

# Autonomie stratégique comparée dans l'énergie et le numérique

Par Grégoire POSTEL-VINAY

Conseil général de l'Économie

Les situations des trois plus grands blocs mondiaux divergent, s'agissant de l'autonomie énergétique : les États-Unis sont devenus exportateurs, la Chine est dépendante pour environ 21 % de sa consommation primaire, l'Union l'est pour 57 %, et ce chiffre s'aggrave depuis vingt ans, et la France pour 44 %. Un effort majeur est requis tant de l'Union que de notre pays pour améliorer ces chiffres, ce qui implique, entre autres, une inversion de tendance pour le nucléaire. Pour le numérique, la situation de dépendance de l'UE s'est encore accrue, en particulier vis-à-vis des États-Unis. Une prise de conscience, aggravée par les crises récentes, conduit à des inflexions majeures. Dans les deux cas, l'ordre de grandeur des investissements privés et publics requis est le billion d'euros sur la décennie. De même, de nouvelles compétences sont nécessaires, ainsi qu'une planification de long terme. Enfin, les efforts à conduire sont étroitement liés entre les deux domaines.

Ces quatre dernières années ont vu la montée en puissance des thématiques de l'indépendance stratégique dans les priorités publiques, et, de là, privées. Et ce pour quatre raisons. La crise du Covid-19 a mis en évidence les dangers d'une trop grande dépendance de l'UE pour les vaccins, les masques et les respirateurs, mais aussi en ce qui concerne les semi-conducteurs et toutes les industries ou services qui en dépendent. La guerre d'Ukraine a mis l'accent sur les énergies, à commencer par le gaz et, dans la foulée, l'électricité, mais aussi sur le numérique avec ses enjeux de surveillance spatiale, de cybersécurité, d'intelligence artificielle et ses usages possibles pour la propagande, la désinformation. Plus structurelles encore, les réactions au changement climatique montrent notre dépendance aux matières premières pour les énergies de substitution ou de stockage, et l'entrecroisement étroit entre numérique et énergies. Enfin, à la fois conséquence et partiellement cause des trois précédents, le durcissement géopolitique entre les blocs diminue leur coopération et accroît leur conflictualité. Ainsi le multilatéralisme est-il battu en brèche au profit d'accords régionaux.

Les enjeux sont donc à la fois de survie, d'impact sur les niveaux de vie et de maîtrise de notre sort par des voies démocratiques. Ils impliquent de repenser les questions d'autonomie stratégique sous plusieurs angles : quelles sont les activités réellement stratégiques ? Quelle gouvernance est-elle utile pour les prendre en compte, et sur quel historique repose-t-elle ? À quels niveaux, national, européen, mondial, peut-on utilement

les traiter ? Quelles compétences faut-il pour cela ? Quelles technologies sont en jeu ? Quels financements sont nécessaires ? Sans traiter les aspects intrinsèques à la Défense et l'ensemble des infrastructures vitales, le présent article se focalise sur un aperçu de la situation française au regard de l'énergie et du numérique. En effet, sans fourniture d'énergie, pas de développement économique : l'histoire de celui-ci, depuis deux siècles et demi, a reposé largement sur un accès multiplié à l'énergie. Mais il n'y a pas non plus de développement sans information. De plus, il y a des liens toujours plus étroits entre énergie et information, et, plus spécifiquement, l'électricité et l'information ne vont pas l'une sans l'autre, pas seulement parce qu'il s'agit d'électrons, mais aussi parce que sans énergie, pas de numérique, et sans numérique, très peu d'énergies. Une brève description de l'état des lieux pour chaque domaine est complétée de quelques pistes d'action, dont certaines déjà entreprises.

## L'énergie : un glorieux passé, des défis majeurs

Les degrés d'indépendance ont évolué historiquement très différemment dans notre pays, en Europe et aux États-Unis, et, plus récemment, en Chine.

### Le cas de la France

En France, le souci d'autonomie stratégique pour l'énergie apparaît très tôt, lié à la guerre et aux crises.

Clémenceau demande du pétrole à Wilson lors de la bataille de Verdun en ces termes : « une goutte de pétrole vaut une goutte de sang ». Ainsi la loi de 1928, qui confie à l'État le monopole de l'importation du pétrole brut, qu'il délègue ensuite aux sociétés pétrolières, amorce-t-elle le développement d'une industrie pétrolière nationale : sans essence, point d'usines qui tournent, pas de transports, pas de logistique, une armée immobilisée et donc inutile. Cette industrie permettra, dans un pays qui, après l'épuisement de ses ressources charbonnières, dépendra à 80 % de ses consommations d'énergie en hydrocarbures importés, et devra disposer d'opérateurs lui assurant des approvisionnements diversifiés, tant pour le pétrole que pour le gaz. La création du CEA en 1945 va simultanément permettre d'assurer une indépendance stratégique avec la force de frappe, de réduire la dépendance énergétique grâce à la filière nucléaire civile avec son développement massif entre la fin des années 1970 et le début des années 1990 et de conférer un rôle accru à l'électricité dans les usages de l'énergie. Après les chocs pétroliers, amplifiés du choc dollar au début des années 1980, les politiques de maîtrise de l'énergie et de développement, limité, des EnR complètent le dispositif. Toutefois, un certain découplage apparaît entre politique d'offre et de demande, lorsque l'énergie est rattachée au ministère de l'Environnement en 2008, situation qui perdurera jusque mi-2022, avec la création d'un ministère de la Transition énergétique. Le plan de relance amorce un retour vers le nucléaire avec les petits réacteurs, et le discours de Belfort du Président de la République, en février 2022, relance la filière nucléaire des EPR, tandis que celui de juillet 2022 insiste en même temps sur la sobriété énergétique.

Les Livres blancs sur la Défense insistent, quant à eux, sur la sécurité d'approvisionnement en énergie, avec deux horizons : à long terme, afin d'éviter de manquer de ressources pour couvrir les besoins, ce qui implique une certaine surcapacité pour faire face aux crises ; à court terme, pour éviter une rupture d'approvisionnement et, si elle arrive, la compenser. Ils insistent aussi sur le fait que toutes les énergies ne sont pas systématiquement substituables. Ils soulignent à juste titre que la sécurité énergétique n'est pas synonyme d'indépendance ou d'autarcie : l'indépendance peut être source de fragilité, alors que l'interdépendance peut renforcer notre sécurité. Le marché, notamment intégré de l'UE, est le premier garant de notre sécurité. Il doit cependant être conforté par des politiques publiques pour garantir la sécurité d'approvisionnement. Cela concerne les infrastructures (redondances, diversification et tarification qui permettent les investissements de long terme<sup>1</sup>), et des règles et procédures. Enfin, ils insistent sur le fait que les vulnérabilités proviennent autant, si ce n'est plus, de l'interne que de l'externe. Dans le cas récent, c'est une concomitance d'événements internes (la faible disponibilité du parc nucléaire) et externes (la guerre d'Ukraine, les embargos sur le gaz et sanctions sur le pétrole) qui a abouti à une situation de crise.

<sup>1</sup> Voir, notamment, le numéro des *Annales des Mines – Responsabilité & Environnement* de janvier 2023, [https://annales.org/re/2023/re\\_109\\_janvier\\_2023.html](https://annales.org/re/2023/re_109_janvier_2023.html)

Plus récemment, le plan de relance de 100 milliards en consacre 34 à la transition énergétique, tous azimuts. Il est complété par France 2030, doté de 54 milliards et dont cinq des dix axes d'action concernent l'énergie : SMR, hydrogène vert, décarbonation de l'industrie, véhicules électriques et hybrides, et avions bas-carbone.

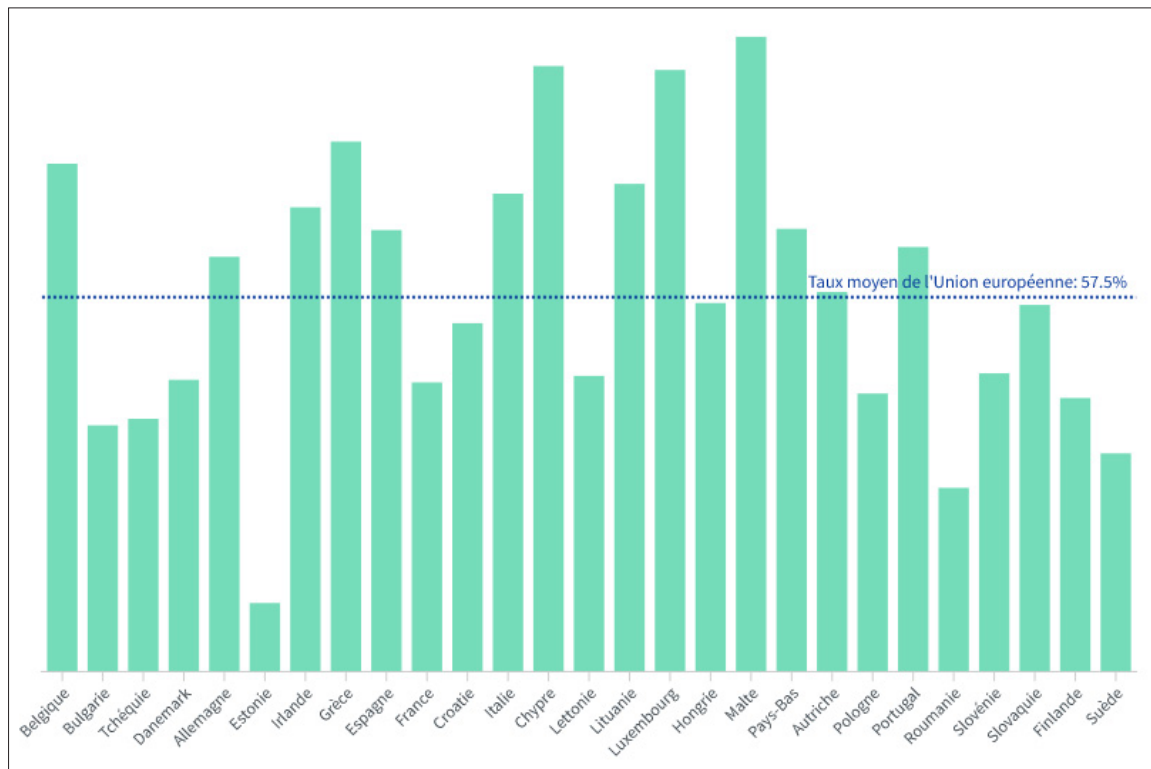
### L'Allemagne et l'Europe

Si l'Allemagne se lance, elle aussi, dans un programme nucléaire à la suite des chocs pétroliers, elle le fait à plus petite échelle, disposant, contrairement à la France, de ressources importantes de lignite et de charbon. Sa politique énergétique diffère ainsi de celle de notre pays, une divergence accentuée lorsque Gérard Schroeder facilite, après son départ du pouvoir, une politique plus intense d'échanges de gaz russe contre la vente de technologies allemandes, qui accroîtra la dépendance de son pays à la Russie, partant du constat qu'aux pires moments de la Guerre froide, la Russie n'a jamais cessé ses fournitures d'hydrocarbures à l'Ouest. Angela Merkel, qui lui a succédé, maintient un parc nucléaire dont son prédécesseur avait déjà avalisé politiquement la régression. Elle change d'avis à la suite de Fukushima, contrairement aux autres grands pays industrialisés, ce qui induira une dépendance accrue à la Russie. Les Accords de Paris la conduisent à accélérer une politique en faveur des renouvelables, et à la promouvoir très activement dans les instances de l'UE, tant au niveau de sa R&D<sup>2</sup> que de sa réglementation et de la taxonomie, politique qu'amplifiera Olaf Scholz<sup>3</sup>. En outre, elle tarifie l'énergie plus chèrement aux ménages et moins aux entreprises – contrairement à l'équilibre qui prévaut en France –, ce qui aboutit à des investissements plus importants des premiers dans le verdissement de leur habitat. L'invasion de l'Ukraine et ses conséquences vont mettre en évidence le risque de dépendance stratégique, qui, du fait du poids allemand dans l'Union, va aggraver les tensions créées simultanément dans d'autres États membres par la guerre.

Concomitamment, les engagements du Conseil européen de décembre 2020, durcissant les objectifs de l'Union de réduction des émissions de gaz à effet de serre de - 40 à - 55 % en 2030 et de l'atteinte d'une neutralité carbone en 2050, impliquent des modifications profondes de son mix énergétique et de ses consommations, requérant des investissements qui se chiffrent

<sup>2</sup> Le programme Horizon Europe comporte environ 15 milliards pour le *cluster* 5 dédié à l'énergie, au climat et aux transports verts. S'y ajoutent les PIEEC pour les batteries et l'hydrogène. Le rôle de l'UE en faveur du nucléaire, *via* Euratom, est au regard de ces montants très faible, et porte, entre autres, sur des aspects qui tendent à ajouter des contraintes.

<sup>3</sup> Le niveau d'ambition du gouvernement fédéral pour l'Energiewende a crû avec la coalition élue en 2021, la part des énergies renouvelables visée pour le mix électrique d'ici à 2030 a été fixée à 80 % (contre 47 % en 2022). Compte tenu de l'intermittence des EnR, qui impose des importations de gaz à défaut pour l'Allemagne de bénéficier de nouvelles ressources nucléaires, cela implique pour elle de demeurer dépendante de ressources gazières importées, dont une part coûteuse de GNL.



Graphique 1 : Taux de dépendance énergétique des pays de l'Union en 2020 – Source : Eurostat.

à l'échelle européenne en milliards d'euros<sup>4</sup>, et, pour la France, autour de 70 milliards par an.

### Une Europe très dépendante

Plus globalement, l'Europe est dépendante à 95 % de l'extérieur pour ses approvisionnements en pétrole, aux deux tiers pour le gaz, et presque autant pour le charbon. Globalement, l'Europe était dépendante énergétiquement à hauteur de 57,5 % en 2020, un taux de dépendance qui n'a cessé de se détériorer depuis 2001 (47,4 %).

La France, dépendante à 44,4 %, fait figure de bon élève dans cet ensemble, compte tenu d'une quasi-absence de ressources d'hydrocarbures et d'une production charbonnière nulle.

Mais, il est illusoire de s'abstraire du contexte européen, le moins favorable des trois plus grandes puissances mondiales en termes de dépendance. Renverser la tendance qui a prévalu durant vingt ans, alors même que les États-Unis et la Chine s'assurent d'une plus grande indépendance, suppose une politique de décarbonation qui ne peut se satisfaire seulement des EnR et implique des importations de gaz et de métaux et terres rares. Cela implique aussi une relance du nucléaire en Europe ; amorcée en France, elle s'ébauche dans quelques autres pays de l'Union

<sup>4</sup> Pour la France, les évaluations des investissements nécessaires d'ici 2030 oscillent de 22 à 100 milliards par an, selon les méthodes. France Stratégie évoque l'équivalent de 2,5 points de PIB, <https://www.i4ce.org/publication/edition-2022-panorama-financements-climat/> et <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-na114-action-climatique-pisani-mahfouz8novembre2022-20h.pdf>

(Pays-Bas, Pologne, République tchèque, Suède) et se poursuit au Royaume-Uni. La Belgique, quant à elle, a stoppé son programme de fermetures.

### Les États-Unis : une course à l'indépendance

En position de « gendarme du monde » après la fin de la Guerre froide, les États-Unis, qui consommaient 16,2 % de l'énergie mondiale en 2019, ont développé une stratégie énergétique reposant, d'une part, sur une faible taxation des sources carbonées (d'où des émissions par habitant presque du double de celles de l'UE) et, d'autre part, sur un accès aux hydrocarbures mondiaux, couplé à une diplomatie garantissant leur accès à ces ressources, et, enfin, sur le développement des ressources de la fédération. Le tout conduisait à une production d'énergies primaires fossiles pour plus des trois quarts du total, contre environ 10 % de nucléaire et 13 % d'EnR. Toutefois, depuis 2001, ils ont mené une politique, certes variable selon les gouvernements au pouvoir, mais qui les a amenés globalement à passer d'une situation de dépendance pour un tiers de leurs énergies à une situation globalement exportatrice en 2022. Les efforts conduits sont multiples : si la production charbonnière régresse, le gaz et le pétrole extraits par *fracking* croissent ; les EnR également, et un effort massif de R&D a été lancé par Obama à la suite de la crise de 2008. Les États-Unis sont devenus exportateurs nets de pétrole en 2020, même si l'indépendance globale en valeur n'implique pas une autarcie. Elle conforte leur résilience dans un contexte de durcissement géopolitique (et, dans une certaine mesure, elle facilite aussi ce durcissement).

Enfin, l'Inflation Reduction Act (IRA), promulgué le 16 août 2022, reflète surtout un plan de 370 milliards dédiés à la réduction des émissions de gaz à effet de serre passant de 50 à 52 % d'ici à 2030 par rapport à 2005. Et comme tel, il pèsera massivement sur l'énergie, sa production et ses consommations, tout en privilégiant les sources nationales, et contribuera donc à renforcer une situation d'indépendance (sauf peut-être pour les matières premières).

L'UE et ses États membres ont réagi, notamment par des visites d'État aux États-Unis, et lors du Conseil européen<sup>5</sup> du 9 février 2023. D'où il devrait résulter plutôt des réponses de type confédéral (assouplissement par l'Union de ses règles sur les aides d'État, et donc des dépenses par les États eux-mêmes, mais avec des situations budgétaires contrastées), plutôt qu'une réponse de type fédéral, comme cela avait été le cas pour le Covid-19. Il est trop tôt, à l'heure où ces lignes sont écrites, pour en faire un bilan.

### La Chine

Premier producteur (18,4 %) et premier consommateur (23,5 %) d'énergie primaire au monde, la Chine est dans une situation intermédiaire par rapport à celle des États-Unis et à celle de l'Europe au regard du critère d'indépendance énergétique. En 2019, elle était ainsi dépendante à hauteur de 21 % pour ses besoins d'énergie primaire. Son mix énergétique est très différent de celui des deux autres grands blocs : 61,2 % de charbon (soit 50,8 % de la production mondiale, 53,8 % de la consommation mondiale et 19,5 % des importations mondiales, bien que sa production couvre 98,8 %

de ses besoins en charbon), 19,1 % de pétrole, 8,7 % d'électricité, 7,3 % de gaz naturel et 3,7 % de bois.

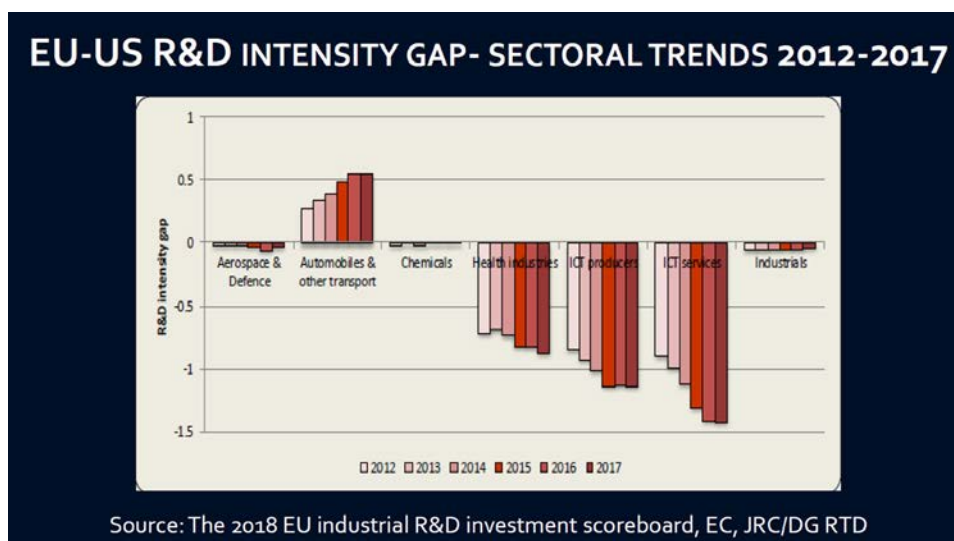
Cette approche quantitative est cependant insuffisante. La Chine mène une politique très active dans tous les domaines, en matière d'accès aux ressources carbonées de pays tiers (dont la Russie, l'Iran et le Kazakhstan), de décarbonation (nucléaire, EnR avec une position très forte dans le solaire photovoltaïque, économies d'énergie), d'adaptation des consommations (véhicules électriques à coût réduit, batteries). Et, par ailleurs, elle maîtrise, sur et en dehors de son territoire, une part majeure des matières premières requises pour la transition écologique, ce qui est un défi majeur pour les stratégies des autres pays<sup>6</sup>.

### Le Numérique

Dans ce domaine, plus que dans l'énergie, l'UE accuse un retard sur les États-Unis, et la montée en puissance de la Chine est rapide.

De plus, la Chine progresse rapidement tant dans les brevets que dans les publications scientifiques, en particulier dans le numérique.

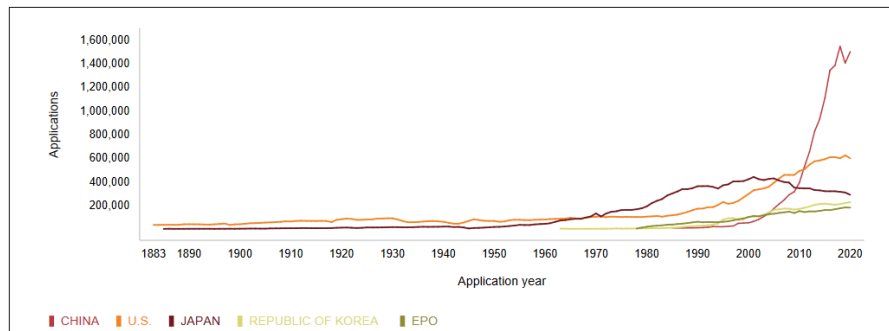
Or, si après la Seconde guerre mondiale être une grande puissance impliquait d'être une puissance nucléaire, le numérique a progressivement pris une place comparable depuis soixante-dix ans : en cause, d'abord les technologies spatiales, version moderne du conseil de Clausewitz de maîtriser les hauteurs. Puis se sont accumulés deux types d'analyses : les premières portent sur les risques liés à l'absence de souverai-



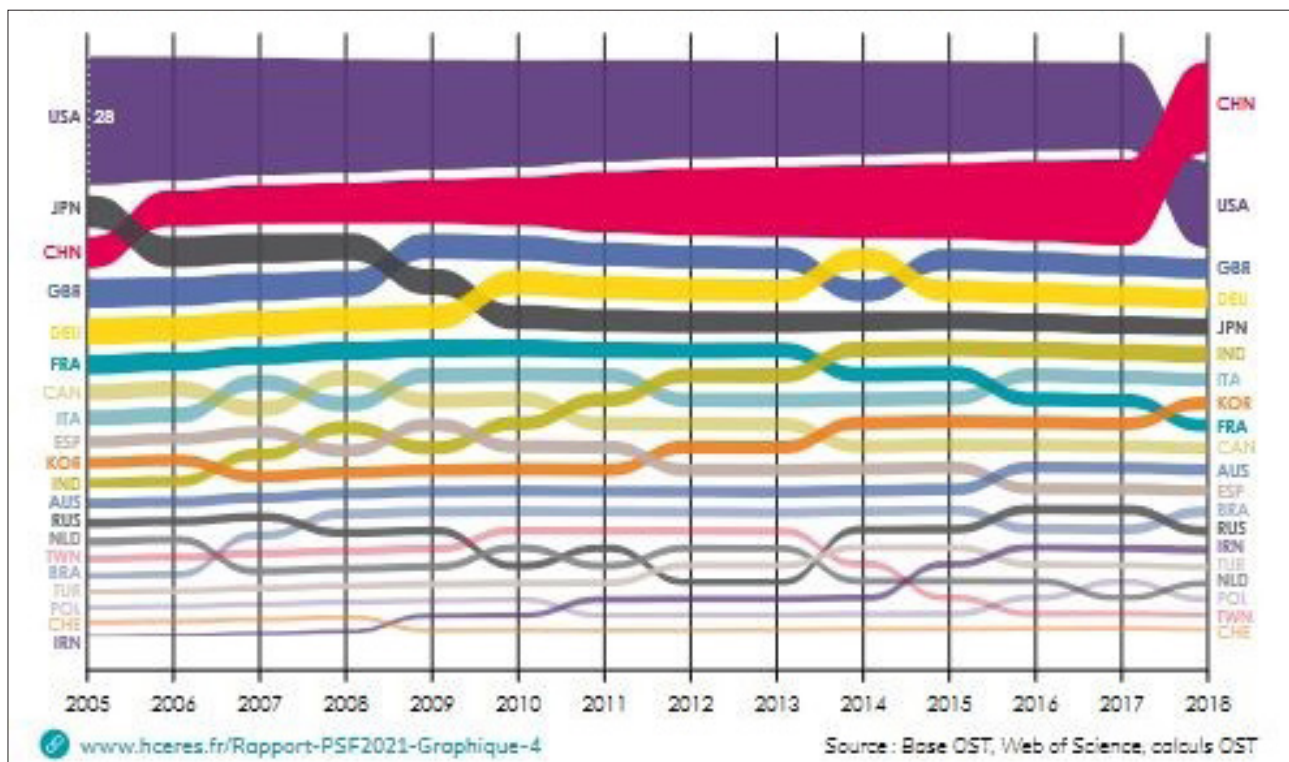
<sup>5</sup> « Face à la nouvelle réalité géopolitique, l'Union européenne agira avec détermination pour assurer sa compétitivité et sa prospérité à long terme ainsi que son rôle sur la scène mondiale. L'Union européenne renforcera sa souveraineté stratégique et adaptera sa base économique, industrielle et technologique aux transitions écologique et numérique. Elle approfondira le marché unique et assurera des conditions de concurrence équitables tant à l'intérieur de ses frontières qu'à l'échelle mondiale », <https://www.consilium.europa.eu/media/62017/2023-02-09-euco-conclusions-fr.pdf>

Graphique 2 : Évolution des écarts entre la R&D de l'Union européenne et celle des États-Unis par secteurs : la prééminence américaine dans le numérique (d'après Patricia Nouveau, UC de Louvain).

<sup>6</sup> Voir, par exemple, le rapport Varin, <https://www.economie.gouv.fr/gouvernement-devoile-strategie-securiser-approvisionnement-metiaux-critiques>



Graphique 3 : Demandes de brevets déposées auprès des cinq principaux offices de brevets – Source : OMPI rapport sur les dépôts de brevets en 2021.



Graphique 4 : Part mondiale des publications scientifiques des vingt premiers pays (en %). Durant la précédente décennie, la Chine monte rapidement, la part relative des États-Unis descend, l'UE stagne, la France régresse et la Russie reste contrainte économiquement.

neté numérique (dépendance économique, perte de compétitivité, déclassement militaire, espionnage par des puissances ou des entreprises étrangères, disruption du fonctionnement de l'économie, fuite des compétences, affaiblissement des institutions et de la vie démocratique). Les secondes concernent les technologies clés en cause :

- l'espace, pour son rôle dans l'observation de la Terre et le fonctionnement de systèmes de positionnement désormais omniprésents (comme le GPS). Pour ces technologies l'Europe, notamment entraînée par la France dès les années 1960, avait une position forte, mais elle est confrontée désormais au défi du « New space », des bouquets de microsatsellites et des lanceurs réutilisables avec des acteurs privés américains (SpaceX, Blue Origin) et chinois (qui, par exemple, ont marqué les esprits par la prouesse

de leur alunissage sur la face cachée de la Lune en janvier 2019, mais aussi, dès 2007, par la démonstration de leur capacité de destruction de satellites) ;

- les semi-conducteurs et la nanoélectronique, dans un contexte où le monde est passé en vingt ans d'une vingtaine d'acteurs avec des technologies à 13  $\mu\text{m}$  à deux maîtrisant le 3 nanomètre, et d'autres, dont les Européens, tentant leur chance sur des architectures 3D complexes. La pénurie observée lors de la crise du Covid a montré, au-delà des spécialistes, combien leur maîtrise était cruciale, amenant le commissaire Breton à plaider pour que l'UE revienne de 10 % de la production mondiale vers 20 % ;
- la cybersécurité, sans laquelle aucune stratégie publique ni privée n'est viable. Dans ce domaine, les compétences mathématiques et les talents de

l'INRIA et de l'ANSSI sont des atouts pour la France, ainsi que pour la sécurité des infrastructures du *cloud*, la qualification SecNumCloud et son extension progressive dans l'Union ;

- le calcul à haute performance, initialement développé pour satisfaire des besoins liés à la force de frappe, et dont les usages sont désormais cruciaux pour gérer des masses immenses de données (à échelle mondiale, les données produites atteignaient 10 zettaoctets en 2021) et permettre les développements de l'intelligence artificielle à une vitesse suffisante pour donner des résultats quasi immédiats (comme dans Chat GPT). La France dispose en la matière d'atouts, qui ont fait l'objet d'un autre article récent des *Annales des Mines*<sup>7</sup>. L'Europe s'est également investie<sup>8</sup> ;
- les *Big Data* et le *cloud*, quant à eux, ont été marqués par l'évolution du cadre juridique les concernant. Au départ, était en cause l'entraide judiciaire internationale couverte par la convention de Budapest de 2001.

Les États-Unis, à la suite d'attentats terroristes, légifèrent le Patriot Act (adopté le 26 octobre 2001 et prolongé le 9 mars 2006 et le 26 mai 2011), qui donne au FBI accès aux bases de données personnelles des fournisseurs d'accès à Internet et des opérateurs privés. Le Cloud Act (23 mars 2018), quant à lui, donne aux forces de l'ordre américaines accès aux données personnelles sans que l'intéressé soit informé, ni son pays de résidence et ni le pays où sont stockées ces données. Il a un impact sur l'extraterritorialité du droit avec des enjeux géopolitiques majeurs (l'usage du dollar ou potentiellement seulement des mails portant sur une transaction non libellée en dollar légitime une action de la justice américaine).

Concomitamment, la Chine met en place un contrôle de l'Internet par ses autorités et une obligation, pour l'exercice d'activités économiques sur son sol, soit d'avoir recours à des sites gérés en Chine, soit de disposer d'un domaine .cn, avec effets équivalents. En parallèle, les FAI d'origine chinoise croissent rapidement.

L'UE réagira en plusieurs temps : d'abord avec le RGPD, adopté en 2016 et entré en vigueur en 2018, puis au travers d'une série plus récente de législations majeures<sup>9</sup> : en 2022, le règlement sur les marchés numériques (DMA), le règlement sur les services numériques (DSA) et la loi sur la gouvernance des données<sup>10</sup>, et, enfin, en 2023, la loi sur les données.

- l'intelligence artificielle a, quant à elle, des applications dans l'industrie, la finance, l'assurance, les

transports, la santé, l'emploi, le commerce, l'éducation, mais aussi la Défense. Elle a connu une effervescence dans les années 1980, puis une retombée, et de nouveau une montée en puissance à compter de 2013 du fait des puissances de calcul. À la fin de la décennie 2010, elle suscite des ambitions fébriles, soutenues par les gouvernements des grandes puissances, aux États-Unis d'abord, puis en Chine et en Europe.

Ainsi le gouvernement américain mène-t-il une course en tête sur la R&D, publique, puis privée, avec, par exemple, un plan quinquennal lancé en 2018 et dotant la DARPA de deux milliards de dollars. Les GAMAM investissent lourdement sur le sujet (Amazon avec Alexa, Google, Facebook par R&D interne et des fonds...). Et les États-Unis jouent un rôle majeur sur les investissements dans les écosystèmes de *start-ups* (38 % du total mondial).

La Chine, quant à elle, a lancé en juillet 2017 un plan pour être le leader mondial en 2030 de l'IA et construire une industrie nationale d'environ 150 milliards de dollars. Il prévoit un soutien en capital, en orientation des marchés et en renforcement des liens entre les entreprises, les instituts de recherche et les organismes militaires. Il incite les gouvernements locaux à créer des plans locaux et à développer des centres de R&D en IA (par exemple, à Xiantang (2 Mds\$)). Il prévoit de s'appuyer sur la taille du marché intérieur, estimant que la Chine produit 13 % des données mondiales et espère arriver à 20-25 % en 2020, surpassant alors les États-Unis : passant de 364 exabits en 2012 à 8,6 zettabits en 2020, contre une progression de 898 exabits à 6,6 zettabits pour les États-Unis. Il vise à rapatrier en Chine les chercheurs aux États-Unis ayant des liens avec la Chine. 43 % des meilleurs articles académiques sur l'IA sont publiés en comptant un ou plusieurs Chinois parmi leurs auteurs. Il s'appuie sur ses grandes plateformes (Baidu, Tencent, Alibaba) et leurs centres de recherche. Il est concomitant avec un plan de quinze ans lancé sur les sciences cognitives. Et il insiste sur les investissements pour les *fintechs*, l'assurance et les détections de fraudes.

La France, quant à elle, a lancé un plan en 2018 qui porte sur le développement d'un écosystème de l'IA (talents, réseau de R&D et expérimentations), sur l'ouverture des données (favorable aux *start-ups*), sur le financement de projets français et européens (santé, véhicule autonome) et sur l'éthique.

Simultanément, le 28 avril 2018, la Commission annonce un soutien en trois points (marchés, éthique et R&D) et son intention d'accroître son investissement en matière d'IA de 1,5 G€ sur la période 2018-2020 dans le cadre du programme Horizon 2020. Cet effort se poursuit depuis<sup>11</sup>.

- les *blockchains* qui permettent de décentraliser la valeur, comme Internet l'a fait avec l'information. Ainsi, tout internaute peut créer et échanger ses

<sup>7</sup> ANDRÉ Jean-Claude & ROUCAIROL Gérard, *Compétitivité et calcul à haute performance*, <https://annales.org/ri/2021/ri-novembre-2021/2021-11-17.pdf>

<sup>8</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/high-performance-computing>

<sup>9</sup> [https://annales.org/ri/2022/ri\\_aout\\_2022.html](https://annales.org/ri/2022/ri_aout_2022.html)

<sup>10</sup> [https://annales.org/enjeux-numeriques/2022/en\\_18\\_06\\_22.html](https://annales.org/enjeux-numeriques/2022/en_18_06_22.html)

<sup>11</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence>

propres actifs de valeur avec l'internaute de son choix, (quasi) instantanément, sans nécessiter la permission d'un tiers. Si les applications les plus répandues sont les cryptoactifs (traités par ailleurs dans ce numéro), un très grand nombre de *start-ups* prospèrent sur cette technologie<sup>12</sup>, avec une prédominance marquée des États-Unis en termes de capital-risque. 30 milliards de dollars ont ainsi été investis en capital risque en 2022, après 19,4 milliards en 2021.

## Quelles synergies ?

À l'évidence, le numérique ne peut fonctionner sans électricité, et si des batteries (qui relèvent aussi de technologies numériques) peuvent limiter les blocages liés à des pannes temporaires, aucun système numérique n'est viable sans un dispositif énergétique capable de fournir de l'électricité d'une qualité et d'une puissance adéquates. La réciproque est moins simple, ce que l'on peut illustrer de mille exemples. En voici quelques-uns :

- les réseaux électriques du futur, avec des sources décentralisées d'EnR nombreuses et intermittentes, vont requérir, tant pour l'ajustement instantané que pour la cybersécurité, des logiciels et architectures nouveaux ;
- les jumeaux numériques sont un puissant moyen de faire des gains de productivité pour la conception et le montage d'objets complexes, qu'il s'agisse de plateformes éoliennes en mer ou de centrales nucléaires ;
- l'Internet des objets permet une maintenance plus efficiente, préventive et moins consommatrice d'énergie ;
- l'économie circulaire contribue à la sobriété énergétique, et requiert pour cela des places de marché qui sont numériques ;
- l'intelligence artificielle permet des économies d'énergie majeures, qu'il s'agisse des transports multimodaux verts, des bâtiments ou des villes intelligentes ;
- l'observation spatiale permet des pratiques agricoles plus sobres en intrants, eux-mêmes consommateurs d'énergie ;
- la part de numérique dans la valeur des véhicules (voitures, camions, trains électriques, navires à propulsions mixtes, avions) croît constamment et peut contribuer à la réduction de leurs émissions de GES ;
- les analyses globales sur les technologies clés menées au niveau français<sup>13</sup> et les « key enabling technologies » au niveau européen<sup>14</sup> convergent également pour les priorités : les principales évolutions sont surtout tirées par le numérique (capteurs,

Internet des objets, *Big Data*, modélisation, cobotique, intelligence artificielle, infrastructures 5G, technologies immersives...), en interaction avec des *clusters* Énergie (production et usages, avec des montants amplifiés par les enjeux climatiques) et Santé/biotechs.

Ces différents éléments justifient la multidisciplinarité des programmes de R&D tant nationaux qu'europeens, pour réduire les émissions de GES et améliorer l'efficacité énergétique. La présidence française de l'Union a insisté simultanément sur l'autonomie stratégique de l'Union, de janvier à juin 2022 sur le numérique<sup>15</sup> et en mars sur l'énergie<sup>16</sup>. Cette dynamique se poursuit, quoique la guerre d'Ukraine conduise simultanément, via l'OTAN, à conforter l'influence américaine.

<sup>12</sup> [https://media.lesechos.com/api/v1/images/view/63c0f4226416bd485b6734cb/contenu\\_article/image.jpg](https://media.lesechos.com/api/v1/images/view/63c0f4226416bd485b6734cb/contenu_article/image.jpg)

<sup>13</sup> <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/technologies-cles-2020> et priorités de France 2030.

<sup>14</sup> [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/accelerating-technological-change-hyperconnectivity/key-enabling-technologies-kets\\_en?etrans=fr](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/accelerating-technological-change-hyperconnectivity/key-enabling-technologies-kets_en?etrans=fr)

<sup>15</sup> <https://www.economie.gouv.fr/bilan-pfue-des-avancees-remarquables-sur-le-volet-numerique>

<sup>16</sup> <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Evenements/9c629852-dab0-449e-9ff8-64ed5dedc55e/files/413b0b0c-fd19-42b6-8494-5d0c6cbac919>, et <https://www.economie.gouv.fr/conference-reussir-transition-acces-energie-decarbonee-finance-durable>