevetage le plus actif parmi les technologies numériques habitantes, avec les États-Unis et la RPC en tête.

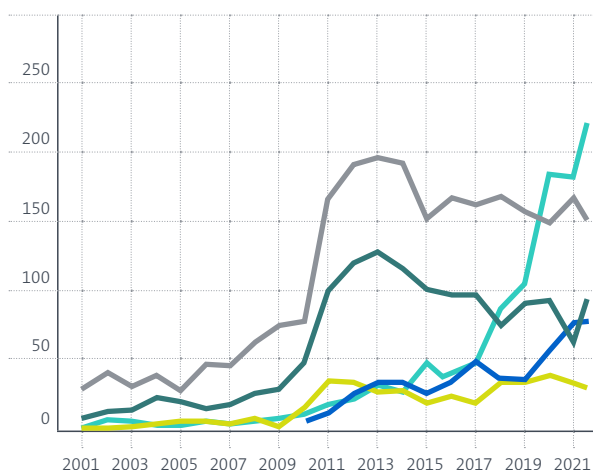
Le principal domaine des FBI liées à l'IA est celui de l'aide à la prévision et à la décision, une catégorie qui représente 39 % des FBI liées à l'IA et qui a entraîné une croissance

rapide du nombre de brevets liés à l'IA dans le domaine des réseaux électriques entre 2000 et 2022. L'IA est néanmoins appliquée dans des brevets liés à d'autres domaines des réseaux intelligents, en particulier les micro-réseaux et la gestion des pannes. Les États-Unis et la Chine sont les principales régions de dépôt de brevets pour ces technologies, avec respectivement 24 % et 23 % des FBI liées à l'IA, suivis par les pays de l'UE27 avec 18 %.

Figure E5

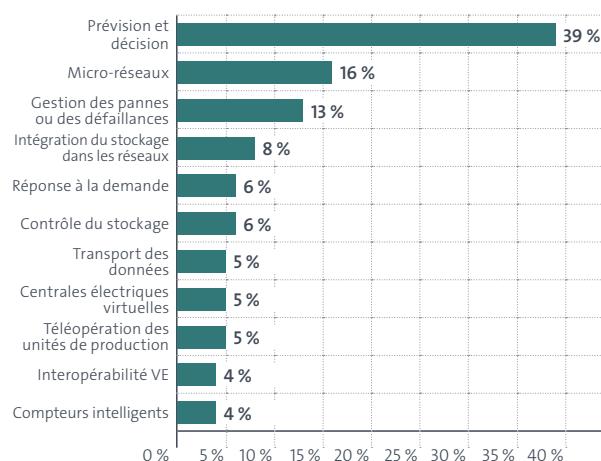
L'impact croissant de l'IA sur l'innovation dans les réseaux intelligents

Tendances en matière de dépôt de brevets dans certaines technologies habitantes pour les réseaux intelligents (FBI, 2001-2022)



■ Plateformes de gestion des données ■ Intelligence artificielle
■ Nuage ■ Sécurité ■ Transport des données

Technologies concernant les réseaux intelligents visées par des FBI liées à l'IA (2011-2022)



NB : le graphique de droite montre le pourcentage de FBI liées à l'IA pour les réseaux qui ont également été identifiés comme étant liés à une autre catégorie de technologies dans le domaine des réseaux intelligents. Certaines d'entre elles peuvent se rapporter à deux ou plusieurs de ces catégories ; d'autres peuvent n'avoir aucune relation clairement identifiée avec l'une d'entre elles.

Source : calculs de l'auteur

6. Un tiers des entreprises en phase de démarrage dans le domaine des technologies des réseaux électriques ont déposé une demande de brevet, ce qui représente une proportion beaucoup plus élevée que dans d'autres domaines technologiques. Ces jeunes entreprises sont principalement situées en Europe et aux États-Unis.

358 des 1 085 startups identifiées dans le cadre de ce rapport et dont les activités sont liées aux technologies des réseaux électriques détiennent au moins une FBI. Cette proportion est remarquablement élevée, comparée par exemple à la part estimée à 6 % de toutes les startups européennes ayant déposé une demande de brevet. Il s'agit d'un indicateur positif de la capacité des jeunes entreprises actives dans le domaine des réseaux électriques à lever des fonds, puisqu'il est établi que la détention de brevets a un impact favorable sur leur capacité à attirer des fonds de capital-risque (OEB-EUIPO, 2023).

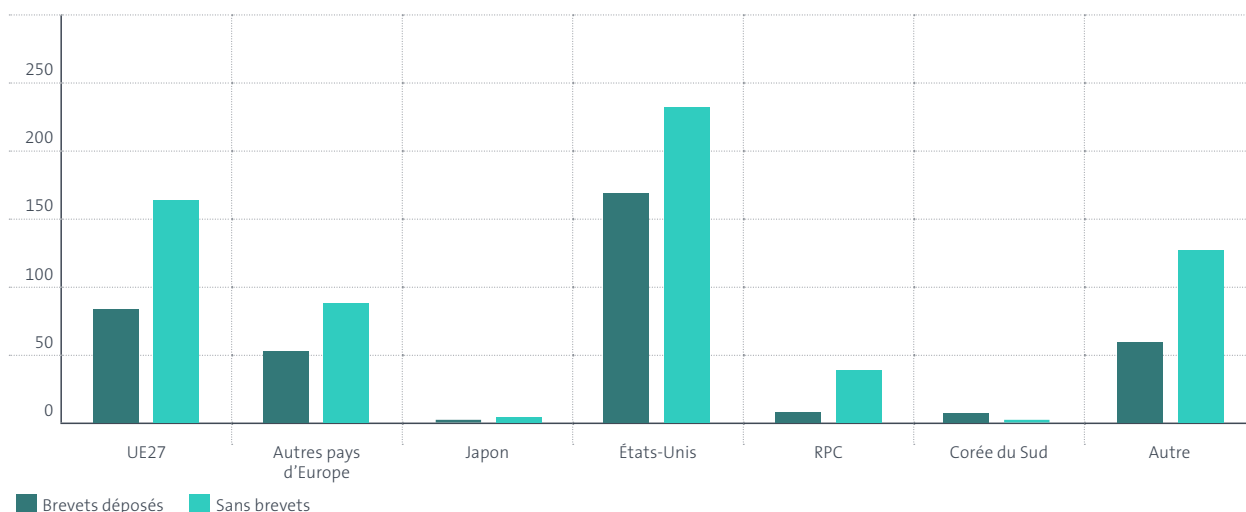
Parmi les technologies de réseau intelligent, un tiers des startups travaillent sur l'optimisation du réseau,

et un quart sur le commerce de l'électricité. Les autres domaines importants sont les centrales électriques virtuelles (20 %) et les compteurs physiques (14 %). Contrairement aux attentes, près de la moitié des startups développent du matériel, un axe d'innovation à haut risque qui nécessite généralement des investisseurs patients et un capital initial élevé. Les pouvoirs publics devraient s'intéresser aux succès et aux difficultés rencontrés par ces jeunes entreprises, afin de déterminer si les écosystèmes d'innovation soutiennent de manière adéquate les entrepreneurs spécialisés dans les équipements physiques de réseau.

La plupart des startups sont situées aux États-Unis et en Europe, chacune de ces deux régions contribuant à environ 39 % du total, et 24 % pour l'UE27 seule. En revanche, le petit nombre de startups identifiées en RPC, en Corée et au Japon suggèrent un rôle moindre du capital-risque dans les écosystèmes d'innovation de ces pays. En dehors de ces grandes régions, le Canada (avec 50 startups), l'Inde (30) et Israël (13) se distinguent par des écosystèmes importants de startups liées aux réseaux électriques.

Figure E6

Startups dans le domaine des technologies liées aux réseaux : nombre de startups et profil des brevets par grande région du monde (2011-2022)



Source : calculs de l'auteur

Le rapport complet peut être téléchargé à l'adresse suivante :

epo.org/trends-grids

iea.org/reports/patents-for-enhanced-electricity-grids

© 2024 OEB et OCDE/AIE

ISBN 978-3-89605-384-8