

Mémoire de recherche / septembre 2024



Diplôme national de master

Domaine - sciences humaines et sociales

Mention - sciences de l'information et des bibliothèques

Parcours - Archives numériques

MEMOIRE

Géopolitique de l'espace numérique et transition numérique

Vincent Vallée

Sous la direction de Pascal Robert
Professeur des universités - École nationale supérieure des sciences de
l'information et des bibliothèques

Remerciements

Je remercie M. Robert pour cette proposition de mémoire, ainsi que M. Gawin pour les enseignements en éthique et méthodologie de la recherche, qui ont tous les deux donné de la profondeur à cette année de Master.

Je remercie également tous les amis et collègues qui m'ont accompagné pendant la rédaction de ce mémoire.

Résumé :

Peu intégrées dans les représentations des utilisateurs, les infrastructures de transport et de traitement des données numériques sont au cœur d'une économie mondialisée, générant profits et luttes d'influences entre acteurs privés et publics à l'échelle mondiale. À l'heure d'une restructuration du réseau Internet autour des grands centres de traitement de données mobilisés via « l'informatique en nuage », ce mémoire utilise les concepts de la géopolitique pour remonter le fil de la donnée et aborder les questions de souveraineté, de développement durable et de citoyenneté.

Descripteurs :

Acteurs, représentations, luttes d'influence, câbles sous-marins, centres de données, informatique en nuage, géopolitique des données, plateformes d'intermédiation, services numériques, optimisation des réseaux de distribution, edge computing, routeurs, datasphère, transition écologique, transition numérique

Abstract:

Unseen and sometimes inthanked, digital infrastructures such as cables and data centers are needed to process the huge amount of digital data being stored and used with cloud computing services. With global rivalries all around the globe, including public and private actors led by the big American and Chinese tech companies, let us go upstream in the data flow and use geopolitical approach to explore economic fields and address issues about sovereignty, sustainable development and citizenship.

Keywords:

Cloud computing, data centers, content delivery network, GAFAM , edge computing, Big tech, submarine cables, soft power, world politics



Cette création est mise à disposition selon le Contrat : « **Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France** » disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr> ou par courrier postal à Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Sommaire

INTRODUCTION.....	9
PARTIE I : UNE APPROCHE GEOPOLITIQUE DE L'ESPACE NUMERIQUE.....	13
Avant-propos : Histoire de la méthode géopolitique.....	13
A – Appréhender l'espace numérique.....	18
<i>A1 – Une histoire de l'Internet : vers l'informatique en nuage.....</i>	<i>18</i>
<i>A2 – Le cyberspace et ses enjeux.....</i>	<i>24</i>
B – Eléments géopolitiques.....	31
<i>B1 – Le jeu institutionnel des États.....</i>	<i>31</i>
<i>B2 – Une géopolitique des données.....</i>	<i>38</i>
PARTIE II : MATERIALITES ET ACTEURS DU MONDE NUMERIQUE.....	49
A. Les câbles sous-marins, colonne vertébrale de l'Internet mondial.....	49
<i>A1 – Histoire d'une infrastructure stratégique.....</i>	<i>49</i>
<i>A2 – Acteurs et enjeux contemporains.....</i>	<i>58</i>
B. Au bout des câbles, des centres de données.....	66
<i>B1 – Caractérisation des centres de données.....</i>	<i>66</i>
<i>B2 – Les acteurs des offres de service en cloud computing.....</i>	<i>79</i>
PARTIE III : LES ENJEUX DE LA TRANSITION NUMERIQUE.....	91
A. Le numérique, problème ou solution de la transition énergétique ?.....	91
<i>A1 – Evaluer les impacts du numérique.....</i>	<i>91</i>
<i>A2 – La transition numérique comme horizon.....</i>	<i>110</i>
B. Politiques numériques et citoyenneté en France et en Europe.....	123
<i>B1 – Stratégie européenne.....</i>	<i>123</i>
<i>B2 – Feuille de route pour la France.....</i>	<i>127</i>
CONCLUSION.....	131
SOURCES OU CONSTITUTION DU CORPUS.....	133
<i>Corpus juridique et réglementaire.....</i>	<i>133</i>
<i>Rapports et études publics.....</i>	<i>134</i>
<i>Veille économique, environnementale et institutionnelle.....</i>	<i>135</i>
<i>Bases et données en ligne.....</i>	<i>141</i>
<i>Podcasts.....</i>	<i>142</i>
BIBLIOGRAPHIE.....	143
<i>Matières premières et industries de l'informatique.....</i>	<i>143</i>
<i>Infrastructures de calcul, stockage et réseau.....</i>	<i>143</i>

Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.

<i>Dynamiques économiques et géopolitiques</i>	144
ANNEXES	149
GLOSSAIRE	171
TABLE DES ILLUSTRATIONS	175
TABLE DES MATIERES	177

« La notion de groupes, dit M. Vidal de la Blache, tend à se substituer à celle d'État dans la conduite des affaires du monde. »

Lucien Gallois, 1918, dans *La France de l'Est* par P. Vidal de la Blache

INTRODUCTION

Le 4 avril 2024, un collectif appelé « stop-micro » organise un weekend de manifestations à Grenoble (Isère), mettant en cause l'accaparement de la ressource en eau par les entreprises *STMicroelectronics* et *Soitec*, références mondiales dans la fabrication de puces électroniques installées dans la toute proche vallée du Grésivaudan. Derrière cet évènement, c'est un ensemble d'acteurs qui se mobilise, dénonçant une vision du développement économique en contradiction avec les principes de développement soutenable pour la planète et une numérisation « forcée » des vies humaines. Des tracts diffusés par le collectif vont plus loin et soulignent la place prégnante de la microélectronique dans l'industrie de guerre. Plus tard, une conférence retrace l'histoire industrielle de Grenoble, liée depuis plusieurs siècles à la mobilisation de l'énergie hydraulique¹. En croisant des thématiques locales et internationales, en mobilisant le recul historique dans l'appréhension des phénomènes et en intégrant une pluralité d'acteurs issus de la société civile (associations, historiens, ingénieurs), cette manifestation intègre les principaux concepts de l'analyse géopolitique autour d'un sujet prégnant : la place croissante qu'occupe le numérique dans la marche du monde est-elle soutenable pour la planète ? Et au-delà de l'aspect environnemental, quels impacts l'immixtion du numérique dans toutes les couches de la vie sociale, politique, économique des individus génère-t-elle ?

La méthode géopolitique, décrite par le géographe Yves Lacoste dans les années 1970, peut être définie comme l'étude des rivalités de pouvoirs entre acteurs sur un ou plusieurs territoires, tout en intégrant le recul historique dans la compréhension des phénomènes étudiés. Cette discipline propose d'étudier, à différentes échelles, les mécanismes d'interaction, les relations de pouvoirs et de dépendance qui se jouent sur un territoire. Les États, traditionnellement aptes à défendre le cadre de leurs prérogatives et de leur souveraineté, sont couramment identifiés comme les premiers acteurs dans le jeu des relations internationales, mais sont vite rejoints par une multitude d'autres intervenants (acteurs économiques, associatifs, instances de gouvernance, groupes d'influences divers), qui jouent aujourd'hui un rôle particulièrement fort dans le terrain étudié. La géopolitique, renouvelée dans ses concepts, invite également à nuancer les visions monoblocs ou englobantes de camps « figés » dans des positions déterministes, qui simplifieraient une réalité également faite de questionnements internes et de dynamiques locales (dans notre cadre d'analyse, la question de la neutralité du net et les débats que celui-ci suscite, par exemple aux États-Unis ou dans la communauté Internet, est un bon exemple, tout comme les dynamiques locales d'implantation des centres de données sur les territoires régionaux). Acteurs, territoire, interactions et jeux de puissance. Ces trois (ou quatre) notions clés de la géopolitique sont rejoints et englobés par la notion de représentation, qui donne à voir une réalité mise en forme. Les luttes

¹ Grenoble est la capitale du Dauphiné sous l'Ancien Régime (1349-1789), siège du Parlement de la Province et ville de garnison militaire Alpine aux portes de la Savoie et de l'Italie. Au 19^e siècle, Grenoble devient une grande ville universitaire et industrielle, sous l'impulsion d'un vivier d'ingénieurs comme Aristide Bergès, installateur des premières conduites forcées d'eau à Lancey en 1867, Casimir Brenier, industriel à l'origine de la création de l'Institut polytechnique de Grenoble en 1907, d'hommes politiques comme Paul Mistral, Maire de Grenoble de 1919 à 1932, et de scientifiques comme Louis Néel, créateur de la chair de physique à la faculté de Grenoble en 1945, à l'origine du développement d'un important complexe de recherche appliquée, et Prix Nobel de physique en 1970. L'énergie hydro-électrique issue de l'exploitation de la force motrice des affluents de l'Isère sert depuis le 18^e siècle de moteur au dynamisme grenoblois dans les secteurs de la ganterie, la papeterie, la cimenterie puis aujourd'hui de l'industrie de la microélectronique (Favier, 2010).

d'influence entre acteurs ne passent pas toujours par le cadre d'un conflit armé, mais mobilisent d'autres mécanismes capables de générer des effets de levier puissants pour la promotion de leurs intérêts.

Dans ce mémoire, le cadre d'analyse soumis à l'étude est celui de l'espace numérique, également appelé cyberspace. Il convient dans un premier temps de définir celui-ci, dans ses acceptations virtuelles et matérielles (partie I-A), pour tenter d'en cerner les grands enjeux en termes de gouvernance internationale et de terrain d'expression pour les géants de l'Internet (I-B). Un retour sur l'histoire de l'Internet est ici proposé, afin de mieux comprendre les dynamiques qui conduisent à son actuelle mutation. On assiste depuis le début des années 2000 à une évolution profonde de l'architecture du net, faisant évoluer celle-ci d'un modèle décentralisé et pair-à-pair (*peer-to-peer*), où chaque hôte est à la fois client et serveur, c'est-à-dire demandeur et hébergeur de données, à un modèle mutualisé capitalisant sur les puissances de calcul et capacités de stockage de centres de données auxquels se connectent les terminaux des utilisateurs. L'extraordinaire envolée des volumes de données échangées est en grande partie captée par les géants de l'Internet et mise à profit dans les modèles économiques triomphants de la prestation de services en ligne, sous la forme du « *cloud computing* », ou informatique en nuage. Ce modèle questionne les États sur les étendues de leurs juridictions, et les oblige à se positionner dans le cadre des instances internationales et de leurs législations nationales.

La deuxième partie propose de suivre et remonter le « fil » des données (II-A), depuis l'origine des premiers câbles télégraphiques jusqu'aux centres de données géants (centres dits « *hyperscale* ») notamment hébergés par les grandes plateformes d'intermédiation internationales des GAFAM (*Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft*), superpuissances du numérique (II-B). Nous voyons ici les États-Unis déclarer la paix universelle au monde dans le cadre du premier message télégraphique intercontinental, et constituer tout au long des 19^e et 20^e siècles des infrastructures de communication stratégiques qui sous-tendent une partie de la chaîne logistique des grands conflits du 20^e siècle. Nous voyons également les acteurs de télécommunication américains et européens être les chevilles ouvrières de la constitution de ce réseau international pendant plus d'un siècle, avant d'être finalement rejoints par les géants de l'Internet américains et chinois. Ceux-ci étendent leur influence au-delà de leur cœur de métier historique, la fourniture de services numériques, pour s'étendre verticalement sur toute la « chaîne de valeur » de leur activité, de la pose des câbles terrestres et sous-marins de fibre optique à l'hébergement des données. Ces opérations optimisent le réseau pour permettre la diffusion grand volumes de contenus toujours plus gourmands en bande-passante et reconfigurent l'espace physique de l'Internet, dans des proportions nouvelles qui se dessinent désormais assez nettement, mais dont les étendues possibles nous dépassent.

Enfin, nous proposons en troisième partie une étude sur les impacts écologiques et sociétaux posés par le numérique (III-A), et les enjeux actuels de gouvernance qui se posent aux acteurs français dans le cadre européen (III-B). Les impacts du numérique, parfois difficiles à évaluer de par l'aspect englobant et le « bénéfique utilisateur » (*consumer welfare*) que celui-ci propose, émerge pourtant dans les représentations et prises de conscience collective. Les évaluations environnementales menées par les instances de régulation françaises et européenne tentent de cerner les impacts environnementaux du numérique, tout en émettant des recommandations d'usage invitant à la sobriété et la durabilité. Ces prises de

conscience sont possiblement renforcées par des *reporting* ou publications d'acteurs privés montrant ce qu'il se passe *là-bas*, par exemple dans les lieux d'extraction miniers servant à l'excavation et au raffinage de composants minéraux, et qui contraste fortement avec l'image épurée donnée à voir par les acteurs du numérique *ici*. Les préconisations publiques appelant à la sobriété, au caractère non contraignantes, ne sont pas nécessairement retenues dans les scénarios prospectifs sur l'évolution des usages, qui prévoient une croissance des données interrogeant la capacité du numérique à résoudre des problèmes qu'il contribuerait lui-même à créer. L'optimisme invite à croire en la capacité des acteurs publics et des forces citoyennes à construire un numérique performant et résilient, évoluant vers des usages cohérents.

Pour mener ce travail d'enquête sur les nouvelles configurations du numérique, et les représentations toujours en cours de construction qu'il suscite, nous avons mobilisé un double terrain. L'ossature du mémoire est constituée de ressources scientifiques, principalement issues du domaine des sciences humaines, allant parfois jusqu'au droit et à l'économie, s'appuyant également sur l'approche géopolitique développée dans le cadre de la revue *Hérodote* et mobilisant un article issu de la revue *Science* sur l'impact écologique des centres de données. Celui-ci, mis en avant par *Google* dans ses communications, acte l'efficacité énergétique des centres de données géants de type « *hyperscale* », piliers de l'Internet en nuage et appelés à se renforcer encore dans les années à venir avec la mutualisation et la concentration des centres de données en cours. Ce corpus peinant à couvrir l'intégralité de l'étendue du sujet, notamment du fait des reconfigurations en cours et des évolutions récentes (ampleur de l'investissement des GAFAM dans la pose de câbles sous-marin, actualité géopolitique, avancées législatives et réglementaires), ou parce que touchant à des domaines hors de leur champ d'intervention (évaluations environnementales, politiques d'implantations territoriales), nous avons également mobilisé un terrain plus large, constitué de divers typologies de sources telles que : des rapports publics ou privés sur l'évolution du net, comme le rapport 2019 de l'*Internet society*, des rapports publics ou issus de collectifs sur les impacts environnementaux du numérique (ADEME-ARCEP, *The Shift project*, *Green-IT*), des rapports d'agences d'urbanisme publiques (Agence Paris Région) ou de fédérations encadrant le dialogue avec les acteurs locaux dans le cadre des problématiques d'aménagement du territoire (*Infranum*), des rapports sur les enjeux informationnels du numérique (commission sur les Lumières à l'ère numérique), des articles issus de revues d'actualité ayant une portée géopolitique reconnue (La Tribune, Le Monde, Le Nouvel observateur) ou d'information économique et financière (Investir Les échos), une littérature institutionnelle sur l'actualité des territoires (Banque des territoires, Vie publique), des sites proposant des outils de vulgarisation scientifique sur les techniques du numérique (Frameip.com, it-connect.fr), des propos militants sur les thématiques de la liberté du net (Quadrature du net) ou de l'actualité numérique (*Next.ink*), des rapports d'activités et éléments de communication d'entreprises implantées dans le domaine de l'« informatique en nuage » (*Digital Realty*, *Google*, *OVHcloud*), des éléments issus de centres de recherche indépendants en géopolitique (Fondation Méditerranéenne d'études stratégiques), des cabinets d'études (*McKinsey*, *DGTL infra*, *Synergie research group*, *CBRE*). Pour obtenir certains chiffres présentés dans le rapport, nous avons également parfois extrait des données depuis des bases ouvertes disponibles en ligne, comme *submarinecablemap.com* (*Submarine Cable Map*, 2024).

PARTIE I : UNE APPROCHE GEOPOLITIQUE DE L'ESPACE NUMERIQUE

AVANT-PROPOS : HISTOIRE DE LA METHODE GEOPOLITIQUE

Une origine allemande

La géopolitique, issue du grec *gê* (la terre) et *politiké* (la politique), est l'étude des rapports de force entre puissances politiques, matérialisée dans l'espace géographique. C'est une méthode d'analyse, issue de la science géographique, s'attachant à étudier les conflictualités à toutes les échelles du territoire, du local à l'international. Cette discipline, qui émerge à la fin du 19^e siècle, tombe en désuétude après la Seconde Guerre mondiale et connaît un renouveau en France dans les années 1970. Yves Lacoste, géographe français fondateur de l'école de géopolitique française, la définit comme « l'étude des rivalités de pouvoir sur des territoires » (Lacoste, 2012a, p.14). La discipline géopolitique naît dans le prolongement des travaux du géographe allemand Friedrich Ratzel (1844-1904). Ancien naturaliste, marqué par la vision darwiniste de l'évolution des espèces, Ratzel rédige une somme géographique importante entre 1882 et 1891, intitulée « Anthropogéographie : la répartition géographique des humains » (*Anthropogeographie, Die geographische Verbreitung des Menschen*). Avec cette étude intégrant l'histoire des peuplements et des migrations dans l'approche géographique, Ratzel réintroduit l'homme comme objet d'étude sur le temps long, à côté de la seule géographie physique. L'approche de Friedrich Ratzel, fondatrice pour l'école de géographie allemande, est suivie et complétée par de nombreuses études et monographies, dans une tradition d'analyse qualifiée de « déterministe ». Dans ce type d'approche, les contraintes du milieu tendent à s'imposer fortement à l'homme et à déterminer le champ des possibles (Ciattoni & Veyret-Medkjian, 2024). Patrick Matagne (1992) résume ainsi le courant développé par Ratzel :

« L'idée de départ de Ratzel est que l'homme est étroitement lié au sol sur lequel il vit pour les besoins essentiels que sont l'alimentation et l'habitation. Réintroduisant l'élément humain dans la géographie, l'anthropogéographie analyse les effets du milieu physique sur les individus mais surtout énonce une théorie générale des migrations humaines intégrant la recherche des causes des mécanismes et des lois de la répartition des hommes sur la terre. L'emplacement (*die Lage*) conçu comme la situation par rapport aux peuples voisins, l'étendue des espaces occupés (*der Raum*), les frontières qui tendent à être naturelles, la topographie, sont des causes agissantes. Une taxinomie des groupes ethniques nationaux religieux ou linguistiques se met alors en place et fait l'objet d'une cartographie. »

(Matagne, 1992, p. 327).

En 1897, Ratzel développe le concept de « géographie politique » (*Politische Geographie*), et compare dans son ouvrage les États à des organismes en concurrence pour leur développement, dans un contexte de luttes internationales pour l'appropriation des ressources et des territoires disponibles. En 1905, le professeur en science sociale et politiste suédois Rudolf Kjellen (1866-1922) formalise le terme de « géopolitique », en contractant les termes de l'expression inventée par Ratzel (Lacoste, 2012a, p. 18). En 1924, le géographe et théoricien allemand Karl Haushofer (1869-1946) fonde une Revue de Géopolitique (*Zeitschrift für Geopolitik*), dans laquelle des géographes internationaux (hongrois, autrichiens, soviétiques...) discutent et souvent contestent les conséquences du traité de Versailles, signé en 1919, qui ampute l'Allemagne d'une grande partie de ses anciens territoires comme l'Alsace-Lorraine et la Prusse Orientale. Haushofer, marqué par les conséquences de la défaite de 1918, distingue la « géopolitique », qu'il contribue à développer, de la géographie politique de Ratzel, considérant la géopolitique comme une science à mettre au service de l'action politique pour aider l'Allemagne à retrouver son statut de grande puissance (Cattaruzza, 2023). Cette approche de la géopolitique, bientôt proclamée « science allemande » par les nazis, visant à analyser, voire justifier, la matérialisation de la puissance des États dans l'appropriation des espaces physiques et les stratégies de ceux-ci pour y parvenir, tombe en désuétude avec la fin de la seconde Guerre mondiale car trop assimilée au nationalisme.

Des résonances dans le monde anglo-saxon

En parallèle de cette approche allemande, et même avant qu'elle ne soit formalisée en tant que discipline, la géopolitique trouve des échos forts dans le monde britannique et anglo-saxon. L'américain Alfred Thayer Mahan (1840-1914), professeur d'Histoire à l'Académie militaire de *West Point*, oppose les « puissances Mer » comme l'Angleterre et bientôt les États-Unis aux « puissances Terre » comme la France ou l'Empire Russe. Pour Mahan, c'est la maîtrise des océans, via une politique d'expansion mondiale assumée et cohérente qui a permis à l'Angleterre de l'emporter dans sa rivalité séculaire avec la France via la mise en place d'un empire et la domination des passages maritimes importants du globe tels que Gibraltar, Le Cap ou Suez. L'unification des océans avec la navigation maritime au long cours permet le développement d'un chapelet de bases périphériques entourant le continent Eurasiatique (Grande-Bretagne, Canada, États-Unis, Afrique du Sud, Australie, Japon), servant la puissance maritime et inaccessibles aux puissances terrestres du continent. Mahan établit un parallèle entre l'Angleterre et les États-Unis, deux îles industrielles et commerçantes, et encourage les États-Unis à développer une marine de guerre capable de succéder à l'Angleterre en tant que puissance mondiale dominante, appliquant les mêmes stratégies de promotion des marchés ouverts et de course à la domination maritime (Lacoste, 2012b, p. 146). Le géographe britannique Halford Mackinder (1861-1947), enseignant et fondateur de l'Institut de géographie à l'Université d'Oxford en 1899, popularise pour sa part le concept de « politique mondiale » (*world politics*) et est considéré aux États-Unis comme un des pères des *International studies* (études des relations internationales), qui se développent à partir de 1919. Dans le texte d'une conférence à la Société royale de géographie de Londres publié en 1904 sous le titre « Le pivot géographique de l'histoire », et soumis à une grande postérité, il développe le concept de *Heartland*. Pour Mackinder, l'entité Europe-Eurasie-Afrique forme un tout, qualifié d'« île pivot », dont l'espace central (*heartland*) est accessible uniquement par voies terrestres. La domination de cet espace central et l'exploitation de ses ressources,

facilitée par le développement ferroviaire, permettrait la domination du monde. Cette analyse, simplificatrice voire simpliste à plusieurs égards (Lacoste, 2012b, p. 149-156), trouve un écho important à l'époque de sa publication, et est par exemple reprise par les défenseurs d'une alliance germano-soviétique dans les années 1930, ou par des analystes soulignant la possibilité d'une domination mondiale de l'URSS une fois la guerre terminée. Le concept du *heartland* sera complété par Nicholas Spykman, qui intègre les « espaces marginaux » de l'espace-pivot (*rimland* en anglais), définis comme des espaces-clés à dominer pour contrer l'expansion des puissances dominant le *heartland*. Cette vision de contrôle des marges territoriales pour contenir une puissance ennemie servira notamment la stratégie américaine du « *containment* », visant à affronter l'URSS par le contrôle de territoires périphériques et le déploiement d'une flotte aéronavale au niveau mondial, et participera par exemple à une alliance secrète avec la Chine communiste en 1972 et à la guerre du Vietnam (1955 – 1975) (Lacoste, 2012b, p. 158).

Une redécouverte française intégrant de nouveaux cadres d'analyse

Côté français, Paul Vidal de la Blache (1845 – 1918), figure tutélaire de l'École de géographie française après la défaite de 1870 par son intense activité de chercheur, professeur, directeur de recherches, éditeur de manuels et cartes, tenant d'une géographie comparative et régionale intégrant la faune, la flore, l'hydrographie, la géologie et la géomorphologie des espaces dans ses analyses, reconnaît dans un article de 1898 la qualité des travaux de Ratzel et l'intérêt de l'intégration de la géographie politique à la géographie humaine. Il s'intéresse lui-même à la question des frontières dans des travaux sur l'étude des territoires coloniaux (Ribeiro, 2010, 26) et publie un ouvrage sur l'histoire des frontières en Lorraine en 1917 intitulé « La France de l'Est (Alsace-Lorraine) » traitant de l'intégration des territoires lorrains et alsaciens dans la culture française depuis le Moyen Âge. Vidal de la Blache intègre les interactions homme-milieu au cœur du courant géographique qu'il crée, notamment à travers les études paysagères et la prise en compte des facteurs humains dans la définition des caractéristiques régionales du territoire (organisations urbaines, infrastructures de transport, activité économique...). L'approche française se distingue toutefois de l'approche allemande en développant une vision dite « possibiliste » de la géographie, redonnant à l'homme sa pleine capacité d'action sur les conditions naturelles.

« Dès qu'intervient cette force subtile et souple qui s'appelle l'activité humaine, un principe nouveau d'antagonisme s'introduit dans les phénomènes terrestres, en trouble profondément l'économie et en modifie l'aspect. Ce n'est plus le conflit mécanique entre les formes du relief et les lois de la pesanteur, ni la lutte par laquelle les végétaux se disputent la place sur le sol ou à la lumière : le spectacle extérieur des choses révèle aussitôt qu'une force d'espèce différente est entrée en lice. Car c'est bien plus comme être doué d'initiative que comme être subissant passivement les influences extérieures, que l'homme a un rôle géographique. La nature est pour lui une source de sollicitations. La montagne lui offre un moyen de se soustraire aux attaques de ses ennemis, ou, en certains cas, de se dérober aux dangers du climat; le fleuve, une voie de

circulation ; l'île, un refuge ou un point d'appui plus commode d'activité commerciale. Mais, en même temps qu'elle l'attire par des raisons différentes, chacune de ces formes terrestres met aux prises son ingéniosité avec des nécessités spéciales d'existence.

Grâce à cette souplesse et à une vitalité qui s'adapte à tous les climats, il n'y a guère de parties de la surface terrestre auxquelles la physionomie de l'homme ne s'incorpore. »

(Vidal de la Blache, 1898, p. 99).

À l'issue de la Première Guerre mondiale, sous l'influence notamment d'Emmanuel de Martonne, les disciples de Vidal de la Blache délaissent la question des frontières, considérant que le traité de Versailles a par principe réglé cette question en Europe, et s'orientent vers une approche « essentiellement physique des régions » (Ciattoni & Veyret-Medkjian, 2024, p. 20), se tenant à l'écart des questionnements géopolitiques. Il faut attendre les années 1970 pour que les cadres d'analyses de la discipline géopolitique soient profondément renouvelés en France, autour des travaux d'Yves Lacoste, créateur de la revue *Hérodote*, et de Béatrice Giblin, rédactrice en chef. La géopolitique contemporaine propose une méthode d'analyse des rapports de puissances articulée autour des notions d'acteurs, de pouvoir, de territoire et de représentation. Les acteurs pris en compte dans les analyses géopolitiques ne sont plus uniquement étatiques mais intègrent une multitude de typologie (privés, associatifs, économiques...), de l'échelon local à l'échelle mondiale. Les relations entre acteurs, qui peuvent aller de la neutralité à la coopération ou au conflit, s'inscrivent dans une dimension territoriale. Le territoire, notion clef de géographie, est un « espace approprié » par un groupe humain, traversé par des logiques économiques, politiques, résidentielles, patrimoniales et environnementales (Cattaruzza, 2023, p. 72). Un territoire est généralement délimité par des marqueurs, visibles (délimitations, lieux symboliques...), et des pratiques singulières, et présente des zones de marges, ou frontières, qui évoluent dans les temps. Ces frontières se matérialisent de façons diverses, sous forme de ligne-frontière ou zone « tampon », et jouent tantôt le rôle de barrière, tantôt celui d'interface entre acteurs étatiques et économiques. La notion de pouvoir s'envisage comme la capacité d'un acteur à imposer sa puissance à autrui, soit par l'exercice de la force, soit en utilisant son influence pour en obtenir un résultat. Si la puissance militaire reste la manifestation effective de la force d'une entité la plus évidente, elle est concurrencée par la notion de *soft power*, capacité à faire agir une entité tierce par des moyens de persuasion non coercitifs comme l'influence culturelle et politique, le rayonnement économique ou l'attractivité scientifique et technique (Cattaruzza, 2023). La souveraineté est enfin la capacité effective d'un État à exercer son autorité sur son territoire et à être reconnu légitime au niveau juridique sur la scène internationale.

Dans l'approche géopolitique contemporaine, la notion de représentation complète les concepts parfois « figés » d'acteurs et de territoire, distinguant les mises en récits qui peuvent être faites des réalités qu'elles décrivent. La cartographie, outil central de la géographie et de l'analyse géopolitique, est elle-même considérée comme un outil de représentation, proposant une mise en lecture mais aussi une interprétation des faits observés. Les identités, représentées à l'échelle macro de façon englobantes et tranchées (religions, catégories socio-professionnelles) sont nuancées par des analyses à des échelles plus locales, et

également envisagées comme des constructions sociales dépendant de divers facteurs relationnels et subjectivistes comme le sentiment d'appartenance ou le contexte socio-spatial. La prise en compte de ces paramètres dans les analyses peuvent amener à réviser ou nuancer des jugements qui apparaîtraient tranchés à une échelle plus large. Les analyses géopolitiques s'appuient également souvent sur une double approche : multi-scalaire et diachronique (Cattaruzza, 2023). Multi-scalaire car proposant des traitements à plusieurs échelles territoriales, généralement du global au local mais possiblement du local au global, et diachronique, car intégrant le recul historique dans l'analyse des faits décrits. Une, ou des, géopolitiques locales émergent dans les années 1980 pour appréhender les conflits locaux liés à l'aménagement du territoire, et bientôt ouvrir la discipline à la notion de gouvernance. Au niveau local, différentes logiques d'acteurs cohabitent sur un espace resseré, comme le montre l'annexe 1. Si les interactions y sont moins violentes que dans des conflits internationaux, l'analyse de celles-ci s'envisage comme le prolongement ou le point de départ menant à une géopolitique plus globale (Subra, 2012, p. 66). Aujourd'hui, de nouvelles thématiques émergent dans les relations entre acteurs et conditionnent les rapports d'influence et de pouvoir, comme la rivalité technologique, notamment liée à la maîtrise des nouvelles technologies numériques, les problématiques de développement durables qui engagent les acteurs vers des voies de transition énergétique, ou la gouvernance interétatiques et pluri-acteurs. Celle-ci s'engage à travers plusieurs instances, dont certaines centrées sur le cyberspace, ce qui contribue à élargir le champ traditionnel de la géopolitique (Cattaruzza, 2023). La géopolitique intègre ainsi des nouveaux modèles dans la conceptualisation des rapports inter-entités qui structurent les rapports mondiaux, dans le cadre d'un monde multipolaire et connecté par les réseaux de communication. D'un ensemble de mondes autrefois isolés, puis soumis à des champs de force pouvant aboutir à des hiérarchisations locales, on passe à une société monde, dans laquelle les grands problèmes politiques mondiaux pourraient être gérés au niveau international par une gouvernance partagée (annexe 2).

A – APPREHENDER L'ESPACE NUMERIQUE

A1 – Une histoire de l'Internet : vers l'informatique en nuage

Un réseau américain (1972-1989)

Internet est un réseau de communication mondial permettant l'échange de données entre utilisateurs, constitué de divers réseaux interconnectés, privés ou publics, passant par des infrastructures de télécommunication (centres de données, réseaux, routeurs) et utilisant des protocoles de transmission compatibles. Internet naît à la fin des années 1960 de l'interconnexion de réseaux universitaires américains, notamment Arpanet, qui expérimentent la transmission de données découpées en paquets, sous l'impulsion de la DARPA (*Défense Advanced Research Project Agency*), agence de recherche et de développement du département de la Défense des États-Unis. Arpanet mobilise le monde militaire, avec le financement de la DARPA, mais également des centres universitaires et de recherche ainsi que le monde industriel, avec des entreprises comme *Bolt, Beranek and Newman* (Schafer, 2010). Dans ce cadre, les Universités de *Californie Los-Angeles*, *Stanford Research Institute (SRI)*, *Californie Santa Barbara* et de l'*Utah* expérimentent en 1969 les premiers transferts de paquets de données au sein du nœud informatique. Le réseau Arpanet est alors basé sur un procédé d'échange de données souple, baptisé *Network Control Protocol (NCP)*, dans lequel il n'est pas nécessaire de vérifier que les données arrivent à destination pour être envoyées. Les standards développés pour l'optimisation du réseau sont travaillés dans un mode de production souple, dans lequel les étudiants sont à même de faire des propositions au même titre que les professeurs ou docteurs. Ils prennent la forme de *Requests for Comments (RFC)*, documents techniques et organisationnels ouverts aux commentaires sur le développement de l'Internet, publiés sur le réseau Arpanet à partir d'avril 1969 par les chercheurs du *Network Information Center (NIC)*, groupe de travail du *Stanford Research Institute (SRI)*. Ces RFC constituent une mémoire précieuse des évolutions du réseau. Une première démonstration publique d'Arpanet est réalisée en 1972, et un groupe de travail international est formé sous l'impulsion de Vinton Cerf, professeur au SRI, pour travailler sur les standards d'échange entre machines au sein d'un *International network working group*, ce qui conduit à la première liaison internationale l'année suivante du réseau avec l'*University College of London*. Le réseau compte alors 37 nœuds de connexion² (Schafer, 2010). En 1974, Vinton Cerf et Robert Kahn, ingénieur de la DARPA, définissent un protocole fiabilisant les transmissions de paquets de données entre l'hôte émetteur et l'hôte destinataire en introduisant des sommes de contrôle pour vérifier la complétude du message transmis, améliorant la vitesse de transmission des données grâce aux mécanismes de contrôle de flux qui adaptent le débit aux capacités de l'émetteur et du destinataire afin d'éviter la surcharge, et grâce au multiplexage, permettant d'établir plusieurs connexions entre plusieurs émetteurs (Léopold & Lhoste, 2007). Ce protocole, baptisé *Transmission Control Protocol (TCP)*, en permettant de faire communiquer de nombreux réseaux indépendants et de conception différente, ouvre la voie à

² Un nœud est un regroupement en certains points de plusieurs canaux physiques, ayant pour double fonction de répéter les données reçues, parfois avec amplification, et de les orienter vers le nœud suivant. D'un point de vue technique, la transmission de données utilise le principe de la « commutation par paquets ». Il n'existe pas de chemin continu fourni par le réseau entre l'émetteur et le récepteur. Le message est découpé en paquet et acheminé au travers les nœuds du réseau de manière indépendante (Léopold & Lhoste, 2007, p. 23).

Internet comme « réseau des réseaux » (Schafer, 2010). Couplé à un dispositif d'adressage des paquets de données nommé *Internet protocol (IP)*, il devient le protocole TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), formalisé en septembre 1981 avec la publication de la RFC 791 intitulée "*Internet Protocol*" et de la RFC 793 intitulée "*Transmission Control Protocol*". Le protocole TCP/IP est implémenté dans le réseau Arpanet dès les années 1970, en concurrence avec NCP, et devient l'unique protocole de transmission autorisé le 1^{er} janvier 1983 (Le Temps des médias, 2012). Le système d'exploitation multiplateforme Unix, développé à l'origine par des chercheurs d'AT&T à des fins commerciales, est cédé aux universités du réseau suite à une décision de la Justice américaine. Le code d'Unix est modifié par l'Université de Berkeley pour intégrer le protocole TCP/IP en 1983. La même année, la partie universitaire d'Arpanet se sépare de la partie militaire, pour continuer son développement. Internet est alors une architecture de réseau ouverte, développée sous financement public américain, à laquelle des machines du monde entier peuvent se relier, sur la base des protocoles d'échange de données standardisées. Les années 1980 sont une époque de structuration du réseau et de pénétration des milieux scientifiques (Schafer, 2010). Les premiers répertoires des membres du réseau (serveur *WHOIS*) sont créés par le SRI, sous l'impulsion d'Elizabeth Feinler, directrice du NIC, puis remplacés par le *Domain Name System (DNS)* qui est implémenté en 1988, toujours sous administration du NIC. Le nombre d'hôtes connectés au réseau passe d'environ 200 en 1981 à 720 000 en 1991³. Le nombre de réseaux locaux connectés (*LAN, Local Areas Networks*), passe de 15 en 1982 à près de 400 en 1986, intégrant notamment des réseaux d'entreprises américaines dont la phase d'équipement en micro-informatique débute (Schafer, 2010). Le jeune réseau Internet bénéficie également de l'intégration du réseau de la NSF (*National Science Foundation*) à partir de 1986 sur TCP/IP, qui répand Internet dans la quasi-totalité des universités américaines (Brousseau, 2001). À l'international, Internet est en concurrence avec d'autres réseaux portés par des centres universitaires ou industriels comme EARN, soutenu par l'entreprise IBM, RARE, encouragé par la Commission Européenne, EUNet (*European Unix Network*) ou *Cosine (Cooperation for OSI Networking in Europe)*. Mais l'universalité et l'efficacité du protocole TCP/IP, plus opérationnelles que les modélisations d'architectures promues par les acteurs européens et développées dans le cadre de l'ISO (*International Organization for Standardization*), emportent l'adhésion et signent le succès d'Internet. Au début des années 1990, Internet propose trois types de services : l'échanges de messages électroniques, les transferts de fichiers entre deux ordinateurs hôtes et la connexion à distance à un ordinateur (Schafer, 2010). La commercialisation d'Internet est encore peu développée (Brousseau, 2001).

L'invention du web (1989-1995)

À partir de 1989, Tim Berners-Lee, ingénieur physicien et informaticien britannique travaillant au Conseil européen pour la recherche nucléaire (Cern), établissement de recherche relié au réseau Internet, développe les concepts et infrastructures des couches hautes de l'architecture d'Internet, permettant une démocratisation de l'accès au réseau et fondant les bases du web. Les URL (*Uniform Resource Locator*) permettent l'identification et l'accès à une ressource, stockée sur un serveur relié au réseau Internet. Les données contenues dans les pages web sont

³ Un hôte est « une machine connectée de manière permanente ou temporaire à l'Internet et qui dispose d'un nom et d'une adresse IP enregistrée dans le DNS » (Schafer, 2010).

écrites dans un langage unifié (*HTML, Hypertext Markup Language*), permettant la navigation de page en page via des liens hypertextes. Les données sont transmises entre le serveur qui héberge la ressource et un client, via un protocole de communication client-serveur listant une série de requêtes à exécuter par le serveur pour le client. Les outils applicatifs permettant la navigation sur le web sont prêts à la fin de l'année 1991 et les premiers navigateurs à vocation commerciale comme *Mosaic*, programmes applicatifs permettant l'accès au web, sont en gestation (Schafer, 2010). Le NIC se voit retirer l'activité d'adressage des hôtes en 1991 par le gouvernement américain, et après le constat des limites dans l'action des seuls acteurs privés dans les activités d'adressage⁴, le gouvernement des États-Unis (Département du Commerce) crée l'*ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)* en 1998. Cette autorité de régulation d'Internet est notamment responsable de la mise à jour et de la gestion des noms de domaine de premier niveau,⁵ de l'accréditation des bureaux d'enregistrement (registraires) vendant les noms de domaine finaux aux utilisateurs et de la coordination du système de noms de domaine (DNS) faisant correspondre une URL à une adresse IP compréhensible par les machines. Les ressources financières de l'ICANN proviennent notamment des redevances versées par les registraires administrant pour l'ICANN les noms de domaine (Pohle & Morganti, 2012). Internet, réseau décentralisé reliant des hôtes autonomes et connectés via le protocole TCP/IP, est ainsi administré techniquement par une institution de droit privé américain, sous contrat avec le Département du Commerce. Cette activité, centrale dans le maintien de l'unicité de l'Internet, repose sur une ouverture aux groupes privés et publics dans les prises de décision, par l'intermédiaire de communautés d'utilisateurs, privés ou publics, dites communautés *AtLarge*⁶, inscrites dans cinq grandes régions à l'échelle de la planète (Afrique, Asie-Pacifique, Europe, Amérique latine, Amérique du Nord), et l'intégration de représentants des gouvernements dans les travaux du Comité consultatif gouvernemental⁷ (*Governmental Advisory Committee, GAC*). Si la création de l'ICANN avait pour but initial de retirer l'activité d'administration des noms de domaine à un unique cercle d'ingénieurs éclairés, et constituait en soi une entorse à la culture américaine de l'auto-administration du marché par les acteurs privés, le manque de transparence dans les prises de décision et l'influence du gouvernement américain sur les prises de décision sont deux des reproches couramment adressés à l'ICANN (Pohle & Morganti, 2012). Le poids des États-Unis dans la gestion de l'ICANN est formellement réduit par la signature d'une

⁴ Entre 1993 et 1998, les fonctions d'adressage ont notamment été réalisées par l'informaticien américain John Postel, chercheur à l'*Information Science Institute* de l'Université de Californie du Sud, qui crée de fait l'*IANA Internet Assigned Numbers Authority*. L'explosion du nombre de demandes de noms de domaines, qui passe de 300 par mois en 1992 à 45 000 par mois en 1995 conduit le gouvernement américain à confier la gestion de l'attribution des adresses non gouvernementales à l'entreprise *Network Solutions Inc (NSI)*. Les critiques concernant le fait de confier à un prestataire privé les activités stratégiques d'adressage sans mécanisme de contrôle conduisent le gouvernement américain à créer l'ICANN en 1998, à l'expiration du contrat de cinq ans qui avait été attribué à NSI (1993-1998). Les activités d'adressage gérées par l'IANA sont intégrées à l'ICANN dès la création de celle-ci en 1998 (Brousseau, 2001). *Network Solutions Inc (NSI)* gère aujourd'hui l'administration d'environ 6 millions de noms de domaines, sous autorité de l'ICANN, et a été acquis par l'entreprise *Verisign* en 2000 pour 21 milliards de dollars.

⁵ Les « *top level domaine* » (TLD), ou extensions, sont la partie finale d'une URL, généralement constituée de deux ou trois lettres (.com, .fr). Il existe des TLD génériques (.com, .org, .net) et des TLD nationaux. Les TLD permettent de répartir les noms de domaines en différents registres, gérés par des entités distinctes sous la supervision de l'ICANN.

⁶ Le nombre de communautés *AtLarge*, au nombre de 130 en 2012 (Pohle & Morganti, 2012), est actuellement de l'ordre de 250 groupes (sociétés publiques ou privées, instituts de recherche, juristes, informaticiens, etc.) et 120 individus actuellement (source : site de l'ICANN <https://atlarge.ICANN.org/>).

⁷ Dès 2012, plus de cinquante gouvernements et des organismes internationaux comme l'ITU, l'UNESCO, le Conseil de l'Europe ou le Forum Asie-Pacifique participent aux travaux du GAC (Pohle & Morganti, 2012).

« déclaration d'engagement » (*Affirmation of Commitments, AoC*) par Barack Obama en 2009 et prenant la suite des précédentes feuilles de route établies par le Département du Commerce américain à l'ICANN depuis 1998⁸. L'*AoC* met officiellement fin à la supervision des activités de l'ICANN par le Département du Commerce, plaçant les États-Unis comme membre du GAC au même titre que les autres participants, supprimant du même coup l'unique moyen formel de contrôle externe de l'ICANN. Les États-Unis gardent toutefois un pouvoir de surveillance sur les activités de l'IANA concernant la gestion du DNS, en vertu d'un accord signé en 2000 avec l'ICANN. Non affecté par l'*AoC*, cet accord régit les activités de l'IANA au sein de l'ICANN, en tant qu'entité distincte travaillant pour le compte du gouvernement américain et de sa *National Telecommunication and Information Administration (NTIA)*, qui fait partie du ministère du commerce (Pohle & Morganti, 2012).

L'utilisation commerciale d'Internet débute dès l'arrivée des premiers fournisseurs d'accès à Internet (FAI), qui ouvrent le marché aux particuliers, désormais équipés en ordinateurs personnels (*personal computers*, ou PC). Le Web connaît dès son origine une croissance exponentielle et stimule l'innovation technologique et sociale via les moteurs de recherche, les réseaux sociaux, le commerce électronique puis les services de *streaming* (vidéos en ligne). De 375 millions d'utilisateurs estimés d'Internet en 2000 (Pohle & Morganti, 2012, p. 33), le chiffre passe à trois milliards au début des années 2010 (de La Chapelle, 2014, p. 175) puis à quatre voire cinq milliards d'utilisateurs aujourd'hui (ISOC, 2019). Internet joue un rôle clé dans la transition vers une société de l'information, touchant toutes les couches de la société et dans laquelle de nouvelles formes de collaborations et de communautés émergent. L'*Internet society (ISOC)* définit dans son rapport de 2019 l'Internet actuel comme un « espace dynamique de collaboration, de commerce et d'expression », dans lequel la vidéo occupe les deux tiers du trafic de la bande passante, et auquel la majorité des utilisateurs accède depuis son smartphone (*Internet society*, 2019). L'utilisation du « *cloud computing* » consiste à mobiliser la capacité de stockage et la puissance de calcul des centres de données accessibles via Internet, pour offrir des services en ligne comme le stockage de données ou l'utilisation d'applications aux utilisateurs. Elle représente l'une des tendances majeures de l'Internet contemporain, tout comme l'optimisation des réseaux de distribution de contenus (*content delivery network CDN*) par les grands opérateurs. Le rapport évoque trois « invariants » de l'Internet, bases ouvertes sans lesquelles Internet n'est plus Internet : le protocole TCP, qui gère la transmission des paquets de données entre routeurs, le protocole *BGP (Border Gateway Protocol)*, qui permet de relier des systèmes autonomes via Internet, et le rôle essentiel d'institutions comme l'IANA, chargée de la gestion du DNS. Si le rapport écarte le risque d'un effondrement technique de l'Internet mondial, il évoque la place prépondérante prise par les « plateformes en ligne⁹ » dans l'économie de l'Internet contemporain. Celles-ci captent des parts essentielles des interactions humaines et acquièrent une puissance financière leur permettant de bénéficier d'effets de levier

⁸ *Memorandum of Understanding* renouvelé tous les ans dans les premières années de l'ICANN, et prévoyant la privatisation à moyen terme des activités de gestion du DNS, finalement abandonné, et *Joint Project Agreement* en 2006 (Pohle & Morganti, 2012).

⁹ L'OCDE définit le terme « plateforme en ligne » comme proposant une gamme de services divers disponibles sur Internet, notamment dans les espaces de vente en ligne, les moteurs de recherche, les médias sociaux, les services de communication, les systèmes de paiement ou les services de l'économie dite « collaborative », ayant pour finalité de faciliter les interactions entre deux ou plusieurs ensembles distincts mais interdépendants d'utilisateurs (qu'il s'agisse d'entreprises ou de particuliers) interagissant par l'intermédiaire du service (OCDE, 2019).

puissants reposant sur une maîtrise des réseaux de diffusion, des vastes réservoirs de données, une puissance commerciale et des libertés réglementaires aptes à renforcer leurs situations monopolistiques, et se positionner sur les futurs secteurs porteurs tels que l'Internet des objets connectés (*Internet of things*) ou l'intelligence artificielle. Le rapport cite comme puissance dominante *Facebook* dans les réseaux sociaux, *Google* dans la recherche et *Amazon* dans le commerce en ligne. Ces grandes plateformes s'étendent à la fois « horizontalement » avec le rachat d'applications concurrentes leur permettant de tester et développer de nouveaux services, et « verticalement » sur la chaîne de valeur¹⁰ des services numériques, en optimisant des activités comme le stockage et la distribution des données traitées. Si les services proposés sont de plus en plus performants et peuvent apparaître positivement du point de vue de l'utilisateur, le rapport évoque des concentrations d'intérêts entraînant des situations de « dépendance profonde » (*deep dependance*) à l'égard de certains acteurs disposant de monopoles et un risque « d'aplatissement de l'Internet » (*flattening Internet*), dû par exemple aux multiples APIs¹¹ utilisées pour interconnecter des offres de services entre elles.

Le développement de l'informatique en nuage (2000 – 2024)

À partir des années 2000, l'informatique en nuage (*cloud computing*) se répand dans les entreprises et chez les particuliers et s'impose dans l'architecture des systèmes d'information et de communication (Bômont & Cattaruzza, 2020). Le *cloud computing* permet de mobiliser à la demande des ressources informatiques (logiciels, espace de stockage, puissance de calcul) stockées sur un serveur distant accessible via Internet, plutôt que sur un ordinateur ou un serveur local. Ce type d'infrastructure est utilisé par 76 % des entreprises à travers le monde dès 2013 (Fautrero et al., 2018), et connaît des taux de croissance annuels de l'ordre de 17% au début des années 2020 (Bômont & Cattaruzza, 2020). La part du budget consacrée au *cloud computing* dans les services informatiques est estimée à 41% aux États-Unis en 2022, avec 50% attendus pour 2025, et 19% en France, avec 30% attendus en 2027 selon une étude de l'Institut Gartner et une analyse de marchés de *Markess by exaegis* (Investir Les Echos, 13 septembre 2023). Les principaux avantages ayant participé au succès de ce type d'offre pour les entreprises sont la réduction des coûts (économies d'échelles sur les serveurs et le matériel, paiement à la demande pour les services consommés), l'évolutivité et l'agilité¹² des solutions logicielles proposées, l'ubiquité du service qui permet un accès partagé entre les usagers et en itinérance, la fiabilité et la sécurité lorsque l'offre professionnelle est portée par des acteurs de référence, la réversibilité contractuelle et technologique lorsque celle-ci est formalisée, et globalement la performance financière et opérationnelle (Fautrero et al., 2018). Il existe trois gradients principaux dans les prestations de *cloud computing*, intégrant une palette de services de plus en plus étendue, par rapport à un hébergement traditionnel sur site (*on premise*) dont l'infrastructure gère en interne l'intégralité des opérations. Le premier niveau est dit « *IaaS* » (*infrastructure*

¹⁰ La chaîne de valeur est un ensemble d'activités interconnectées, allant pour le cas de l'industrie de l'extraction d'une matière première à son acheminement et sa transformation, aboutissant au produit final.

¹¹ Les *application programming interface* (API), ou interfaces de programmation, sont utilisées pour connecter des applications entre elles, via la mise à disposition de jeux de données. Si une API connaît un échec, modifie ses conditions ou s'arrête, cela peut impacter toutes les entreprises dépendantes avec des conséquences pouvant aller de négligeables à graves ou critiques. Le rapport de l'ISOC de 2019 cite par exemple Uber, qui utilise une API de *google maps* pour connecter ses chauffeurs et ses clients, basant une part majeure de son succès sur cet outil.

¹² En informatique, la « scalabilité » est un anglicisme définissant la faculté d'un produit informatique à s'adapter aux fluctuations de la demande tout en conservant ses fonctionnalités.

as a service), pour « infrastructure en tant que service ». Seule l'infrastructure (réseaux, stockage, serveurs et virtualisation des lecteurs¹³) est proposée en tant que service par le prestataire au client. Le client garde à sa charge la configuration et le paramétrage du système d'exploitation et des accès, ainsi que la gestion des applications, qu'il peut administrer librement à partir des espaces alloués. Exemples de fournisseurs de services *IaaS* : *Amazon Web Service (AWS)*, *Microsoft Azure*, *Google Cloud*, *OVH Cloud* etc. Le deuxième niveau est dit *PaaS* (*Platform as a service*), pour « plateforme en tant que service ». Les responsabilités à la charge de l'hébergeur sont ici plus nombreuses, intégrant notamment les couches session et présentation, avec la mise à disposition par le biais du réseau Internet d'applications de développement dite *Middleware* et de bases de données, laissant les tests et le déploiement des applications à la charge de l'utilisateur. Exemples de fournisseurs de services *PaaS* : *Google App Engine*, *SAP Cloud* ou *IBM Cloud Foundry*, *Red Hat OpenShift*, *Microsoft Azure*, *Heroku*. Dans ces deux premiers niveaux de service, les directeurs des systèmes d'information et les directions fonctionnelles sont mobilisés pour l'implantation de cette forme d'« urbanisation » des architectures numériques, mêlant services internes et externes (Fautrero et al., 2018). Enfin, le troisième niveau de service est celui dit *SaaS* (*Software as a Service*), ou « logiciel en tant que service ». Ici, la gestion intégrale des services est assurée par le fournisseur *cloud*, qui fournit à l'utilisateur des applications prêtes à l'emploi, accessibles via Internet. Les utilisateurs n'ont besoin ni d'installer, ni de gérer, ni de maintenir l'application et l'architecture sous-jacente nécessaires au fonctionnement de l'installation. Les services proposés en *SaaS* sont nombreux et vont de l'*Emailing* et du *marketing* relationnel (*Brevo*¹⁴), à la visioconférence (*Cisco*), la signature électronique (*DocuSign*), la messagerie instantanée (*Microsoft Teams*, *Slack*) ou la bureautique (*Microsoft Office 365*). *Skype*, application proposant des communications audio et vidéo par Internet, créée en 2003 et achetée par Microsoft en 2011, peut être considérée comme l'un des premiers modèles de développement à large échelle d'une offre *SaaS* auprès des particuliers et des entreprises. Il est à noter que le poids du marché du *SaaS*, estimé à 246 milliards de dollars de revenus générés en 2022, pèse plus que les deux autres modèles réunis (207 milliards de dollars pour les modèles *IaaS* et *PaaS* cumulés) (Investir Les Echos, 13 septembre 2023¹⁵). Dans les entreprises, la souscription de services en mode *SaaS*, directement par les métiers et sans concertation avec les directions achat ou DSI (Direction des Systèmes Informatiques) peut poser des problèmes de cohérences ou de sécurité de l'architecture sur le long terme, notamment en confiant des données à une entité extérieure. En s'engageant sur des services dont la réversibilité n'est pas garantie par le fournisseur de services, cela pose un problème plus général de gouvernance de l'information (Fautrero et al., 2018). Si le prix est le principal argument évoqué par les entreprises les incitant à souscrire à des offres en *cloud computing* (notamment en mode *SaaS*), le fait de payer pour un service accessible à la demande, plutôt que d'investir dans des infrastructures et compétences en interne, réduit la valeur du système d'information local, peut induire un climat de méfiance en interne et se révéler sur le long terme coûteux, dans le sens où le « *cloud* se paie tout le temps » (Fautrero et al., 2018). Ainsi, la plupart des éléments évoqués comme avantages, encourageant les entreprises à souscrire à ce type d'offre, peuvent

¹³ La virtualisation est un ensemble de techniques permettant d'unifier les données stockées sur plusieurs supports dans une même interface d'accès utilisateur.

¹⁴ *Brevo* est une plateforme française proposant une suite logicielle à destination des PME (wikipedia).

¹⁵ Chiffres issus d'une étude de l'*International Data Corporation (IDC)*.

également être des risques sur le moyen terme, avec diverses problématiques techniques (interruption des services en cas de perte d'accès à Internet, baisse de performance si le réseau est trop encombré, compatibilité des offres de services entre elles...), de sécurité et confidentialité des données, de perte de pouvoir décisionnel du service informatique. Ils risquent également d'entraîner, paradoxalement, une homogénéisation des pratiques au sein de la structure par rapport à celles de la concurrence, alors pourtant que les offres de *cloud computing* se positionnent sur des prestations de services dits « à la carte », adaptés aux besoins de chaque entreprise (Fautrero et al., 2018).

A2 – Le cyberspace et ses enjeux

Evolutions du concept de cyberspace

Le terme de « cyberspace » dérive du concept de « cybernétique », science des réseaux et des systèmes, définie par le mathématicien Norbert Wiener en 1948 dans son ouvrage *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*¹⁶. La notion de cyberspace est pour sa part popularisée quarante ans plus tard par le romancier américain William Gibson dans son roman *Neuromancien* en 1984 (Huyghe, 2020 ; Sudres, 2017). Elle désigne selon l'auteur une « hallucination consensuelle vécue quotidiennement en toute légalité par des dizaines de millions d'opérateurs », ou encore une « représentation graphique de données extraites des mémoires de tous les ordinateurs du système humain », ancrant le cyberspace dans une dualité entre monde virtuel, vécu dans la tête des utilisateurs, et une réalité matérielle, faite de dispositifs de haute technologie connectés (Huyghe, 2020). La notion de cyberspace, rendant sensible la « mouvante géographique de l'information normalement invisible¹⁷ », est rapidement reprise par les utilisateurs et concepteurs de réseaux numériques et s'ancre dans une représentation centrée sur sa composante virtuelle (Sudres, 2017 ; Huyghe, 2020). La définition du cyberspace s'accompagne également d'une mythologie libertarienne propre aux pionniers de l'Internet, qui souhaitent édicter des lois et normes dans cet espace virtuel en cours de constitution, tandis que les États prennent conscience de la limite des outils régalien traditionnels que sont le droit et la force pour faire respecter leur souveraineté dans le cyberspace (Huyghe, 2020). En réaction à la publication du *telecommunication act*, voté par le congrès américain en février 1996, le poète et essayiste américain John Perry Barlow, publie depuis Davos en Suisse une *déclaration d'indépendance du cyberspace*¹⁸, invitant à la mobilisation d'une

¹⁶ Le terme cybernétique est formé d'après le préfixe *cyber*, issu du grec *Kubernan* signifiant gouverner, piloter. La science cybernétique s'entend comme une « science utilisant les résultats de la théorie du signal et de l'information pour développer une méthode d'analyse et de synthèse des systèmes complexes, de leurs relations fonctionnelles et des mécanismes de contrôle, en biologie, économie, informatique » (Trésor de la langue française, 1978), ou également une « théorie entière de la commande et de la communication, aussi bien chez l'animal que dans la machine ». Dans la cybernétique, la notion de *feed-back* (rétroaction) est un mécanisme de régulation du système prenant en compte les effets des actions réalisées pour adapter la conduite des actions futures, ce qui est la grande nouveauté apportée par la cybernétique en science de l'information et de la communication.

¹⁷ Citation extraite du rapport de Pierre Lévy « *Cyberculture* », publié en 1997.

¹⁸ La déclaration est disponible sur le site de l'*Electronic Frontier Foundation (EFF)*, fondée en 1990 par des intellectuels et défenseurs des libertés sur Internet (EFF, s.d.). Dans la préface d'un ouvrage, Randolph Bourne nous indique que cette déclaration d'indépendance, publiée en réaction au vote du *telecommunication act* par le congrès américain en février 1996, se fait moins vis-à-vis de la libéralisation du marché des télécommunications en cours, qui allait conduire à d'importantes privatisations, capitalisations boursières et constitutions de monopoles dans le domaine autrefois régulé de l'information, que d'éventuels censures qui pourraient s'opérer sur Internet (opposition au *Communications Decency Act* en annexe, criminalisant la pornographie sur l'Internet) (Bourne, 2003).

« civilisation de l'esprit », internationale et ouverte à tous, s'opposant aux « gouvernements du monde industriel, géants fatigués de chair et d'acier ». Mise à part dans cette phrase introductive, la matérialité du cyberspace n'est pas abordée dans la déclaration et l'approche libertarienne se concentre sur la communauté virtuelle et évacue les aspects marchands, matériels et sécuritaires du cyberspace qui émergent par ailleurs. En effet, Internet est déjà ouvert à la commercialisation lorsqu'est publiée la déclaration avec l'apparition des premières entreprises de services en ligne¹⁹ et la libéralisation du marché des télécommunications suscite d'importants appétits financiers (Bourne, 2003). Le cyberspace entre également dans les représentations sécuritaires avec le slogan « *cyberwar is coming* » (la guerre numérique approche), popularisé en 1993 par une étude de John Arquilla et David Ronfeld, deux chercheurs de la RAND (*Research & development corporation*, société de conseil et de recherche américaine). Ils soulignent la nécessaire prise de conscience de l'importance de l'information et du commandement en réseau, impliquant une refonte nécessaire des organisations militaires (Samaan, 2008).

La dualité physique et virtuelle du cyberspace rend toutefois le concept difficile à appréhender. Reposant sur l'épine dorsale que constitue le web et Internet, le cyberspace abolit en apparence les notions très géopolitiques de distance et de frontière avec le transport instantané et la démultiplication des données informatiques, accessibles en tout point d'un réseau mondial. En tant que vecteur de communication, le cyberspace surgit même dans les quatre milieux stratégiques « occupés » par l'homme (terre, mer, air, espace), et place celui-ci en son centre (Sudres, 2017), éloignant encore un peu plus les infrastructures physiques des représentations qu'on s'en fait à mesure que l'on progresse. Les représentations du cyberspace sont déclinées dans de nombreux concepts parfois éphémères, touchant autant au domaine de la sécurité²⁰ qu'à celui des activités numériques au sens large (cybersécurité, cyberstratégie, cybersurveillance, cyberculture, cybercommerce...), et il n'existe pas de définition consensuelle pour le définir. Pierre Lévy, chercheur en sciences de l'information et de la communication (SIC), le définit dans un rapport au Conseil de l'Europe en 1997 intitulé *cyberculture*, comme « l'espace de communication ouvert par l'interconnexion mondiale des ordinateurs et des mémoires informatiques ». Pour l'ANSSI, Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information, service de l'État créé en 2009 et rattaché au secrétariat général de la Défense sous l'autorité du premier Ministre, c'est un « espace de communication constitué par l'interconnexion mondiale d'équipements de traitement automatisé de données numériques » (Sudres, 2017). Les terminologies pour désigner le cyberspace et ses contours évoluent à partir des années 1990 dans les sciences de l'information et de la communication, les analyses géopolitiques et les rapports officiels, avec l'apparition des notions « d'espace numérique » (ANSSI) et plus récemment de « datasphère », que Frédérick Douzet²¹ définit en 2020 dans la revue *Hérodote* comme l'« espace numérique créé par l'intercommunication mondiale des systèmes d'information et de communication », espace pouvant faire l'objet de cartographies (infrastructures physiques ou graphes de données) et intégrant la notion de dualité physique et virtuelle.

¹⁹ Amazon est créé en 1994, eBay en 1995, Netflix en 1997, Google en 1998 (Bellon, 2019).

²⁰ « Guerre en réseau » *information warfare, information-aged warfare, noopolitik, swarming warfare, netwar...* (Samaan, 2008).

²¹ Directrice du Centre de recherche et de formation Geode, porté par l'équipe de l'Institut français de géopolitique de l'université Paris 8 et dédié à l'étude des enjeux géopolitiques et stratégiques de la révolution numérique.

« La sphère des données, à l'instar de l'hydrosphère, interagit ainsi avec le monde physique. Elle est à la fois ancrée dans l'environnement physique, car elle repose sur une infrastructure physique et des acteurs économiques, mais aussi en grande partie indépendante du monde physique par sa fluidité et son ubiquité. Les auteurs prennent pour exemple les multiples questions et conflits juridiques complexes auxquels est soumis le droit international public face à des situations nouvelles, aux nouveaux rapports aux territoires institutionnels classiques, voire aux « nouveaux territoires » issus de sphère des données. »

(Douzet, 2020, p. 6).

Une approche technique pour appréhender l'espace numérique

Le modèle OSI (*open system interconnection*) est un modèle théorique définissant les concepts et démarches à suivre pour permettre l'interconnexion de systèmes ouverts et hétérogènes. D'inspiration européenne, ce modèle a été publié à l'ISO²² en 1984, après la mise en service du protocole TCP/IP sur Internet (Schafer, 2010). Il vise à garantir la pérennité dans le temps des installations, avec l'objectif initial d'aboutir à une normalisation des protocoles. Ce n'est pas une véritable architecture de réseau au sens technique mais une définition des sept couches théoriques, ou niveaux d'abstraction, qui composent les systèmes d'information ouverts et permettent leur interopérabilité, via une suite d'opérations reliant chaque couche avec celle qui la précède ou lui succède. Chaque couche a une fonction définie et spécifique, minimisant les flux d'informations entre chacune et permettant une simplification des protocoles pour chaque couche. Les opérations de chaque couche peuvent faire l'objet de spécifications et de normalisation. La couche basse (1), dite physique, gère la transmission de données binaires sur un canal de communication. Les spécifications doivent ici garantir la bonne transmission des informations, via la normalisation des caractéristiques électriques ou mécaniques des circuits de transmission. La couche de liaison des données (2) vérifie et transforme les données reçues en « trames », pour les autonomiser du signal de réception et corriger les éventuelles erreurs dans la transmission des données. La couche réseau (3) est interne au réseau local de réception des paquets de données et gère le routage des paquets dans le réseau local et la réception des paquets depuis un réseau externe. Elle correspond à la couche « IP » du protocole TCP/IP. La couche transport (4) est une des couches les plus essentielles, garantissant le bon acheminement du message complet au destinataire en gérant le processus de connexion sur le réseau. Elle prend les messages de la couche session et les découpe en paquets pour les transmettre à la couche réseau, ou à l'inverse assemble les paquets reçus de la couche transport et les assemble pour les transmettre à la couche session. Elle correspond à la couche « TCP » du protocole TCP/IP. Les couches 1 à 3 interviennent au sein de réseaux locaux, et n'échangent pas avec des machines dites « d'extrémités », reliées sur le réseau Internet et pouvant être séparées par des routeurs. Les couches « hautes » quant à elles, de 4 à 7, n'interviennent qu'entre hôtes distants, reliés sur le réseau Internet. Les couches 5, 6 et 7 traitent les

²² L'ISO (*International Standards Organisation*) est un organisme international de normalisation créé en 1946 et basé à Genève, fédérant un réseau de 140 organismes nationaux et élaborant des normes techniques et sociétales.

informations relatives à la gestion des échanges entre systèmes d'information. La couche session (6) synchronise les tâches et les liaisons entre programmes d'applications. La couche présentation (7) autonomise les informations reçues et les convertit en données exploitables par la couche application (8), qui est le point d'interface entre l'utilisateur et le réseau, permettant au premier d'utiliser les services offerts par le deuxième (messagerie, transfert de fichier, etc.). Dans les faits, le modèle OSI, complet mais complexe, arrive après que TCP/IP soit implanté avec succès dans le réseau Internet, et n'a pas été transcrit par les industriels comme standard appliqué. Les couches session (5) et présentation (6) sont peu utilisées en tant que telles, alors que les couches liaisons de données (2) et réseaux (3) sont à l'inverse découpées en sous-couches du fait de leur complexité. Le modèle OSI reste donc un modèle théorique, dont la mise en application peut être considérée comme étant TCP/IP²³.

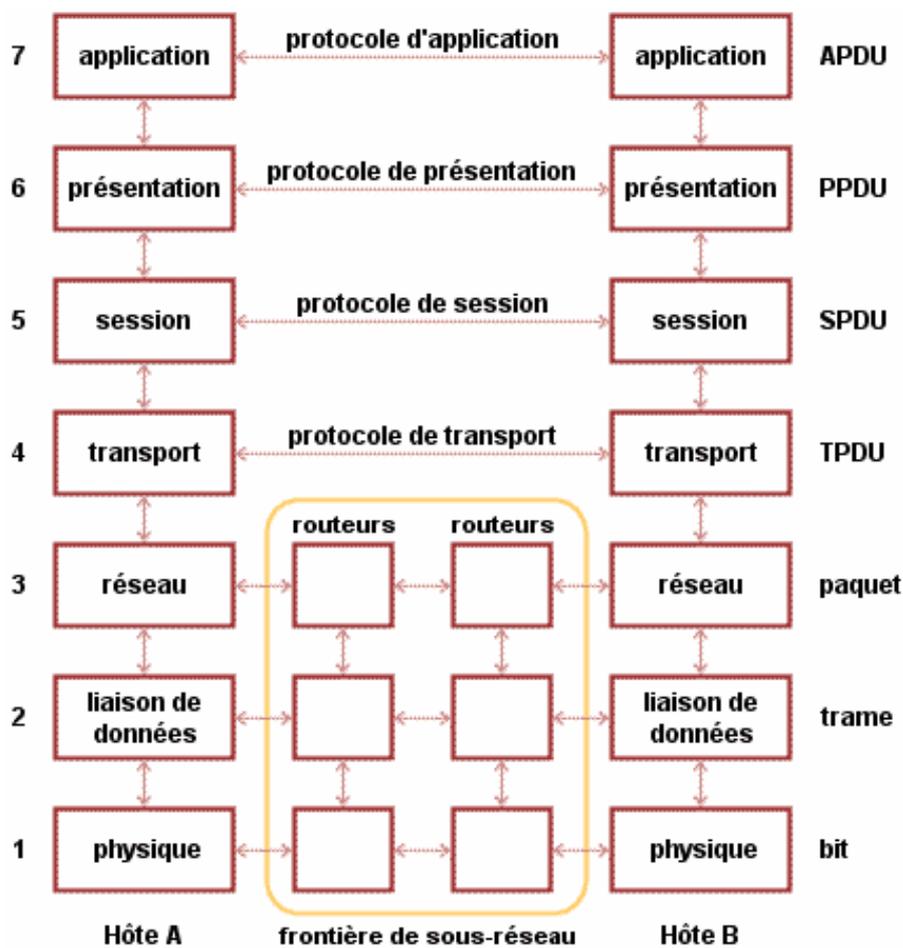


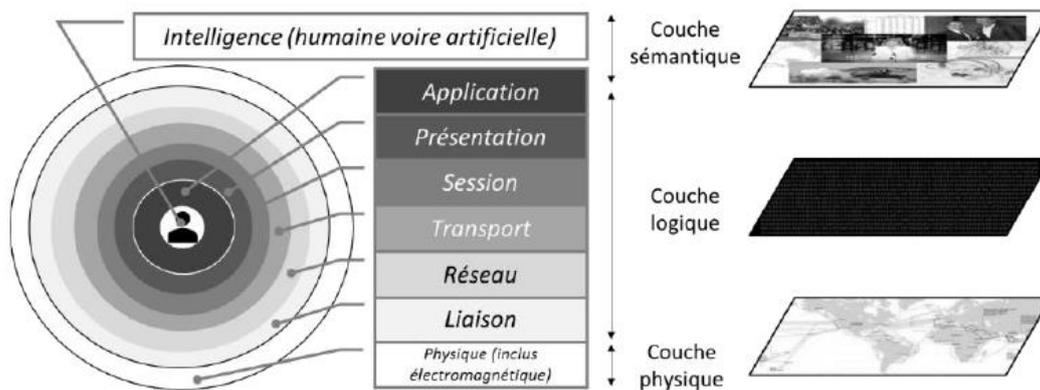
Figure 1 : modèle OSI (*frameip.com*, 2024).

23 Source majeure pour le paragraphe sur le modèle OSI : <https://www.frameip.com/osi/> (consulté le 17 juin 2024)

Une métaphore géologique simplifiée pour appréhender les enjeux du cyberspace

Au-delà de l'approche théorique du modèle OSI, l'espace numérique peut être appréhendé via une métaphore géologique simplifiée, intégrant la notion d'organisation en couches. À chacune de ces couches, se jouent des rivalités de pouvoirs entre acteurs, aux enjeux très géopolitiques. Les auteurs en retiennent généralement trois (Cattaruzza, 2019) ou quatre (Douzet, 2014, Huygue, 2020). La première couche est la couche physique ou couche matérielle, composée des infrastructures de transport, stockage et accès à Internet (câbles terrestres et sous-marins, centres de données, antennes relais, ordinateurs) constituant « un ensemble de matériels installés sur le territoire, soumis aux contraintes de la géographie physique et politique, que l'on peut construire, modifier ou détruire, connecter ou déconnecter du réseau ». Cette première couche, la plus solidement ancrée dans « l'espace géographique », est également la plus facilement cartographiable (Robine & Salamatian, 2014). La couche suivante est celle de l'infrastructure logique (Douzet, 2014), c'est-à-dire des services permettant d'assurer la transmission des données entre deux points du réseau. Elle repose sur le protocole TCP/IP et les dispositifs de routage²⁴, de nommage et d'adressage. D'autres auteurs la nomment couche programmatique, car composée des codes et instructions nécessaires pour faire fonctionner et piloter les réseaux. Elle est basée pour partie sur des normes autorisant une interopérabilité des systèmes (Huygue, 2020). Cette couche est fusionnée chez certains auteurs avec la troisième, dite couche *logicielle*, composée des applications et programmes permettant de naviguer sur Internet. Elle est notamment l'objet d'enjeux d'appropriation par les plateformes d'intermédiation et de captation massive de données à l'échelle planétaire (Huygue, 2020), pouvant faire l'objet d'espionnage de la part des États. Enfin la quatrième est celle de l'information et de l'interaction sociale. Elle est dite couche informationnelle ou sémantique, permettant l'expression de millions d'internautes par le biais des plateformes d'interactions sociales et la création de contenus, participant à la diffusion à large échelle d'idées, d'informations et de représentations (Desforges, 2014). Cette couche, dans laquelle les idées et discours circulent, est un terrain d'influence pour les acteurs privés et publics, permettant l'expression d'un *Soft power* et des pratiques d'influences diverses (désinformation, propagandes), parfois à la limite de la légalité.

²⁴ Le routage peut être défini comme le « choix de la route par laquelle voyagent des paquets de données entre deux réseaux » (Douzet, 2014).



Composition du cyberspace au regard du modèle OSI¹⁸

Figure 2 : représentation du cyberspace au regard du modèle OSI (Sudres, 2017, p. 70). Plus on approche du cœur du cyberspace, plus les représentations l'éloignent de la couche physique.

En 2014, la revue Hérodote publie un numéro consacré aux enjeux géopolitiques du cyberspace dans lequel les auteurs dégagent trois enjeux principaux.

- Le premier tourne notamment autour de la cybersécurité et du cyberespionnage, sept ans après les cyberattaques ayant visé l'État estonien²⁵ et deux ans après les révélations de l'affaire Snowden²⁶.
- Le deuxième est lié à la gouvernance et à la régulation de l'Internet dans le monde multipolaire né de l'éclatement de l'Union soviétique. Des enjeux de puissance se jouent à travers le cyberspace et ses représentations. Les guerres de l'information et le concept de *fake news* interrogent la capacité des démocraties à maintenir une information éclairée. Si les conflits terrestres restent d'actualité, de nouveaux espaces d'expansion virtuels sont à conquérir et le cyberspace est un lieu de représentations important pour les acteurs étatiques.
- Le troisième est lié à l'émergence du règne de la donnée comme base de la société de l'information du 21^e siècle, et nouvelle source de puissance au même titre que les matières premières le furent au 19^e et 20^e siècle, et dans laquelle les entreprises privées tiennent une place majeure (Frénot, S., & Grumbach, 2014). Internet semble ainsi « multiplier et compliquer » les conflits géopolitiques, à défaut de les temporiser (Douzet, 2014, p.3).

On le voit, la dualité du cyberspace est affirmée, avec des couches informationnelle et informatique relevant toutes les deux du champ de la géopolitique (Sudres, 2017). La notion de cyberspace, dans son imaginaire original,

²⁵ L'Estonie est victime de cyberattaques par déni de service (congestion électronique due à un afflux massif de requêtes) qui paralysent les services numériques de l'État pendant plusieurs jours en 2007, dans un contexte de tension entre nationalistes estoniens et factions pro-russes. Si des soupçons sont émis publiquement contre la Russie, le secrétaire de l'US Air Force Michael Wynne déclarant notamment que « la Russie semble être la première à s'être engagée dans la cyberguerre », il s'avère impossible de déterminer clairement une entité responsable (Joubert & Samaan, 2013).

²⁶ Le programme de surveillance PRISM est un programme de renseignement américain mené à grande échelle par la NSA, permettant la captation de données auprès des plateformes américaines (Cattaruzza, 2019, p. 69). Les révélations sur ce programme d'espionnage sont rendues publiques par le quotidien britannique The Guardian en juillet 2013, et suscitent des prises de positions mondiales (Joubert & Samaan, 2013).

s'est plutôt référée à la couche informationnelle, avec par exemple le concept de guerre informationnelle, mais on assiste aujourd'hui à un retour de la géopolitique appliquée aux infrastructures physiques du numérique, intégrant notamment en toile de fonds les problématiques de transition énergétique et d'accès aux ressources permettant le soutien du développement des systèmes numériques (Gomart, 2021). Si la situation de domination *de facto* des États-Unis dans chacune des couches du cyberspace est effective (pose des câbles et des infrastructures mondiales, gouvernance technique de l'Internet, influence sur la couche logicielle et sémantique), elle est aujourd'hui fortement *challengée* par la Chine, qui conteste la suprémacie américaine sur tous les points du cyberspace (Cattaruzza, 2019, p.17). Comme pour les États-Unis, la stratégie de développement de l'économie numérique chinoise s'intègre dans des objectifs généraux de promotion des intérêts nationaux. Ces objectifs sont notamment définis dans le plan Quinquennal *Made in China 2025 (MIC25)* et visent à l'autosuffisance en composants et matériaux de base de 70% d'ici 2050 sur l'ensemble de l'économie, et ciblent dix secteurs industriels clés parmi lesquels cinq touchent de près au numérique, allant du commerce en ligne au calcul haute performance. Pour soutenir le *leadership* attendu de la Chine dans ces secteurs stratégiques, outre des investissements dans la recherche et l'innovation, l'État soutient un ensemble d'entreprises de niveau mondial, parmi lesquelles figurent notamment *Baidu*, dans le domaine de l'intelligence artificielle et des voitures autonomes, *Alibaba* (services numériques et commerce en ligne), *Huawei* (semi-conducteurs et télécommunication), *Tencent* (services numériques), *SMIC* (semi-conducteurs), *Megvii* (intelligence artificielle), *DJI* (intelligence artificielle et drones), ou *Fujihan Jinhua* (mémoire vive) (Coelho, 2023, p. 68-69).

B – ELEMENTS GEOPOLITIQUES

B1 – Le jeu institutionnel des États

La gouvernance technique de l'Internet

Internet est un conglomérat de « plus de 50 000 réseaux » reliés par des points de transferts permettant à ces réseaux de communiquer entre eux²⁷ (Cattaruzza, 2019, p. 84). Le fonctionnement de cette structure technique originale, largement décentralisée, repose depuis l'origine sur une pluralité d'acteurs cohabitant dans un principe de gouvernance ouverte et autorégulée, dit « *multi-stakeholder governance* » (de La Chapelle, 2012), hérité des universitaires qui administrent Internet via des bourses de recherche et des contrats de concession du gouvernement américain depuis le début des années 1970. Les institutions de gouvernance de l'Internet, dont les groupes de travail sont généralement ouverts et collaboratifs, reposent sur une logique *bottom-up* (littéralement, « du bas vers le haut »), intégrant des acteurs privés et publics. Le cadre de gouvernance fait ainsi cohabiter de multiples organismes aux « statuts les plus divers et aux compétences imprécises », dont les recommandations sont adoptées via l'usage (Brousseau, 2001), ne passant pas par le cadre traditionnel des États. Ces institutions collaborent dans une approche visant à promouvoir l'ouverture, la stabilité et l'inclusion de l'Internet mondial (*Internet society*, 2019). Au premier rang de ces institutions figure l'ICANN, dont l'IANA est comme nous l'avons vu une composante chargée de la coordination du système de noms de domaine (DNS) et de l'adressage des adresses IP, permettant le bon fonctionnement du protocole TCP/IP. Le rôle technique de l'ICANN, contesté sur la forme à l'international pour son statut, est essentiel pour le bon fonctionnement de l'Internet mondial, permettant une bonne résilience de l'infrastructure. Il ne semble ainsi pas vraiment remis en cause malgré les oppositions.

« Globalement, le système de gouvernance « de » l'Internet, qui repose sur un véritable écosystème d'organisations, dont l'ICANN, fonctionne plutôt bien. Il y a certes toujours des améliorations à faire et des questions particulières demeurent, notamment sur le statut de l'ICANN, qu'il ne faut pas négliger. Mais, dans l'ensemble, le système de gouvernance technique qui soutient les activités sur Internet a réussi à permettre au réseau de grandir de quelques centaines d'utilisateurs à trois milliards sans problème technique majeur. »

(de La Chapelle, 2014, p. 175).

Au-delà de l'ICANN, plusieurs structures non gouvernementales assurent le fonctionnement de l'Internet. En plus des registraires, comme l'Afnic pour la France, qui assurent la gestion des noms de domaine nationaux, les *Regional Internet Registries (RIRs)*, ou Registres Internet Régionaux, sont les organisations chargées de la distribution des adresses IP et des numéros de systèmes autonomes (ASN) dans les différentes régions du monde pour le compte de l'IANA. On en compte cinq dans le monde : ARIN pour l'Amérique du Nord, RIPE NCC pour l'Europe, le Moyen-

²⁷ En l'absence de cartographie précise, il est difficile d'estimer le nombre de systèmes autonomes (SA) connectés à Internet.

Orient et certaines parties de l'Asie centrale, APNIC pour l'Asie-Pacifique, LACNIC pour l'Amérique Latine et les Caraïbes, AFRINIC pour l'Afrique.

L'*Internet Engineering Task Force (IETF)* est un organisme de standardisation chargé de l'élaboration des normes ouvertes de l'Internet (Cattaruzza, 2019, p.110), qui prennent la forme de *Request for comments*²⁸ (*RFC*). Les RFC sont notamment utilisés par les opérateurs de l'Internet (développeurs, ingénieurs réseau et entreprises) comme référence pour faire fonctionner les « dizaines de milliers de réseaux interconnectés qui constituent l'Internet » (terminologie issue d'un rapport de l'ISOC. *Internet society*, 30 novembre 2020). Les RFC sont adoptés après des tests d'opérationnalité menés par des organismes indépendants, sur le principe du « *rough consensus* » (consensus sommaire), c'est-à-dire s'ils ne font pas l'objet de contre-propositions (Brousseau, 2001). L'IETF est un organisme de normalisation sans statut formel précis, dont les membres sont pour l'essentiel des « universitaires ou des ingénieurs employés par les industriels du secteur » (Brousseau, 2001). La participation aux groupes de travail de l'IETF est ouverte à toute personne intéressée, quel que soit son profil (de La Chapelle, 2012). Le support institutionnel et financier de l'IETF est l'*Internet society (ISOC)*, et leur relation est cadrée dans le dernier accord stratégique 2021-2026 signé en novembre 2020 (*Internet society*, 30 novembre 2020).

L'*Internet Society (ISOC)* est une organisation à but non lucratif de droit américain, créée à l'initiative des ingénieurs Vinton Cerf et Robert Kahn en 1992 (Brousseau, 2001). Elle a pour rôle la promotion du développement ouvert et de l'utilisation de l'Internet, un soutien à la gouvernance multi-acteurs de l'Internet et une fonction support de l'IETF, à l'origine d'initiatives de politiques publiques, d'éducation et de formation.

Le *world-wide web consortium (W3C)*, fondé par Tim Berners-Lee, est l'organisme de normalisation de l'ensemble des langages de l'Internet (css, xml etc.), au premier rang desquels se trouve le langage html. Les standards sont publiés sous forme de « recommandations ». C'est une organisation à but non lucratif de droit américain, dont les membres sont des entreprises payant un droit d'adhésion (Brousseau, 2001). Le W3C a notamment été créé pour disposer de plus de moyens financiers que l'IETF (Brousseau, 2001). Actuellement, le site du W3C annonce 357 membres, parmi lesquels on retrouve tous les géants du net américain (*Amazon, Meta, Google, Apple, Microsoft*) (W3C, 2024).

L'*International Telecommunication Union (ITU)*, agence des Nations Unies chargée de la coordination dans les technologies de l'information et de la communication, est ouverte à 193 pays et plus de 700 membres associés. Elle a pour objet l'établissement des standards et normes dans les domaines des télécommunications, allant jusqu'à la coordination du spectre des fréquences radio et des orbites des satellites et la diffusion des informations techniques. L'ITU offre un espace de premier choix pour l'expression de la voix des États (Cattaruzza, 2019, p.110).

Au-delà de ces institutions, d'autres instances ou communautés d'utilisateurs jouent des rôles importants dans la gouvernance technique et l'évolution d'Internet, parmi lesquels se situent les communautés prônant l'usage et le développement de

²⁸ L'IETF remplace le *Stanford Research Institute (SRI)* dans la publication des RFC (Schafer, 2010).

logiciels libres²⁹ (Brousseau, 2001 ; Parasie & Shulz, 2024), des instances défendant les libertés sur Internet comme l'*Electric frontier fondation*, basée à San Francisco (Cattaruzza, 2019, p.112), l'*American Civil Liberties Union* ou la Quadrature du net en France (Musiani, 2014, p.60). L'Union Européenne et le Conseil de l'Europe se positionnent également sur la normalisation et l'ouverture des données avec une directive européenne en faveur d'une ouverture et de la ré-utilisation des données publiques, publiée en juin 2013 (Frénot & Grumbach, 2014, p. 47). Toutes ces instances assurent une gouvernance technique de l'Internet et participent au bon fonctionnement du réseau, mais elles n'ont pas vocation à étendre leurs compétences à la « gouvernance des usages », qui reste du ressort des États (de la Chapelle, 2012).

La gouvernance des usages

Internet est un réseau techniquement ouvert, dans son principe fondateur tout du moins³⁰, s'accordant mal avec une vision « westphalienne » attachée à la souveraineté des États-nations basée sur des juridictions définies géographiquement. Si le rôle des États peut sembler minime dans l'administration de l'Internet, se limitant à adapter le droit aux problématiques posées par Internet, il n'en est pas pour autant absent, notamment du fait de l'histoire américaine à l'origine du réseau qui conduit de nombreuses instances à être localisées en Californie et à dépendre

²⁹ Un logiciel libre est un logiciel dont l'utilisation, l'étude, la modification et la duplication est permise techniquement et juridiquement.

³⁰ La question de la gouvernance des usages, ou régulation d'Internet, pose la question connexe et très centrale de la « neutralité du net », non abordée dans ce mémoire. Internet est un conglomerat de réseaux privés et publics, reliés entre eux par des points de transferts appelés routeurs (Cattaruzza, 2019, p. 84). Dans un réseau neutre, les routeurs déterminent automatiquement les trajectoires des données en fonction du temps d'acheminement entre la source et la destination, sans priorisation de contenu sur le seul choix des délais les plus courts et sur la base d'algorithmes de routage a priori neutres et décentralisés. En réalité, on assiste d'une part à une centralisation des données au profit des États-Unis du fait de leur avance technologique et de la configuration des réseaux, pour la partie non asiatique du web tout du moins (d'Elia, 2014, p. 154 ; Cattaruzza, 2019, p.85), et d'autre part à une augmentation des volumes de données en circulation exigeant des paramètres techniques quant à l'administration des réseaux permettant le fonctionnement de pratiques de plus en plus gourmandes en bande passante comme le visionnage de vidéos en ligne ou le téléchargement (Musiani, 2014, p. 54).

Si l'opposition étatique au principe de neutralité du net est connue dans des pays comme la Chine, qui administre son réseau à l'abri d'une « grande muraille numérique », ou *Great Firewall*, depuis plus de vingt ans (Escorne, 2020, p. 232), les positions géopolitiques vis-à-vis de la neutralité du net ne peuvent se résoudre à une opposition entre régimes « démocratiques » et « autocratiques ». Les États-Unis ont officiellement aboli sous Donald Trump le principe de la neutralité du net sur leur territoire le 14 décembre 2017 par une décision de la *Federal Communications Commission (FCC)*, agence de régulation des télécommunications. Cette décision, soutenue par les grands opérateurs de télécommunication (AT&T, Verizon, Comcast) et les fournisseurs d'accès à Internet, supprime l'obligation légale faite aux fournisseurs d'accès Internet de traiter les flux de données de façon indiscriminée. Après une bataille juridique contre le fournisseur d'accès Mozilla, la Californie a obtenu auprès de la cour d'appel fédérale en octobre 2019 le droit de rétablir la neutralité du net sur son territoire, imitée par d'autres États quasi-exclusivement à tendance démocrate comme l'Oregon, le Colorado, l'État de New York, le Vermont, le New Jersey ou le Connecticut (Escorne, 2020). Le principe de neutralité du net est finalement rétabli par la FCC le jeudi 25 avril 2024, par l'avis de 3 juges (démocrates) contre deux (républicains) (Le Monde, article du 26 avril 2024). Ces questions a priori techniques se révèlent en réalité fortement économiques et politiques, avec la mise en avant de stratégies de qualité de service (*Quality of service, Qos*), remplaçant la notion de neutralité chez certains acteurs économiques d'envergure comme les fournisseurs d'accès à Internet ou les plateformes de distribution de services en ligne, pour permettre la diffusion efficace de leur contenu, par exemple via des services de *Content Delivery Networks (CDN)* (Musiani, 2014, p. 62). Les CDN, ou réseaux de diffusion de contenus, mobilisent des réseaux de serveurs répartis stratégiquement à l'échelle d'un territoire, qui stockent des copies de contenu (contenus en « cache ») en fonction de leur fréquence et volumes d'utilisation, pour les distribuer efficacement aux utilisateurs avec un temps de latence réduit, via la mobilisation de ces données immédiatement disponibles. La pratique des CDN peut être rapprochée de la pratique dite du « *edge computing* », qui consiste à stocker les données au plus près de l'utilisateur. Le prestataire *Cloudflare* propose par exemple des services d'optimisation de flux aux entreprises (*Cloudflare*, 2024).

En France, d'un point de vue plus politique et non liée avec l'optimisation de réseau pratiquée par les CDN, la neutralité du net est en théorie garantie par la Loi pour une République numérique de 2016 mais n'est pas à l'abri d'une entorse, comme en témoigne la censure *a priori* des flux *tiktok* dans les dispositifs de routage en Nouvelle-Calédonie lors des émeutes en mars 2024 via les dispositifs de routage, qui empêche de façon préventive l'accès à la plateforme pour les habitants de l'île (La quadrature du net, 17 mai 2024 ; La quadrature du net, 5 juin 2024).

techniquement d'une juridiction américaine³¹, ou par le jeu des acteurs privés qui interviennent également *de facto* dans l'évolution du réseau (Brousseau, 2001).

Un sommet mondial sur la société de l'information (SMSI) est organisé à Tunis en 2005, sous l'égide de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT). Le sommet de Tunis réunit 174 États participants. La Chine y exprime des positions en faveur d'une gouvernance plus partagée de l'Internet, dans laquelle la voix des États est mieux prise en compte, et la Syrie conteste l'autorité de l'ICANN en tant qu'entité référente dans l'assignation des noms de domaine (Coelho, 2023, p. 67). Un consensus *a minima* sur la gouvernance de l'Internet est toutefois adopté, mentionnant l'élaboration de « normes, procédures de décisions et programmes communs propres à modeler l'évolution et l'utilisation de l'Internet » par « les États, le secteur privé et la société civile », et ce sommet débouche sur la création du Forum sur la gouvernance de l'internet (FGI). Ce socle de consensus peut apparaître maigre, mais il a le mérite de ne pas enfermer dans une vision binaire qui consisterait à figer des prises de positions parfois flottantes³², et qui en même temps risquerait de minimiser les succès réels du fonctionnement du réseau non démentis depuis plus de quarante ans, permettant une couverture mondiale du réseau Internet³³ (de La Chapelle, 2012 ; Cattaruzza, 2019, p.111). Au-delà du socle de valeurs minimal partagé exprimé lors du sommet de Tunis, des débats autour des enjeux liés à la liberté d'expression, à la protection de la vie privée, aux droits de propriété intellectuelle ou à la sécurité conduisent à des prises de positions à l'échelle internationale qui permettent de distinguer des lignes de forces et de fractures entre acteurs internationaux. Des divergences explicites apparaissent au sujet de la régulation de l'Internet lors de la douzième conférence mondiale des télécommunications internationales organisée par l'IUT à Dubaï en décembre 2012 pour réclamer une gouvernance plus ouverte de l'Internet (de La Chapelle, 2012), puis en 2014 au Brésil lors d'un sommet baptisé « *NETMundial* » réuni à l'initiative de Dilma Roussef, demandant une sortie de l'« *US-centric Internet* » (l'Internet centré sur les États-Unis) (de La Chapelle, 2014 ; Cattaruzza, 2019, p.111). D'un côté, un bloc « occidental » composé notamment des pays européens, du Japon et des États-Unis³⁴ se déclare défenseur du principe de gouvernance multi-acteurs associant les gouvernements, la société civile et le secteur privé, telle qu'elle est organisée actuellement (Cattaruzza, 2019, p. 110), soutenant la vision américaine « *Rep by pop* » (démocratie par l'implication des acteurs économiques) dans laquelle les standards s'imposent par l'usage et de concert avec les grands acteurs

³¹ Les autorités judiciaires de Californie et, le cas échéant, de l'État fédéral américain, sont donc les arbitres en dernier ressort des décisions de l'ICANN, de l'*Internet Engineering Task Force (IETF)* ou du World Wide Web Consortium (*W3C*) (Brousseau, 2001).

³² Cf. note 30 sur l'application de la neutralité du net dans les démocraties.

³³ Pour le cas de la Chine, l'utilisation de caractères chinois traditionnels simplifiés pour nommer les noms de domaines est par exemple possible depuis 2000, contrairement aux usages mondiaux qui mobilisent uniquement les caractères de la langue anglaise disponibles sur la table d'encodage ASCII. Ce type de dispositif technique de contournement a pu faire craindre une scission dans l'Internet mondial, jamais avérée jusqu'à présent. En effet, aligné avec la stratégie économique et géopolitique du parti qui consiste à se connecter autant que possible à l'économie mondiale sans dépendre des acteurs étrangers, et à garder un contrôle fort sur les activités économiques en interne, la Chine développe une stratégie de maîtrise technique de son réseau par le biais du contrôle de flux et des dispositifs de routage, sans compromettre l'interconnexion totale de son réseau avec le réseau Internet mondial. Cette stratégie, pouvant être résumé par la parabole « ouvrir la fenêtre sans laisser passer les mouches », permet à la fois un contrôle des flux en interne et une possible expansion mondiale à venir dans le champ du cyberspace (Coelho, 2023, p. 65-68).

³⁴ Les États membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), du Conseil de l'Europe, les pays du G8, l'Union Européenne et nombre de ses États membres, les gouvernements américain, brésiliens et certains États africains comme le Kenya ont tous adopté ou promulgué des déclarations, parfois préparées avec des acteurs du secteur privé et de la société civile, en faveur d'une gouvernance multi-acteurs (de La Chapelle, 2012).

économiques. De l'autre, la Chine, la Russie³⁵ ou l'Arabie Saoudite se montrent partisans d'une régulation de l'Internet par les États, dans le cadre de leurs prérogatives nationales et par l'intermédiaire d'enceintes d'expression multilatérales traditionnelles des Nations Unis comme l'IUT (de La Chapelle, 2012 ; Cattaruzza, 2019). Dans cette vision, des *Swing countries* comme l'Inde, le Brésil ou l'Afrique du Sud, revendiquant officiellement une gouvernance plus ouverte et une « architecture distribuée³⁶ d'Internet, basée sur des normes et une gouvernance transparente et ouverte » s'expriment (Cattaruzza, 2019, p.111). La position de la France et de l'Europe peut être rapprochée de ce camp.

Au-delà des prises de positions politiques, la ligne de fond sur la géopolitique de l'Internet, comme dans le reste des affaires internationales du 21^e siècle en cours, est dominée par la rivalité entre la Chine et les États-Unis pour le leadership économique mondial (Gomart, 2021), et cela se manifeste également sur la gouvernance de l'Internet. En novembre 2023, la Chine organise une « 10^{ème} conférence mondiale de l'Internet » (*World Internet conférence*), en réplique à la récente dix-huitième édition du Forum sur la gouvernance de l'Internet (FGI) d'inspiration occidentale, organisée au Japon un mois plus tôt, pour aborder les sujets de la cybercriminalité, la *blockchain* ou l'intelligence artificielle, contester le mode de fonctionnement actuel de l'ICANN en tant que gestionnaire des fichiers DNS « racines », donnant une large place à la communauté technique dans son mode de fonctionnement, et rappeler la priorité des prérogatives nationales des États dans les prises de décisions qui concernant l'Internet mondial. L'ONU annonce vouloir prévenir une « fragmentation du net » qui, si elle se manifeste déjà à travers les politiques de gestion nationale des flux appliquées par les pays qui contreviennent à la neutralité du net, n'entrave pour l'instant pas l'universalité de réseau (Le Monde, 26 novembre 2023).

Cybersécurité et conflits de juridiction

Dès les années 2000, le cyberspace devient pour les États un enjeu de défense nationale et de compétition stratégique, considéré comme un cinquième espace à défendre après les champs physiques de la terre, la mer, l'air et l'espace (Barat-Ginies, 2014). Une coopération internationale en matière de cybersécurité s'impose, malgré la pluralité et le foisonnement des juridictions nationales qui restent souveraines en la matière (Pereira, 2016, p. 399). Sur le plan géopolitique, les attaques et menaces pesant sur le cyberspace relèvent de chacune des couches de celui-ci : la couche physique (coupure de câbles, bombardements de bâtiments abritant des centres de données, destruction d'infrastructures de communications, etc.), la couche logicielle (attaques en déni de services, logiciels malveillants, hacking) et la couche sémantique par les opérations de propagandes (Cattaruzza, 2019, p 117). Sur le plan juridique, il n'existe pas de définition stricte des actes de la cybercriminalité, notamment du fait des problèmes d'attribution et de localisation des cyberattaques fréquemment rencontrées, mais plusieurs centaines d'infractions

³⁵ Le groupe de Shangai (Chine, Russie, Ouzbékistan et Tadjikistan) et la Russie ont étudié et produit depuis 2011 divers textes appelant à réguler les comportements des États dans « l'espace informationnel », s'appuyant notamment sur des Institutions comme l'Union internationale des télécommunications (UIT), exprimant explicitement leurs positions lors du sommet de Dubaï en 2012 (de La Chapelle, 2012 & 2014).

³⁶ Une architecture distribuée peut être définie comme une architecture décentralisée, dans laquelle les données sont stockées localement, soit l'inverse de l'architecture en cours de constitution via le *cloud computing*.

liées aux systèmes d'information sont qualifiées comme telles dans le droit³⁷ (Pereira, 2016). Sur les 1000 milliards de dollars annuels du produit criminel découvert et constaté par les autorités, environ 20% concernent des profits issus du piratage informatique (Pereira, 2016, p. 390). Les définitions données de la cybercriminalité sur le plan juridique varient en fonction des instances et des auteurs, mais on considère globalement celle-ci comme des infractions commises « à l'encontre ou au moyen d'un système de communication », et utilisant les réseaux comme cible ou moyen pour la commission d'actes illégaux. Les approches de l'ONU, de l'OCDE et de la plupart des États se concentrent notamment sur l'atteinte à la sécurité des systèmes d'information (Pereira, 2016, p. 389). Au niveau international, la Convention de Budapest sur la cybercriminalité, rédigée sous l'impulsion du Conseil de l'Europe et ouverte à la signature le 21 novembre 2001, qualifie la cybercriminalité comme l'ensemble des « infractions contre la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des données et systèmes informatiques » (Cattaruzza, 2019, p. 117). La Convention de Budapest est l'instrument international de référence pour la mise en convergence des juridictions nationales et de l'engagement de coopérations internationales entre États signataires en matière d'enquêtes, d'échanges d'informations et de procédures internationales liées à la cybercriminalité. La convention liste neuf types d'infraction : « l'accès illégal aux systèmes et données informatiques, tel que le piratage ; l'interception illégale ; l'atteinte à l'intégrité des données ; l'atteinte à l'intégrité des systèmes (virus, spam et déni de service) ; le marché noir de la production ou la vente de moyens de commettre les infractions (infractions d'abus de dispositif) ; la fraude informatique ; la falsification informatique ; les infractions se rapportant à la pornographie enfantine ; les infractions liées aux atteintes à la propriété intellectuelle et aux droits connexes. » (Pereira, 2016, p. 392). Cette convention, complétée par un protocole additionnel relatif à l'incrimination d'actes de nature raciste et xénophobe commis par le biais de systèmes informatiques, vise à l'harmonisation des législations nationales, et à la résolution des problèmes de territorialités inhérents au cyberespace. Si chaque pays peut en effet se déclarer compétent pour juger une infraction touchant son territoire, les jurisprudences qualifiant l'étendue de celui-ci et la juridiction compétente, notamment de la part de la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE), n'établissent pas de règle claire sur le sujet, désignant tantôt le lieu de réalisation de l'évènement « causal » comme détermination de la juridiction compétente, tantôt le lieu touché voire visé (critère de « focalisation » de l'attaque, c'est-à-dire de la cible explicitement ou majoritairement visée). La convention est signée à l'origine par les membres du Conseil de l'Europe, soit 46 membres en janvier 2003, rejoints par le Canada en 2015, l'Australie en 2013, les États-Unis en 2007 et le Japon en 2012 (Pereira, 2016, p. 392). Elle compte 55 pays signataires en 2016 (Cattaruzza, 2019), et 76 en 2024 (Conseil de l'Europe, 2024), parmi lesquels ne figurent ni la Russie ni la Chine. Elle encourage également la conclusion de traités bilatéraux pour encadrer l'échange de

³⁷ Le droit français liste plus de 470 qualifications pénales relevant du domaine étendu de la cybercriminalité, soit en tant qu'objet (« atteintes relatives aux traitements de données personnelles, des atteintes aux systèmes de traitement automatisé de données, des atteintes aux réseaux, des infractions commises par la voie électronique visant la protection des oeuvres, des infractions relatives à la captation frauduleuse de programmes, des atteintes aux intérêts fondamentaux de la Nation »), soit en tant que moyen pour commettre une infraction (Pereira, 2016, p. 394). Ces infractions sont issues d'un corpus législatif très large, allant de la loi relative à l'informatique et aux libertés du 6 janvier 1978 à des dizaines de lois adoptées dans des textes ultérieurs, dans des domaines touchant à la fraude électronique, à l'économie numérique, aux communications et électroniques, à la lutte contre le terrorisme ou la sécurité.

données personnelles, dans un cadre judiciaire ou de sécurité nationale³⁸. Concernant la responsabilité des entreprises prestataires techniques dans les affaires, celle-ci est assez bien définie dans la législation européenne³⁹. La sollicitation de données auprès des entreprises et plateformes privées dans le cadre d'enquêtes peut prendre la forme d'injonctions judiciaires, qui montrent toutefois leur limite, ou faire l'objet de partenariats publics – privés concrétisés sous la forme de chartes de conduite (accord conclu entre le Conseil de l'Europe et *Microsoft* en décembre 2013, charte des fournisseurs d'accès dans la lutte contre le piratage de la musique en juillet 2004, charte des plateformes en matière de commerce électronique en juillet 2006, charte de déontologie des sites comparateurs de prix en décembre 2009...). (Pereira, 2016, p. 406-407).

L'accroissement des normes et instances internationales, dans un contexte de rivalité politique, pousse toutefois chaque pays à développer ses propres outils et instruments, défensifs voire offensifs, pour émerger dans un domaine où les juridictions nationales priment. Sur le plan technique, l'Otan passe un contrat avec des sous-traitants pour mettre en place la « Capacité Otan de réaction aux incidents informatiques », dite CIRT en 2003. Centrée sur une approche technique, répondant aux incidents détectés, l'unité est intégrée au Commandement allié Opérations (ACO) basé à Mons en Belgique et déclarée opérationnelle en 2013. Le cyberspace est intégré dans les stratégies et doctrines comme un territoire à maîtriser, pour pallier les cyberattaques. En janvier 2008, la première politique de cyberdéfense (*Cyber Defense Policy*) est adoptée par le Conseil de l'Atlantique nord, puis révisée en 2012, visant à garantir aux membres de l'organisation un « niveau de sécurité minimal » et à « réduire les vulnérabilités des infrastructures critiques nationales » (Joubert & Samaan, 2014). Un groupe d'experts émanant des membres de l'Otan rédige le Manuel de Tallin, outil juridique destiné à qualifier au regard du droit la notion de cyberattaque et à encadrer la coopération internationale en matière de cybersécurité (Barat-Ginies, 2014). En février 2013, la « Stratégie de cybersécurité de l'Union européenne : un cyberspace ouvert, sûr et sécurisé » (*Cybersecurity Strategy of the European Union. An Open, Safe, and Secure Cyberspace*) est publié. L'Union européenne opte pour une approche plus large, avec la création de l'*European Union Agency for Network and Information Security (ENISA)* par un règlement du Parlement européen et du Conseil de l'Europe en 2004, et confirmée dans ses fonctions en mai 2013. Composée d'experts des différents corps de l'UE, l'ENISA a pour vocation d'œuvrer pour la protection des infrastructures physiques, définies comme critiques, et d'assister le Parlement dans la rédaction des directives garantissant notamment la protection des données personnelles en ligne dans le respect des valeurs de l'UE. Il agit également en concertation avec des organismes internationaux comme le *CERT (Computer Emergency Response Team)* ou le *European Cybercrime Center d'Europol (EC3)* luttant contre la cybercriminalité

³⁸ L'accord *PNR (Passenger Name Record)*, signé entre l'Union Européenne et les États-Unis en 2012, encadre par exemple le transfert et le traitement des données des passagers aériens en vue de renforcer la sécurité et de prévenir le terrorisme et les crimes transnationaux tout en respectant les droits fondamentaux des individus et la protection de leurs données personnelles (Pereira, 2016, p. 405).

³⁹ Sur le sujet de la responsabilité pénale, la directive européenne du 8 juin 2000, reprise dans la plupart des États européens dont la France, les hébergeurs de contenus et fournisseurs d'accès à Internet ne peuvent être tenus pénalement responsables pour l'hébergement de contenus illicites, s'ils n'ont pas eu connaissance de l'aspect illicite de l'information hébergée, ou s'ils l'ont supprimée promptement une fois la connaissance acquise. Il en va différemment pour les éditeurs de contenus en ligne, responsables de plein droit des informations publiées au nom de la responsabilité éditoriale, ainsi que des auteurs des propos illicites, qui peuvent tous deux être poursuivis et condamnés. La limite entre hébergeur et éditeur peut également être appréciée par le juge, lorsque des choix éditoriaux interviennent en complément de l'activité de stockage de données (Pereira, 2016, p. 397).

(attaques informatiques contre le secteur bancaire ou activités pédopornographiques notamment), et des acteurs privés et des centres de cybersécurité nationaux. Plus largement, l'agence de l'Union Européenne pour la cybersécurité (ENISA) travaille sur la Directive *EUCS (European Cybersecurity Certification Scheme)*, touchant à la sécurité de ses données. Ce projet de l'UE vise à établir un système de certification de cybersécurité pour les services *cloud* comportant un double volet, technique et juridique.

Les concepts de cybersécurité sont reconnus comme priorité stratégique en France dans le *Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale* en 2013 (Douzet, 2020, p. 5). La notion de « guerre hybride » est abordée, développant l'hypothèse d'attaques physiques ou virtuelles, soit contre les infrastructures physiques, soit contre les services en ligne⁴⁰ dans la palette d'actions possibles à subir ou à mener au côté d'actions de guerres « conventionnelles ». Ce livre acte le prolongement des conflits et rivalités dans le cyberspace, et l'intégration de la nécessaire protection des intérêts régaliens dans le cyberspace. En France, l'Office central de lutte contre la criminalité liée aux technologies de l'information et de la communication (OCLCTIC) est créé en 2000 pour piloter l'aspect judiciaire des enquêtes touchant à la cybercriminalité, par exemple sur les fraudes à la carte bancaire et les piratages. L'Agence nationale de sécurité des systèmes d'information (ANSSI), qui n'a pas de capacité judiciaire en matière de recherche de preuve, est créée en juillet 2009 pour assurer la partie technique de la sécurité des systèmes d'information (Pereira, 2016, p. 290). L'OCLCTIC est remplacé par l'Office anti-cybercriminalité (OFAC) en 2023, et rattaché à la direction nationale de la Police judiciaire, sous l'autorité du Ministère de l'intérieur. Dans son rapport de 2023, l'ANSSI évoque des actions défensives dans les domaines de l'espionnage informatique ciblant des informations stratégiques, industrielles ou à caractère personnel, des attaques à but lucratif, notamment menées à l'aide de rançongiciels⁴¹ et visant les TPE/PME et les collectivités territoriales, ou des opérations de déstabilisation pouvant inclure des attaques en dénis de service distribués (DDOS) (ANSSI, 2024, p.7-17).

B2 – Une géopolitique des données

La centralité des plateformes d'intermédiation et le traitement big data des données numériques

La société de l'information naît dans les années 1990, avec le développement des premières applications web et la navigation hypertexte. Ce bouleversement s'appuie sur la commercialisation du web à partir de 1995⁴² et le développement d'un modèle économique basé sur l'exploitation des données personnelles des utilisateurs (Frénot & Grumbach, 2014). La donnée est aujourd'hui un élément clé dans la guerre technologique, considérée comme l'« or noir » du 21^e siècle et dont l'extraction, l'exploitation et le stockage permettent le développement de *trusts*, entreprises très dominantes voire hégémoniques sur des secteurs de marché,

⁴⁰ Par exemple : attaques en déni de service visant la saturation d'un réseau pour le rendre indisponible, campagnes de désinformation, cyberespionnage, « défacement » de site web, consistant à modifier subrepticement le contenu d'un site web, attaques par logiciels malveillants.

⁴¹ Rançongiciels cités dans le rapport : *8Base, Akira, ALPHV/ Black Cat, DHARMA/ Crysis / ZXCVB, ESXiArgs, LockBit / LockBit 2.0 / LockBit Red / LockBit, LockBit 3.0 / LockBit Black, Medusa, NoEscape, Play* (ANSSI, 2024, p.12).

⁴² La commercialisation d'Internet est initialement exclue de l'éthique de web par les premières communautés d'utilisateurs, via un code de conduite formalisé par l'IETF dans les années 1994-1995. Cette éthique du net, est vite avec l'arrivée des premiers fournisseurs d'accès à Internet qui démocratisent l'accès à Internet (Brousseau, 2001).

comparables aux premières situations monopolistiques émergeant dans l'économie américaine à la fin du 19^e siècle dans les secteurs des matières premières, des transports et du commerce, avec les empires industriels des Carnegie pour la métallurgie ou Rockefeller pour le pétrole (Coehlo, 2023, p. 59). En une vingtaine d'années, le monde passe d'une économie dominée par les entreprises exploitant et valorisant les énergies fossiles à celles exploitant et valorisant la donnée numérique. En 2020, les six plus grosses compagnies pétrolières (*Saudi Aramco, Exxon Mobil, Chevron, Reliance Industries, Shell, PetroCHina*), touchées par la crise sanitaire, atteignent 2 465 milliards de dollars de capitalisation boursière, tandis que les sept majors du numérique (*Apple, Alphabet, Microsoft, Amazon, Facebook, Tencent, Alibaba*) atteignent un total de 7 168 milliards de dollars et figurent dans le « top 10 » mondial (Gomart, 2021, p. 159).

Année 2005	Année 2021
<i>General Electric</i>	<i>Apple</i>
<i>Exxon Mobil</i>	<i>Microsoft</i>
<i>Microsoft</i>	<i>Saudi Aramco</i>
<i>Citigroup</i>	<i>Amazon</i>
<i>BP</i>	<i>Alphabet</i>
<i>Walmart</i>	<i>Facebook</i>
<i>Shell</i>	<i>Tencent</i>
<i>Johnson & Johnson</i>	<i>Tesla</i>
Total : 2 104 milliards USD	Total : 11 949 milliards USD

Figure 3 : comparaison des huit premières capitalisations boursières mondiales en 2005 et 2021, illustrant le glissement de l'économie mondiale (Gomart, 2021, p. 160).

L'acronyme « GAFAM » désigne les cinq groupes dominants sur le marché des services numériques et du traitement big data que sont *Google, Amazon, Facebook, Apple* et *Microsoft*. Ces plateformes d'intermédiation américaines, également appelées « *big tech* » (Coelho, 2023), dominent largement le marché des données. Les cinq GAFAM figurent parmi les 10 plus grosses capitalisations boursières en 2018, tandis que la première entreprise européenne dans le secteur du numérique n'arrive que 62^e (Cattaruzza, 2019, p. 91). Entre 2005 et 2016, le volume des données traitées a été multiplié par 80 (Gomart, 2021, p. 162). L'émergence du « *big data* » permet des traitements automatisés de volumes échappant à l'entendement humain faisant appel aux quatre fonctions génériques de production et collecte des données, transport, stockage et traitement de celles-ci pour les transformer en information (Cattaruzza, 2019, p. 60). Les plateformes comme *Google* ou *Facebook* proposent deux fonctionnalités « mamelles » de l'industrie du web, à savoir proposer des services de plus en plus personnalisés et efficaces, notamment sur mobile, et capitaliser sur l'intermédiation entre utilisateurs, à la fois consommateurs et producteurs. Ce modèle permet aux plateformes de collecter massivement des données primaires (messages, photos, infos profils, etc.) et secondaires (requêtes et comportements), issues des requêtes des internautes, et de les valoriser financièrement (Frénot & Grumbach, 2014, p. 48). L'analyse du trafic Internet révèle une captation massive des données primaires et secondaires au profit des entreprises américaines, notamment vis-à-vis de l'Europe de l'Ouest (Frénot & Grumbach, 2014, p. 50 à 60). Une comparaison des sites les plus fréquentés en Europe en 2014 (Frénot & Grumbach, 2014, p. 50) avec le trafic de 2024, ne révèle pas de changement majeur, avec les plateformes américaines toujours positionnées

dans les onze premiers sites visités (*Google, YouTube, Facebook, Instagram, « X », ex-twitter, Amazon*), cumulant plusieurs centaines de milliers de visites annuelles⁴³. Dans la « jungle informationnelle » que représente le web, les géants de la *big tech* américains ont su conquérir des positions dominantes, à coup de rachats⁴⁴ et d'innovation, et « capturer » des communautés d'utilisateurs au sein de leurs plateformes. Une fois inscrits, les utilisateurs abandonnent leurs données personnelles aux plateformes via la signature de conditions générales d'utilisation (CGU), et retournent massivement sur les applications de la firme pour la qualité de service qu'elles apportent. Bien que plus tardifs, les géants de la « *Big tech* » chinoise qui émergent dans les services numériques *Tencent* ou *Alibaba* suivent le même modèle. *Alibaba* via sa plateforme de commerce en ligne notamment, et *Tencent* par ses portails web comme « *QQ.com* », sa messagerie instantanée « *WeChat* », et diverses applications de réseaux sociaux et commerce en ligne. (Coelho, 2023, p. 91). Par analogie avec l'acronyme « GAFAM », désignant les géants de l'Internet américain (*Google, Amazon, Facebook, Apple* et *Microsoft*), est créé « BATX », désignant les grandes plateformes chinoises *Baidu, Alibaba, Tencent* et *Xiaomi*.

Facebook, créé en 2006, est à l'origine un système proposant l'enregistrement et la rediffusion ciblés d'informations et d'opinions personnelles. Rapidement, le système économique qui émerge permet à des acteurs économiques de mobiliser les données récoltées par *Facebook* pour proposer des analyses de marché, services et publicités personnalisés et différents services prédictifs dans le cadre de prestations payantes (Frénot & Grumbach, 2014, p. 48). Dans l'affaire dite de *Cambridge Analytica*, en 2018, la société de conseil politique *Cambridge Analytica* mobilise des données personnelles de millions d'utilisateurs de *Facebook*, récoltées notamment via des questionnaires sous forme de jeu sur le réseau social, pour pratiquer des campagnes de ciblage politique en faveur du candidat Trump, difficilement repérables par les opposants politiques. Ces campagnes éphémères (messages temporaires) ciblent des électeurs indécis, ou émotionnellement réactifs. Pratiquant un micro-ciblage comportemental et personnalisé en fonction des centres d'intérêts détectés, elles se concentrent notamment sur les électeurs des *swing states*, États à composante souvent rurale au statut indécis, pouvant faire pencher la balance dans des élections très disputées (Manokha, 2018). Cette affaire, au fort retentissement international, illustre les risques associés à la collecte massive de données personnelles et leur utilisation à des fins de manipulation politique, dans un contexte de liberté commerciale accordée par le droit américain pour l'exploitation des données personnelles⁴⁵ (Gomart et al., 2018, p 21-22).

⁴³ Sources utilisées pour estimer le trafic Internet en 2024 : Similarweb, 2024 et semrush, 2024. Consultées le 10 juillet 2024.

⁴⁴ Exemples de rachats emblématiques allant dans le sens d'une concentration horizontale des services chez les géants de la *big tech* : *Youtube* par *Google* en 2006, *Audible* par *Amazon* en 2008, *Waze* par *Google* en 2013, *Twitch* par *Amazon* en 2014, *WhatsApp* par *Facebook* en 2014, *LinkedIn* par *Microsoft* en 2016, *Fitbit* par *Alphabet*, holding de *Google*, en 2021. Les géants du numérique rachètent également d'autres types de sociétés de service, moins connues du grand public mais spécialisées en traitement *big data* ou recherche et développement comme la plateforme d'analyse de données *Looker* par *Alphabet* en 2020 pour 2,1 milliards de dollars. Ce rachat lui permet à la fois d'éliminer un concurrent et de gagner un catalogue massif de données (Coelho, 2023, p. 89-90).

⁴⁵ Seuls certains types de données sont protégés d'une exploitation à caractère commercial par le droit américain, comme les données collectées par les banques ou les hôpitaux contrairement à l'Europe où l'exploitation des données personnelles doit être justifiée par un intérêt légitime, consentement, exécution d'un contrat (Gomart et al., 2018, p 21-22).

Certains territoires numériques, de par la configuration de leur infrastructure (Chine⁴⁶) ou de la moindre pénétration de leur espace sémantique (Internet russophone), semblent moins perméables à la captation de données par les plateformes américaines (Cattaruzza, 2019). Les pays de l'Europe de l'Est conservent par exemple, tout comme l'espace chinois, un trafic national important dans le trafic Internet, et mobilisent des contenus locaux au détriment des GAFAM (Frénot & Grumbach, 2014, p. 50-60). Les causes expliquant cet état de fait tiennent à l'architecture physique du réseau, limitant les points d'accès vers l'extérieur ou filtrant certains flux (blocage de *YouTube* et *Facebook* en Chine), la présence de moteurs de recherches (*Baidu* pour la Chine, *Yandex* pour l'espace russophone) ou plateformes d'interactions (*Weibo*, *WeChat*) mieux adaptées aux particularités linguistiques et implantées dans les communautés d'utilisateurs (Cattaruzza, 2019).

La centralité à venir de la donnée dans le monde de l'entreprise

À l'échelle mondiale, la décennie 2010 est celle du passage de l'ère des exaoctets, ou Eo (10^{18} octets) à celle des zettaoctets, ou Zo (10^{21} octets). La quantité totale de données stockée sur la planète est estimée à 33 Zo en 2018 et les projections établies par l'Union Européenne montent à 175 Zo pour 2025 (Commission Européenne, 19 février 2020a, p. 2 ; Cattaruzza, 2019), faisant basculer le monde dans l'ère des algorithmes et du traitement de masse des données numériques. Chacune de ces étapes présente pour les acteurs qui les traitent des opportunités et des risques, pouvant revêtir une dimension géostratégique. Un producteur de données acquiert un avantage potentiel sur d'éventuels concurrents, générant toutefois des risques quant à ses propres capacités de stockage et de traitement des données produites, ainsi qu'un risque de piratage ou d'espionnage. Les données transportées peuvent souffrir de problématiques liées à la bande passante voire être captées lors d'écoutes discrètes (attaques dites « *man in the middle* »), ou mettre des acteurs isolés vis-à-vis des infrastructures de transport ou de stockages dans une situation de désavantage concurrentiel. À l'inverse, des acteurs bien desservis comme les États-Unis aspirent et captent d'importants volumes de données sur leur territoire, entraînant pour les acteurs privés des problématiques de dépendance vis-à-vis de concurrents dominants économiquement, et pour les acteurs publics des problématiques de souveraineté vis-à-vis d'acteurs proposant des services en *cloud computing* (Cattaruzza, 2019, p. 61-62). La captation et le traitement à grande échelle des données collectées sont également au cœur d'une lutte technologique en cours entre les divers acteurs, avec de nouvelles technologies émergentes (intelligence artificielle, objets connectés...), dans le cadre d'un modèle économique dominé par les Américains, qui capitalisent sur la collecte de données.

Aujourd'hui, les gestionnaires de centres de données dans les entreprises de taille intermédiaire ne réfléchissent plus en téraoctets (10^{12} octets), mais en pétaoctets (10^{15} octets). Une étude de McKinsey confirme la centralité de la donnée dans les enjeux économiques à venir, dans toutes les sphères de la société et notamment dans les entreprises, définissant sept caractéristiques majeures pour le traitement de la donnée dans les entreprises en 2025 : intégration des données dans chaque décision, interaction et processus ; traitement et accès aux données en temps réel ; flexibilité des banques de données pour fourniture de données prêtes à l'emploi ; traitement des données comme un produit accessible à l'interne et à

⁴⁶ La Chine filtre les données entrantes et sortantes à l'abri d'une "Grande muraille numérique" (*great firewall*). Cf. Note 30.

l'externe avec mise en qualité par des équipes dédiées ; élargissement des fonctions du responsable de traitement (DPO) à la génération de valeur pour les données traitées ; intégration des données à des écosystèmes plus larges que ceux de la structure ; automatisation de la gestion de données pour assurer la confidentialité, la sécurité et la résilience de celles-ci (McKinsey, 28 janvier 2022, cité dans Les Echos, 12 juin 2023). Le métier de délégué à la protection des données (DPO) semble également évoluer, avec des profils plus polyvalents que les seuls profils informatiques ou juridiques, et une présence qui s'étend dans les petites et moyennes entreprises (Le Monde informatique, 2 juillet 2024).

La captation de données par les services de renseignement

La loi anti-terroriste d'exception dite du « *patriot act* » est adoptée aux États-Unis le 24 octobre 2001, quelques semaines après les attaques terroristes ayant frappé le *World Trade Center*. Cette loi assouplit très largement les procédures d'écoute et de perquisition des services de sécurité et de renseignement américains comme la *Central Intelligence Agency (CIA)*, la *National Security Agency (NSA)* ou le *Foreign Office Bureau (FBI)*, qui peuvent collecter des données numériques stockées sur le territoire américain par simple requête auprès des entreprises dans le cadre d'investigations liées au terrorisme international (Cattaruzza, 2019, p. 100). Les écoutes « multipoints », permettant de tracer un individu via ses différents appareils reliés au réseau, ainsi que l'accès aux données personnelles des individus, sont également rendus possibles (Sidel, 2006). En 2008, le Congrès américain amende le *Foreign Intelligence Surveillance Act (FISA)*, loi de 1978 décrivant les procédures de surveillance physique et électronique d'acteurs étrangers sur le territoire américain, et étendant les possibilités de surveillance par les services de sécurité américain aux centres de données situés hors des États-Unis, appartenant à des entreprises américaines spécialisées en services numériques (*Facebook, Google, Yahoo, Microsoft, YouTube, Skype, AOL...*). Ces outils de surveillance, normalement circonscrits à des personnes non américaines (Barat-Ginies, 2014 ; Cattaruzza, 2019, p. 100) sont massivement mobilisés dans le cadre des programmes de renseignement *Upstream* et *Prism* menés par la NSA et révélés par l'affaire Snowden en 2013 (Parlement Européen, 2013, p. 17 à 20). Cette affaire acte la collecte massive de données par les services de renseignement américain, à la fois par aspiration de données auprès des fournisseurs d'accès à Internet, dans les couches basses de l'infrastructure réseau⁴⁷, ou par injonction auprès des grands acteurs du numérique. Le traitement « *big data* » des données collectées est ensuite organisé via le programme *XKeyscore* (Parlement Européen, 2013, p. 17-18 ; Pétiñiaud, 2014, p. 35). Suite à l'émoi provoqué par l'affaire Snowden, les États-Unis promulguent le 2 juin 2015 le *Freedom act*, qui remplace le *Patriot act*, mettant officiellement fin à une collecte massive, automatique et indiscriminée de données. Dans le *Freedom act*, les données ne sont pas accessibles directement par les services de renseignements américains mais au cas par cas sur requête auprès des opérateurs de télécommunication (Cattaruzza, 2019, p. 100). À la place, les métadonnées restent stockées chez les opérateurs et les autorités peuvent demander

⁴⁷ Dans le cadre du programme *Upstream* (collecte en amont), les données sont copiées par la NSA « depuis des réseaux publics ou privés [...], à partir des points d'atterrissage des câbles de fibre optique et des centres de commutation des données de l'internet entre les grands fournisseurs d'accès » (Parlement Européen, 2013, p. 17).

Edward Snowden révèle que la « collecte massive des données personnelles s'opérait directement aux points d'atterrage des câbles sous-marins, sans aucun contrôle des autorités judiciaires locales, ni aucun égard pour les lois s'appliquant en dehors du sol américain » (Blanc, 2018, p. 43).

à y avoir accès, en fonction de critères spécifiques et en fournissant la preuve d'un lien avec le terrorisme. Toutefois, le *Patriot act* n'annule pas le FISA, toujours en vigueur et renouvelé en 2018 et 2024 (Le Monde informatique, 22 avril 2024), qui autorise les services de renseignements américains à collecter des données sans mandat hors du territoire des États-Unis auprès des entreprises américaines.

Le renseignement est une activité politique secrète visant à produire de l'information stratégique à des fins décisionnelles (Cattaruzza, 2023, p. 165). C'est en quelque sorte une activité d'« espionnage institutionnalisé ». Le programme de renseignement mené à grande échelle révélé par l'affaire Snowden n'incrimine pas que les États-Unis, mais évoque au contraire des « cercles de coopération hiérarchisés », incluant des partenaires également actifs en matière de renseignement et engagés dans le partage d'information avec la NSA. Le cercle privilégié, dit des « *Five eyes* » et comprenant le Royaume-Uni, le Canada, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, permet aux États-Unis d'étendre sa politique de surveillance à l'International, tandis que des cercles plus éloignés, avec des niveaux de coopération moindres, sont également cités dans l'affaire Snowden. Il s'agit des « *9-eyes* », qui incluent en plus des pays précédemment cités le Danemark, la France, les Pays-Bas et la Norvège, et des « *14-eyes* », incluant l'Allemagne, la Belgique, l'Italie, l'Espagne et la Suède (Pétiniaud, 2014, p. 40-42). Si l'étendue des programmes de surveillance *Upstream* et *Prism* a pu choquer les partenaires européens par leur étendue, qui ont vivement réagi sur la scène politique, il semble que ce soit la domination américaine et ses facilités d'accès et de traitement de données *big data* qui aient effrayé les Européens plus que la nature elle-même de pratiques possiblement largement appliquées et relevant d'un usage habituel, ou tout du moins connu, en matière de renseignement (Le nouvel observateur, 1^{er} juillet 2015).

Une territorialisation par le droit ?

La souveraineté nationale est établie sur la composante territoriale des espaces physiques dominés par les États et sur lesquels s'exerce la puissance pénale étatique. C'est le socle du droit international public depuis les 16^e et 17^e siècles (Davis & Gunka, 2021, p. 15). Pour qu'un acte commis à l'extérieur du territoire national soit reconnu comme portant atteinte aux intérêts fondamentaux de l'État et justifie l'application de son droit pénal, il faut que l'acte incriminé soit rattaché a minima par un élément subjectif comme la citoyenneté de l'auteur ou de la victime (Davis & Gunka, 2021, p. 47). Le cyberspace, défini comme un espace « métaphysique », non géographique et politique (Davis & Gunka, 2021, p. 53), en permettant la circulation et un accès mondial aux données numériques par le biais d'Internet, pose un objet juridique nouveau face auquel les États sont tenus soit d'adapter les règles existantes, soit d'adopter des règles spécifiques pour confronter et défendre leurs intérêts. Il n'existe pas de droit d'Internet en tant que branche du droit, au même titre que le droit civil ou le droit commercial. Il existe une multitude de sources juridiques et une grande diversité internationale dans les règles de droit. La régulation du droit sur Internet se fait par le biais des instances de régulations, comme nous l'avons vu, et des législations nationales, qui sont souvent la transposition de directives européennes pour les pays membres de l'Union Européenne. Les aspects juridiques majeurs touchent aux droit de la responsabilité, droit à la vie privée, droit de la propriété intellectuelle, droit international privé. Les GAFAM, placés sous l'autorité du droit américain, soumettent les utilisateurs qui leur confient des données à une extension du droit américain hors de ses frontières.

On parle d'extraterritorialité du droit américain, étendu par le biais de conditions générales d'utilisations (CGU). Les notions de libre-échange et l'approche économique, couplée avec l'orientation technique initiale ouverte du réseau Internet, plaident *a priori* pour une libre circulation des données. La notion de *free flow of data* est ainsi évoquée dans plusieurs accords de libre-échange et portée par les États-Unis⁴⁸ (Cattaruzza, 2019, p. 97). Toutefois, la domination des acteurs américains sur le marché des services numériques qui captent et exploitent massivement des données dans une approche économique, la captation des données révélées au profit des services de renseignements américains par l'affaire Snowden, ou l'émergence de nouveaux rivaux chinois conduisent les acteurs étatiques à confronter leurs arsenaux juridiques pour défendre leurs intérêts souverains. Cette confrontation peut se faire sur la base de la localisation du stockage des données, en ce qui concerne les données à caractère personnel notamment, puis plus récemment sur le lieu d'accès à celles-ci pour l'étendue des mandats de perquisition numérique, du fait des évolutions induites par l'informatique en nuage (*cloud computing*).

Face à l'extraterritorialité du droit américain, étendu par le biais des Conditions Générales d'Utilisation aux plateformes numériques acceptées par les utilisateurs, les Européens apportent une « réponse réglementaire à un défi géopolitique lancé par les États-Unis » (Gomart, and al., 2019). Le Règlement Général des Données Personnelles (RGPD) est adopté par le Parlement européen le 4 mai 2016, et s'applique à partir du 25 mai 2018. À compter de cette date, toutes les entreprises et organisations concernées doivent se conformer aux nouvelles règles de protection des données personnelles. Visant à renforcer la protection des données personnelles des individus⁴⁹, le RGPD comporte lui aussi une portée extraterritoriale, puisqu'il s'applique à toute structure traitant des données personnelles dans l'Union Européenne, mais également « au traitement des données personnelles relatives à des personnes qui se trouvent sur le territoire de l'Union, et ce, quel que soit le lieu de l'établissement qui effectue ce traitement » (Bismuth, 2019, p. 68, citant l'article 3 du RGPD). La mise en conformité du RGPD avec les droits étrangers, dans le cadre des accords de transfert de données, s'impose désormais dans la géopolitique des données. L'Europe, ne disposant pas de plateformes d'intermédiation globale capable de rivaliser avec les géants américains, se positionne à l'international sur le champ de la protection des données personnelles de ses habitants, considérées comme rattachées à un droit fondamental (Gomart et al., 2018, p. 22), et en parallèle sur une politique d'ouverture des données qui limite la portée commerciale de leur exploitation via la directive européenne 2013/37/UE « *The re-use of public sector information*⁵⁰ » (Frénot & Grumbach, 2014, p. 47). Avant le RGPD, l'Union Européenne (UE) est déjà consciente de la nécessité d'encadrer le transfert des données à caractère personnel vers les territoires situés hors de l'UE et règlemente celui-ci via la Directive 95/46/CE, qui n'autorise le transfert de données à caractère personnel que si le pays destinataire « assure un

⁴⁸ La notion de *free flow of data* est évoquée dans des accords comme le *TISA (Trade in Services Agreement)*, projet de libéralisation du commerce des services négocié entre plusieurs pays, le *RCEP (Regional Comprehensive Economic Partnership)* en Asie et le *TTIP (Transatlantic Trade and Investment Partnership)* entre les États-Unis et les pays de l'Union Européenne (Gomart et al., 2018, p. 21 et p. 37). À ce jour, seul le RCEP est entré en vigueur.

⁴⁹ Le RGPD repose sur trois principes majeurs : responsabilisation des structures en charge du traitement des données, co-responsabilité des sous-traitants et imposition de protection des données par défaut et dès la conception (Gomart et al., 2018, p. 38). Il impose la transparence quant au traitement effectué, la liberté d'accès, de rectification, de suppression et de portabilité pour la personne dont les données sont traitées.

⁵⁰ Journal officiel de l'Union européenne. (27 juin 2013). *Directive 2013/37/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 modifiant la directive 2003/98/ce concernant la réutilisation des informations du secteur public.*

niveau de protection adéquat » (Weiss, 2016, p. 20). Les États-Unis, qui ne disposent pas de loi fédérale de protection des données, ne font pas partie de ces pays adéquats et des accords transatlantiques sont conclus pour encadrer ce domaine, comme le *Safe Harbour* (sphère de sécurité), en vigueur de 2000 à 2015, puis le *Privacy Shield* (sphère de sécurité), en vigueur de 2016 à 2020. Le *Safe Harbour* garantit notamment le droit de s'opposer à la divulgation de ses données personnelles, le droit à la sécurité et à l'intégrité de celles-ci. L'adhésion au *Safe Harbour* est déclaratif pour les entreprises qui collectent des données à caractère personnel en Europe, auprès du *Département du commerce (DoC)* américain (Weiss, 2016, p. 21). Après la révélation des programmes de renseignement à grande échelle mobilisant les données personnelles stockées sur les serveurs aux États-Unis, la Cour de Justice de l'Union Européenne (CJUE) invalide le *Safe Harbour* dans un arrêt dit « Schrems I », le 6 octobre 2015, jugeant que le cadre ne garantissait pas une protection adéquate des données des citoyens européens face aux lois de surveillance américaines. Suite à l'invalidation du *Safe Harbour*, le *Privacy Shield* est adopté en juillet 2016 comme un nouvel accord pour encadrer les transferts de données entre l'UE et les États-Unis. Le *Privacy Shield* inclut des engagements de la part du gouvernement américain pour limiter la collecte de données et offrir des recours aux citoyens européens en cas de contestation sur l'usage de leurs données personnelles, ainsi qu'une meilleure intégration des autorités de protection des données (*DPA – Data Protection Authority*), instances indépendantes chargées d'assurer l'application de la législation relative aux données personnelles⁵¹ (Weiss, 2016, p. 22). En juillet 2020, la CJUE invalide de nouveau cet accord dans l'affaire Schrems II, sensiblement pour les mêmes motifs que le *Safe Harbour*. Après l'invalidation du *Privacy Shield*, les entreprises doivent utiliser d'autres mécanismes de transfert de données, comme les *clauses contractuelles types (CCT)* ou les *règles d'entreprise contraignantes (BCR)*, qui doivent être conformes au RGPD nouvellement en place. En 2023, un nouveau « Cadre de Protection des Données à caractère personnel » encadre le transfert de données personnelles depuis l'UE vers les États-Unis, avec le *Data Privacy Framework (DPF)*, en fonctionnant toujours sur une base déclarative auprès du Département du Commerce américain (CNIL, 8 novembre 2023). En 2024, après six ans d'exercice, plus de 100 000 réclamations sont traitées par an dans le cadre du RGPD, et 6 680 amendes ont été données par les autorités de protection des données (APD), pour un montant d'environ 4,2 milliards d'euros. L'Irlande, accueillant les sièges européens d'*Alphabet (Google, YouTube)*, *Meta (Facebook, Instagram, WhatsApp)* et *Microsoft*, est l'interlocuteur privilégié de ces entreprises en Europe concernant les réclamations sur le traitement des données personnelles, et se situe en première position en termes de montant d'amendes prononcé, avec 2,8 milliards d'euros, même si le rapport révèle une forte pratique des accords à l'amiable. Le Luxembourg est deuxième avec 746 millions d'euros, l'Italie troisième avec 197 millions d'euros et la France quatrième avec 131 millions d'euros (*Next.ink*, 30 juillet 2024). En 2024, un an après la mise en application du DPF, l'Union européenne (UE) et les États-Unis, par l'intermédiaire du *Department of Commerce (DoC)*, tirent un bilan positif de l'application de cet accord, ce dernier annonçant la participation de 2 800 entreprises à l'accord, dont 70 % de taille petite et intermédiaire, et un chiffre de 1 000 milliards de dollars de commerce et d'investissement généré dans ce cadre (Vie publique, 25 juillet 2024).

⁵¹ En France, cette mission est assurée par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

L'adaptation aux réalités de l'informatique en nuage (cloud computing) en matière de coopération judiciaire

Une part importante des enquêtes pénales requiert aujourd'hui la saisie de preuves électroniques stockées sur des serveurs localisés hors du territoire national de l'autorité en charge de l'enquête. La requête et l'échange de ce type de données entre autorités judiciaires passent traditionnellement par la voie définie dans les traités d'entraide judiciaires, appelés *MLAT* (*mutual legal assistance treaties*). Les autorités judiciaires de pays signataires de la convention de Budapest transmettent ainsi environ 150 000 demandes par an de fourniture de preuves électroniques aux fournisseurs de services américains, passant par le cadre des MLAT, qui aboutissent pour 60 % d'entre elles (Bismuth, 2019, p. 689). En avril 2014, l'affaire dite « *Microsoft contre les États-Unis* », est révélatrice des jeux de pouvoirs entre acteurs étatiques et acteurs privés, ces derniers étant par principe réticents à donner librement leurs données à une autorité tierce⁵² (Cattaruzza, 2019, p. 100). Dans le cadre d'une enquête judiciaire exigeant la fourniture d'informations associées au compte e-mail d'une personne suspectée de trafic de drogue, *Microsoft* refuse de livrer les données hébergées dans ses centres de données en Irlande, contestant la validité du mandat des autorités américaines pour requérir des données hébergées hors des États-Unis. *Microsoft* soutient que la législation en vigueur ne prend pas en compte la réquisition de données hébergées à l'extérieur des États-Unis, et que le simple mandat n'est donc pas suffisant pour aboutir à une saisie, qui doit passer par le cadre d'un MLAT⁵³ (Bismuth, 2019, p. 682). La cour d'appel des États-Unis donne raison à *Microsoft* en 2016, mais l'affaire est portée devant la cour suprême par le gouvernement américain en 2018. Avant le rendu du verdict, en mars 2018, le congrès américain adopte le « *clarifying lawful overseas use of data act* », clarifiant les prérogatives des autorités judiciaires américaines concernant la saisie de données hébergées hors des États-Unis dans le cadre d'enquêtes pénales ou administratives diligentées pour des infractions graves, leur permettent de s'affranchir de la procédure MLAT pour requérir des données accessibles via le *cloud*. Avec cet acte, les États-Unis s'adaptent à l'évolution de la physionomie d'Internet et intègrent les nouvelles réalités de l'informatique en nuage (*cloud computing*), dans laquelle la localisation des données est couramment fragmentée ou difficile à déterminer⁵⁴, rendant l'approche territoriale basée sur le lieu de stockage des données obsolète ou inopérante (Davis & Gunka, 2021, p. 56 ; Bismuth, 2019, p. 683-684). Le *cloud act* garantit ainsi aux autorités américaines, sur la base d'un mandat valablement délivré d'après la juridiction en vigueur (*SCA* de 1986), l'accès à des données informatiques accessibles depuis les États-Unis sur requête auprès d'un CSP (*Communication Services Provider*). Celui-ci ne peut plus arguer de la localisation des données hors du territoire des États-Unis pour refuser de communiquer les données. Les conditions de saisie stipulent que le mandat s'applique à un CSP établi sur le

⁵² La réticence des plateformes numériques à collaborer en matière de lutte contre la cybercriminalité avec les instances judiciaires contraste nettement avec leur collaboration avec les services de renseignement américains selon certains auteurs (Pereira, 2016, p. 407).

⁵³ À l'époque, le *Stored Communication Act* de 1986, qui régit la protection des données personnelles stockées sur des serveurs informatiques, autorise en effet la saisie de données sur mandat dans le cadre d'une enquête judiciaire par les autorités, mais ne prend pas en compte le cas où des données accessibles aux États-Unis seraient stockées sur un territoire étranger, tout en étant accessibles depuis les États-Unis via la technologie du *cloud computing* (Bismuth, 2018).

⁵⁴ Pour des raisons de coûts ou de résilience, les données peuvent être divisées en fragments et stockés séparément ou être localisées dans des fermes de serveur hors du territoire sur lequel elles sont consultées par les utilisateurs, rendant la conclusion de MLAT difficile, et une territorialisation du droit basée sur le lieu de stockage peu efficiente (Davis & Gunka, 2021, p. 50).

territoire américain ou ayant un « lien personnel » avec les États-Unis (filiale d'une firme américaine établie à l'étranger ou filiale étrangère effectuant une partie de son activité sur le territoire américain), dans la tradition de la jurisprudence américaine issue de la *common law* (Davis & Gunka, 2021, p. 56-58). Le *cloud act* ne donne pas de contours précis pour les infractions pouvant justifier un mandat par le procureur, évoquant une « infraction sérieuse » et concernant des citoyens ou résidents américains, ou une personne morale ayant une présence aux États-Unis. Les CSP peuvent contester un des motifs ci-dessus, ou arguer de la violation du droit d'un État étranger par la fourniture de données dans un délai de 14 jours suivant la demande de divulgation. Le procureur américain apprécie alors le bien-fondé de la contestation d'après plusieurs critères listés dans le *cloud act*, comme l'intérêt des États-Unis et de l'autorité américaine sollicitant l'information, les intérêts des États étrangers, le bien-fondé de la requête (Bismuth, 2019, p. 686). Le procureur peut alors soit confirmer le mandat, rendant la saisie effective, soit l'infirmer, faisant basculer la requête vers une procédure MLAT. Le *cloud act* prévoit également la passation d'accords bilatéraux (*executive agreements*) entre les États-Unis et des États partenaires, permettant à ceux-ci de solliciter des informations détenues par des prestataires américains sans passer par le cadre des MLAT. Ce type d'accord offre une forme de réciprocité en matière d'entraide judiciaire entre les États partenaires dans les conditions d'accès aux données détenues par les plateformes numériques, désormais en première ligne face aux requêtes des États.

Avec cet acte, l'évolution de la physionomie d'Internet est intégrée par les États-Unis, et la compétence territoriale de l'autorité juridique n'est plus basée sur le lieu de stockage des données, mais sur le lieu d'accès à celles-ci (Davis & Gunka, 2021, p. 44-46 et 56-58). Cette approche territoriale ne semble pas irrationnelle au regard de l'évolution de la physionomie de l'Internet, et est même comparable à d'autres juridictions actives ou en cours d'élaboration dans des démocraties européennes comme la Grande-Bretagne ou la France, en termes de juridiction pénale. Le premier accord bilatéral avec les États-Unis est ainsi signé par le Royaume-Uni le 3 octobre 2019 (Davis & Gunka, 2021, p. 62). Toutefois, le Règlement Général des Données Personnelles (RGPD) n'autorise pas en l'état le transfert de données à caractère personnel à des autorités judiciaires hors de l'Union Européenne qui ne soit pas basé sur un accord de type MLAT, soumettant les plateformes numériques à un conflit de juridiction. Ainsi, un accord bilatéral à plus large échelle entre les États-Unis et l'Europe, visant à encadrer le transfert de preuves numériques dans le cadre d'enquêtes judiciaires transfrontalières, conciliant les nécessités d'accès aux données dues à la sécurité publique des États dans le cadre des enquêtes et intégrant les problématiques défendues par le RGPD reste à trouver (Davis & Gunka, 2021, p. 63-66).

PARTIE II : MATERIALITES ET ACTEURS DU MONDE NUMERIQUE

A. LES CABLES SOUS-MARINS, COLONNE VERTEBRALE DE L'INTERNET MONDIAL

A1 – Histoire d'une infrastructure stratégique

Contexte et éléments juridiques

L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) définit en 2010 le câble sous-marin de communication comme un câble « posé dans le fond marin, ou ensouillé à faible profondeur, destiné à acheminer des communications » (Morel, 2019, p.34). Cette infrastructure sert, depuis ses origines, à la transmission d'information entre des territoires séparés par les eaux. D'abord au service de la communication par télégraphe, les câbles sous-marins permettent la transmission d'appels téléphoniques à partir des années 1950 et aujourd'hui des données Internet (sons, images, vidéos...), grâce à la technologie de la fibre optique. Le terme « réseau de communications électroniques » est aujourd'hui parfois préféré à celui, plus ancien, d'infrastructures de télécommunication (Morel, 2019). Les câbles transportent aujourd'hui l'essentiel des données de l'Internet, et sont à la croisée de plusieurs enjeux : sécurité et fiabilité des communications, développement économique, indépendance géostratégique. Héritiers des câbles télégraphiques du 19^e siècle, dont ils reprennent souvent les tracés, ils constituent une couche physique à la matérialité invisible pour l'utilisateur essentielle au fonctionnement du réseau et faisant depuis vingt ans l'objet d'investissements importants de la part des acteurs privés et publics (Blanc, 2018). On dénombre aujourd'hui environ 500 câbles sous-marins⁵⁵ sur la planète (Assemblée nationale, 2019, p. 83), totalisant 1,3 million de kilomètres de long, soit 32 fois la circonférence de la Terre. Les câbles sous-marins transportent entre 95 et 99 % du trafic mondial de communications électroniques⁵⁶ et revêtent aujourd'hui une importance stratégique dans tous les secteurs de l'économie de marché, la vie quotidienne, la souveraineté, et se posent en infrastructure physique au cœur de multiples enjeux. Au niveau juridique, le droit afférant aux câbles sous-marins s'appuie sur les règles internationales du droit de la Mer, codifié par les conventions des Nations-Unis sur le droit de la Mer, dont les premières furent signées à Genève en 1958. Celles-ci fixent la limite des eaux territoriales, sous souveraineté des États, à 12 milles marins des côtes (22 km). La convention des Nations Unies sur le droit de la mer, signé à Montego Bay en 1982, instaure une zone contigüe, prolongeant les eaux territoriales de 12 milles marins supplémentaires, sur laquelle les États riverains disposent de pouvoirs de police étendus. La convention crée également une zone économique exclusive (ZEE), de 200 milles marins (370 km), dans laquelle les États disposent d'un droit souverain à l'exploitation des ressources naturelles situées dans les fonds marins et leurs sous-

⁵⁵ L'extraction des données issues de la base de données *submarinecablemap.com*, réalisée en juin 2023, donne le total de 543 câbles référencés.

⁵⁶ « Environ 95 % » (Boullier, 2014, p. 150), « 95 % » (Cattaruzza, 2019, p. 85), « 97 % » (Assemblée nationale, 2019, p. 84), « plus de 98 % » (Morel, 2019, p. 35, Morel, 2023, cité par Lucq, 2024, p. 173).

sols⁵⁷. La liberté de pose de câbles sous-marin est le principe dans les eaux internationales, sur le plateau continental des zones économiques exclusives comme dans les eaux territoriales des pays riverains, même si des réserves peuvent apparaître dans ces deux derniers espaces du fait de la pluralité des activités menées par les États côtiers (Chappez, 1986, p. 769). La Convention internationale pour la protection des câbles sous-marins, signée à Paris le 14 mars 1884 par 26 pays et toujours en vigueur, est la seule convention internationale sur le sujet. Elle s'intéresse aux conditions de pose et d'entretien des câbles par les navires câbliers et à la cohabitation entre les différents usages de la mer, ainsi qu'à l'encadrement d'éventuelles dégradations. La poursuite d'infractions est reportée aux juridictions du navire ayant commis l'infraction, ou des pays propriétaires de la section de câble endommagée. La destruction ou détérioration intentionnelle de câbles sous-marins est prohibée par la Convention, et la déclaration de tout dommage causé de façon non intentionnelle soumise à contrepartie. La convention exclut de fait les actions menées en temps de guerre, étant convenu que les infrastructures de communication sont parmi les premières touchées en cas de conflit, avec l'article 15 exprimant le fait suivant : « il est bien entendu que les stipulations de la présente convention ne portent pas atteinte à la liberté d'action des belligérants ». Le propos liminaire du représentant du gouvernement britannique, signataire de la convention, précise : « Le Gouvernement de Sa Majesté entend l'article 15 en ce sens qu'en temps de guerre, un belligérant, signataire de la Convention, sera libre d'agir, à l'égard des câbles sous-marins, comme si la Convention n'existait pas. » Le champ d'action de cette convention concerne les eaux internationales, c'est-à-dire les eaux situées hors des eaux territoriales des pays riverains, mais les dispositions générales ont été étendues aux eaux territoriales par les conventions des Nations Unis évoquées précédemment. Dans les eaux territoriales et aux zones d'atterrage sur le littoral, qui voient les câbles émerger et être reliés à des stations côtières, la protection des câbles est à la charge des États côtiers, et sont soumis à la même protection qu'aux liaisons de communication terrestre (Chappez, 1986). En France, la protection des câbles sous-marins est encadrée par les articles L72 à L86 du Code des postes et des communications électroniques (Légifrance, 2024), et entre aujourd'hui dans le champ d'action de l'Autorité de régulation des communications électroniques et postales (ARCEP), autorité administrative indépendante (AAI) chargée de suivre les évolutions du marché, de contribuer au dialogue entre les parties prenantes dans le secteur et de participer à la régulation du secteur des télécommunications.

La mise en place des réseaux (1840-1914)

Avec le télégraphe, la communication rapide à très longue distance devient envisageable à l'échelle de la planète. À côté du chemin de fer, qui permet aux hommes d'éprouver physiquement le territoire et qui accompagne voire engendre des mutations paysagères importantes à l'échelle des nations (exode rural, massification des villes...), l'électricité, par sa capacité à transmettre rapidement de l'information sur de très longues distances, participe à un « rétrécissement du monde » éprouvé par les géographes du 19^e siècle (Bretagnolle & Robic, 2005, p.5). Les premiers câbles télégraphiques terrestres sont tendus à partir de 1840 en Europe et aux États-Unis et permettent la transmission de signaux électriques dans des

⁵⁷ Les droits d'exploitation des pays riverains sur les ressources du sous-sol peuvent être étendues au-delà de la ZEE, dans le cas où le plateau s'étend continental s'étend au-delà de la limite des 200 milles marins. Les preuves géologiques sont à apporter à la Commission des limites du plateau continental (CLPC) de l'ONU par le pays demandeur (Géoconfluences, 23 mars 2017).

liaisons métalliques, généralement en cuivre. Le milieu marin pose des problèmes techniques plus importants que le milieu terrestre pour le déploiement de câbles, avec des difficultés de pose et d'entretien du fait des grandes étendues sur lesquelles ils ont vocation à être posés, et l'usure physique et chimique des câbles due aux vagues, à la corrosion marine et aux reliefs des fonds. Les premiers essais de pose ont toutefois lieu dès la décennie 1840 - 1850, même si les ratés sont courants jusque dans les années 1870 (Headrick, 2013, 4). Le premier câble sous-marin fonctionnel est un câble télégraphique reliant Douvres en Angleterre au cap Gris-Nez dans le Pas-de-Calais en France. Celui-ci est inauguré en 1851 (Chappez, 1986, p. 760). La première liaison transatlantique fonctionnelle est réalisée entre l'Irlande et Terre-Neuve en août 1858 mais ne dure que quelques jours. Le Président des États-Unis James Buchanan déclare à cette occasion souhaiter que le télégramme soit un « instrument destiné par la Providence Divine à diffuser la religion, la liberté, et le droit dans le monde entier ». La première liaison stable entre les deux nations est établie en 1866. Les câbles accompagnent le développement du commerce mondial et servent les besoins des administrations coloniales, dans un contexte de développement de l'économie capitaliste mondialisée (Blanc, 2018, p. 33). La fabrication et la pose de câbles télégraphiques, qui s'effectue par l'intermédiaire de bateaux câbliers déroulant les câbles au fond des océans, est alors largement le fait d'entreprises privées, qui y trouvent un intérêt commercial, tandis que les états soutiennent activement cette activité stratégique. Les britanniques mettent à profit leur avance industrielle, leur domination maritime et leur position géographique⁵⁸ pour assoir leur hégémonie dans le contrôle des systèmes de communication mondiaux. La *Eastern and Associated Telegraph Company* notamment, pose des câbles sur les routes patrouillées par la marine britannique, à distance des bases militaires étrangères, et encourage le déploiement des lignes étrangères sur son territoire, afin de s'en assurer le contrôle en temps de guerre (Headrick, 2013). Lorsque l'intérêt commercial seul ne suffit pas à justifier le déploiement de câbles, le gouvernement britannique soutient activement la pose de câbles, avec pour objectif de relier chaque colonie et base navale de l'empire. Dès 1870, Londres est reliée à l'Inde, Hong-Kong et l'Australie (Blanc, 2018, p. 33) et l'Empire britannique déploie pendant les trente ans suivant des câbles à travers l'Atlantique, l'océan indien et finalement l'ensemble de la planète, au point de détenir en 1892 les deux tiers des câbles du monde et « d'encercler » le monde au début du 20^e siècle (Headrick, 2013, 6). Les États-Unis s'imposent également au début du 20^e siècle comme un acteur majeur dans le domaine des télécommunications et établissent rapidement une emprise mondiale. Le premier câble transpacifique, reliant San Francisco à Manille, est posé en 1903, des câbles anglais transatlantiques sont rachetés par des compagnies américaines en 1910, et la connexion avec l'Amérique latine est établie via la côte Pacifique (Headrick, 2013). Côté français, la première liaison immergée entre Brest et Saint-Pierre-et-Miquelon est établie en 1869. Peu rentable, ce câble posé par la Société du câble transatlantique français est racheté par l'anglo-américain *Telegraph Company*. La Métropole française est reliée à sa colonie d'Algérie, d'abord par l'intermédiaire d'un câble appartenant à une société britannique en 1870, puis via un câble national en 1871. Un nouveau câble transatlantique français est posé pour la Compagnie française du télégraphe de Paris,

⁵⁸ La rapidité des communications est inversement proportionnelle à la longueur des câbles, et proportionnelle au diamètre du conducteur en cuivre qui compose son centre. Ainsi, les liaisons par câble pour l'Amérique du Nord sont moins coûteuses à poser et plus rapide depuis les îles britanniques que depuis le continent Européen. Celles-ci sont en effet plus proche des États-Unis que le continent de quelques centaines de kilomètres, via l'Irlande et Terre-Neuve, possessions britanniques à l'époque (Headrick, 2013, 7).

qui fusionne en 1895 avec la Société française des télégraphes sous-marins (SFTSM). Malgré ses effets, la France ne peut se passer des câbles étrangers pour établir ou maintenir des communications télégraphiques avec ses colonies en Afrique et en Indochine jusqu'au début du 20^e siècle, et doit utiliser le réseau de la puissante entreprise anglaise *Eastern and Associated Telegraph Company*. Mis à part les communications vers l'Algérie, toutes les communications télégraphiques intercontinentales françaises passent par des câbles britanniques (Headrick, 2013, 8). La France tente de s'émanciper de l'emprise anglaise en achetant des câbles auprès de compagnies étrangères desservant la côte ouest-africaine et le Brésil, et en posant un câble entre Brest et Dakar en 1906, et se relie depuis l'Indochine au réseau transpacifique américain (Headrick, 2013, 20). Les efforts français s'appuient sur un réseau d'industries implantées sur le territoire métropolitain, avec trois sites de production de câbles en France et conduisent à la nationalisation de plusieurs sociétés privées au sein de la Compagnie Française des Câbles Télégraphiques (CFTC) dans la décennie 1890, soutenus par les déclarations volontaristes du ministre du Commerce et des Postes, télécommunications et télédiffusion Alexandre Millerand : « le câble est un élément important de défense, un instrument d'influence politique et un auxiliaire précieux du commerce » (Fouchard, 2010, p. 42). Toutefois, la situation en 1901 est sans appel. Les britanniques possèdent 220 359 km de câbles, les États-Unis 52 180, la France 34 323, le Danemark 15 278 et l'Allemagne 14 613. Alors que le développement de la radiotélégraphie, ou télégraphie sans fil (TSF), est vu par certains comme un palliatif au réseau câblé⁵⁹ au début du vingtième siècle, l'éruption volcanique de la montagne Pelée en Martinique en 1902, qui détruit le principal réseau de câbles sous-marins français aux Antilles (rupture de six câbles immergés à proximité de Saint-Pierre) puis l'Entente cordiale, signée avec l'Angleterre en 1904, tempèrent les ambitions françaises en matière d'indépendance câblière, et entame une ère de coopération avec l'Angleterre (Fouchard, 2010, p. 42).

Les câbles sous-marins dans le réseau de communication contemporain : une croissance des débits (1955-2024)

Après la seconde guerre mondiale, le rôle des câbles évolue. Les répéteurs, mis au point en 1955, fiabilisent la transmission de la voix et élargissent les capacités de transport des câbles aux communications téléphoniques (Boullier, 2014, p. 149-150). Ces équipements électroniques permettant de « relayer, en moyenne tous les 80 km, les signaux numériques des câbles » (Pitron, 2021). Cette technologie est implantée dans une nouvelle génération de câbles sous-marins, dit câbles coaxiaux à cœur de cuivre, basés sur l'émission et la captation d'un signal électrique transmis par le conducteur central. Ces câbles utilisent des matériaux en plastiques polymères (polyéthylène) en remplacement de la gomme de gutta-percha pour la couche isolante. Ce type de câbles, aux capacités de transport étendues, transmettent des signaux électroniques tels que des signaux radiofréquence, des signaux vidéo ou des données numériques. Ces signaux sont transmis sous forme d'ondes électromagnétiques qui voyagent le long du conducteur central du câble, alimenté sous forme d'impulsions électriques. Mis en service à partir de 1957, les câbles coaxiaux sont utilisés pendant plus de trente ans en Méditerranée puis dans la Manche et l'Atlantique avec sept câbles téléphoniques transatlantiques qui se

⁵⁹ Le premier message télégraphique par ondes radio est émis entre Wimereux et Douvres en 1901 (Fouchard, 2010, p. 43).

succèdent, dits câbles *TAT 1* à *7*. Ils sont également posés dans le pacifique avec le système de câble *SaeMeWe* (pour *South East Asia-Middle East-Western Europe*) qui relie Marseille à Singapour sur plus de 14 000 km en 1986 (Chappez, 1986, p. 762). En 1965, le satellite de télécommunication *Early bird* est mis en orbite par une société privée américaine pour le compte d'un opérateur de télécommunication, inaugurant l'ère des communications par satellites. Mais pas plus que la radio cinquante ans plus tôt, les communications par voie satellitaire ne remettent en cause l'importance des câbles sous-marins dans les télécommunications mondiales. Les câbles coaxiaux sous-marins sont plus économiques pour les liaisons courtes, moyennes et longues distances à fort trafic tandis que les liaisons satellites peuvent être utilisées en appoint pour des « liaisons à faible trafic disséminées sur des espaces de grandes dimensions » (Chappez, 1986, p. 761). La diversité des supports et des sources de transmission est également vue comme un facteur de résilience et de sécurité par les différents acteurs, et c'est sous l'angle de la complémentarité plus que de la concurrence avec les liaisons satellites qu'est envisagé le rôle des câbles sous-marins. Le transport d'informations par câble connaît un saut technologique décisif dans les années 1980 avec la transmission par fibres optiques. La fibre, transportant les informations sous forme lumineuse à la vitesse de la lumière, démultiplie les capacités de transport par rapport aux câbles coaxiaux en cuivre. La France pose son premier câble expérimental en fibres optiques en 1982, entre Juan-Les-Pins et Cagnes-sur-Mer, sur une distance de 20 km, sans répéteur de signal (Chappez, 1986, p. 762). En novembre 1983, la décision est prise de réaliser le premier câble sous-marin transatlantique à fibres optiques, dénommé *TAT-8*, reliant Tuckerton aux États-Unis à Penmarc'h en France et Widemouth en Grande-Bretagne, sur une distance de plus de 6 500 km. Le *consortium* pour sa construction réunit les principales entreprises de télécommunication des trois pays : *AT&T corporation* pour les États-Unis, *France Télécom* pour la France et *British Telecom* pour le Royaume-Uni. La construction et la pose des câbles est assuré par des fournisseurs nationaux : *AT&T* pour les États-Unis, *Standard Telephone and Cables (STC)* pour le Royaume-Uni et *Alcatel* pour la France. *TAT-8* est actif de 1988 à 2002. Le débit, correspondant au volume d'informations échangé en une seconde, est de 560 Mbits/s (1 Mbit équivaut à 10^6 octets) (Centre d'études stratégiques de la marine, 2017). Le câble *TAT-9*, mis en activité quelques années plus tard, possède des points d'atterrage au Canada, États-Unis, Royaume-Uni, France et Espagne et propose des débits deux fois supérieurs à son prédécesseur. Il est actif de 1992 à 2004. En 1995, les câbles *TAT-12 et 13* passent à 60 Gbits/s⁶⁰ (1 gigabit équivaut à 10^9 octets), grâce à la technologie de l'amplification optique par fibre dopée à l'erbium (EDFA), puis 160 Gbits/s en 1998 avec le câble *AC-1*, qui relie les États-Unis au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, utilisant la technologie WDM permettant le passage simultané de longueurs d'onde différentes (plusieurs couleurs) sur une même fibre. En 2001, le câble *TAT-14* reliant les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Allemagne et la France, utilise les amplificateurs optiques EFDA sur 64 couleurs et atteint un débit de 5,12 téraoctets/s (1 téraoctet équivaut à 10^{12} octets). En 2005, la technologie DWDM transporte environ 100 couleurs par fibre et 10 Gbits/s par couleur, soit 1 Tbit/s par fibre. Le câble *Marea*, achevé en 2018, construit et posé par *Microsoft* et *Facebook* entre Virginia Beach (États-Unis) et Bilbao (Espagne) sur une distance de 6 605 km, dispose de huit paires de fibres et a une capacité initiale de 160 téraoctets/s, pouvant être augmentée d'après les interconnexions et paramétrages réseaux. Le câble *Dunant*, déployé en 2020 par *Google* et *Orange* entre

⁶⁰ Source des chiffres de débit évoqués, sauf lorsque mention contraire : wikipédia.

Virginia Beach (États-Unis) et Saint-Hilaire-de-Riez en France, propose un débit de 250 téraoctets/s, puis Grace Hopper, également porté par *Google* dans l'Atlantique, 350 téraoctets/s (Le Monde, 2023). Actuellement, on assiste à une explosion du transport des données, estimé à 200 000 pétaoctets (1 pétaoctet équivaut à 10^{15} octets) par mois en 2021 (Blanc, 2018, p.35). Les fibres optiques, d'un diamètre de 100 microns, soit inférieur à l'épaisseur d'un cheveu, transmettent dans leur cœur (noyau) les signaux lumineux sur de longues distances, et sont groupées en torsades par paires pour permettre l'envoi et la réception des informations. L'ensemble des paires composant le câble est protégé par des enveloppes d'aluminium, de cuivre, de polycarbonate et de polyéthylène, pour atteindre une épaisseur globale de 17 à 21 millimètres. Les câbles standards produits par *Alcatel Submarine Network* comptent en moyenne seize paires de fibre optique en 2014 (Boullier, 2014), vingt-quatre paires de fibre en 2023, et les demandes portent déjà sur trente-deux paires (Le Monde, 1^{er} janvier 2023b). L'annexe 3 propose une courbe de l'évolution du nombre de câbles à travers la planète, d'après les dates de mise en service des câbles actuellement en activité. Cette courbe n'intègre pas les câbles anciens, désactivés ou non référencés sur la base de données *submarinecablemap.com*.

Menaces sur les câbles (1898 – aujourd'hui)

Souvent posés en temps de paix, les câbles sont particulièrement stratégiques lors des conflits par leur capacité à transmettre rapidement les informations, et leur neutralité n'est pas souvent respectée. Lors du conflit hispano-américain de 1898, le gouvernement américain saisit un câble français reliant New York et Haïti pour éviter que les espagnols ne s'en servent, et tente d'en détruire d'autres dans les Caraïbes et le Pacifique (Headrick, 2013, 13). Pendant la deuxième guerre des boers (1899-1902), le gouvernement britannique interdit toute communication depuis l'Afrique du Sud à destination de l'Europe ou de colonies européennes passant par son système câblé. Au cours du 20^e siècle, les britanniques n'utilisent pas la censure comme arme principale pour tirer profit de leur mainmise sur les infrastructures de télécommunication mondiale, mais laissent au contraire passer tous les télégrammes diplomatiques des nations neutres, y compris dans des codes commerciaux non-connus, pour apprendre à les déchiffrer (Headrick, 2013, 25). Pendant les deux conflits mondiaux du 20^e siècle, britanniques et américains font jouer de façon éclatante leur maîtrise des réseaux câblés. L'Empire allemand, qui dispose d'une industrie importante mais de beaucoup moins de relais géographiques à l'échelle de la planète pour déployer un réseau mondial de câble, ne put jamais s'émanciper de la domination britannique pour ses communications intercontinentales. Il mise alors sur le développement de la radio à ondes électromagnétiques longue portée au début du 20^e siècle pour communiquer avec ses colonies et les États-Unis. Lors de la Première Guerre Mondiale, dès le cinq août 1914, lendemain de l'entrée en guerre de l'Angleterre, les cinq câbles qui relient l'Allemagne au réseau télégraphique mondial sont coupés par le navire câblé britannique *Telconia*. L'Allemagne ne peut alors communiquer avec le reste du monde que par télégraphie sans fil (TSF). Les câbles allemands et émetteurs de TSF dans l'Atlantique sud et le Pacifique sont détruits ou saisis dès les mois qui suivent le début de la guerre, rendant l'Allemagne quasiment « muette » à l'extérieur de l'Europe. Les anglais subissent quelques pertes de câbles durant la guerre, et utilisent également la TSF pour leurs transmissions radio, nombreuses en temps de guerre, mais les messages les plus importants et les plus confidentiels passent par câbles, dont le système de communication se révèle fiable (Headrick, 2013, 28). En janvier 1917, l'interception et le déchiffrement d'un télégramme passant sur des

câbles anglais, envoyé par le ministre des affaires étrangères allemand Zimmermann à son homologue mexicain, précipite l'entrée en guerre des États-Unis. Dans les années 1920, la massification de l'usage des radios à ondes courtes concurrence fortement la télégraphie par câble, et menace l'avenir de l'industrie câblière. Les anglais, souhaitant garder le contrôle de ce réseau de communication mondial créent la *Imperial and International Communications Ltd* en 1929, compagnie nationale chargée d'assurer l'exploitation et la pose de câbles, afin d'éviter la faillite ou la cessation d'activité des compagnies qui exploitent le réseau. Ils renforcent également les stations de câbles dans des abris aériens afin de se prémunir d'attaques aériennes et continuent leurs programmes de captation et de déchiffrement des télégrammes étrangers dans leurs diverses stations autour du globe. Les allemands continuent de miser sur les ondes radio et exploitent pleinement les capacités des nouveaux transmetteurs capables d'être embarqués dans des véhicules et de transmettre à longue distance. Le principal défaut des ondes radio est qu'elles peuvent être interceptées, et déchiffrées. Dès le début de la guerre, les navires câbliers britanniques coupent à nouveau les câbles allemands dans la Manche, et ne subissent pas de pertes rédhibitoires pour leur propre réseau malgré des coupures de câbles par les italiens en Méditerranée puis des attaques japonaises dans le Pacifique en 1942. Les anglais et américains jouent alors de leur maîtrise du système télégraphique et utilisent massivement les communications par onde radio pour tromper les services de renseignements japonais et allemands, échangeant parfois des fausses informations par radio et utilisant les communications secrètes par câble, jusqu'à finalement décrypter le système de codage radio des forces de l'Axe et de bénéficier d'un avantage décisif dans la conduite de la guerre. Plus récemment, de nombreux exemples de ruptures ou dégradations de câbles entraînant des pertes de connectivités locales illustrent l'aspect à la fois fragile et résilient du réseau.

Aujourd'hui, le danger principal auquel sont exposés les câbles semble être les accidents dus à un accrochage avec des ancres de navires ou collisions diverses avec des navires de pêche, qui représentent environ 60 % des atteintes à leur intégrité. Environ 20 % des opérations de maintenance peuvent être assimilées à des dégradations « naturelles », dues à des interactions avec le milieu marin ou un défaut de composant, et environ 22 % des atteintes portées aux câbles sont actuellement non-identifiées. Si les dégradations volontaires d'ordre militaire, criminel ou terroriste, via des acteurs étatiques ou non-étatiques, restent des hypothèses, malgré la difficulté à identifier ou chiffrer ces atteintes, et que des atteintes effectives sont répertoriées dans l'histoire récente comme la tentative de coupure du câble *SemMeWe-4* par des plongeurs au large de l'Égypte en 2013 ou les menaces de piraterie vis-à-vis de navires de maintenance au Vietnam en 2017 (Morel, 2019, p. 36), la redondance des câbles au niveau mondial permet une bonne résilience général du système d'information, semblant rendre difficile une paralysie globale du système. La concentration de câbles dans certains détroits comme Gibraltar, Bab-el-Mandeb, Hormuz, et les situations d'insularité qui exposent des îles ou régions enclavées à de fortes perturbations en cas d'incident, maintiennent les câbles dans une situation d'infrastructure hautement stratégique (FMES, 2022, p. 22-23 ; FMES, 2023, p. 89), comme l'expose un rapport du groupe de réflexion britannique *Policy exchange* en 2017 : « Le risque posé par ces connexions [...] transportant tout, depuis des renseignements militaires jusqu'aux données financières mondiales, est réel et croissant » (*Policy exchange*, 2017). Au-delà des attaques, ce sont également les risques d'espionnage qui sont craintes, avec des suspicions émises autour des activités du navire océanographique russe *Yantar*, en mission près de certaines concentrations d'infrastructures câblières en 2015. Les stations d'atterrage des

câbles restent également la chasse gardée des États, qui veulent protéger leur domaine et se prémunir d'éventuelles écoutes (Blanc, 2018, p. 39-40). D'autres exemples plus récents illustrent que les menaces physiques sur les câbles ne peuvent être exclues, dans un contexte de guerre et de tensions internationales fortes, impactant un domaine aussi stratégique (La Tribune, 29 juillet 2023).

Processus institutionnel et place des États

Traditionnellement, la décision de poser un câble relève des États situés de part et d'autres de l'espace maritime à franchir, étant entendu que l'atterrage des câbles et leur prolongement terrestre se fait sur des espaces relevant de la pleine souveraineté des États. Les pays ne participant pas directement à la pose mais intéressés par l'usage futur du câble peuvent participer aux opérations de concertation et de financement dès l'origine du projet. Jusque dans les années 1990, l'analyse des zones de trafic et la définition des nouveaux besoins en équipement se fait en lien direct avec les entreprises de télécommunication, au fait des évolutions du marché, et émergent par le biais d'instances d'études et de dialogues internationales comme l'*International Telecommunications Satellite Consortium (Intelstat*⁶¹) ou la Conférence européenne des administrations des Postes et des Télécommunications (CEPT) (Chappez, 1986, p. 763). La CEPT mène dans les années 1980 des études conjointes avec les États-Unis et le Canada pour les évaluations stratégiques sur les besoins de poses de nouveaux câbles et la répartition des moyens entre câbles et satellites. Les évaluations des groupes de travail anticipent les évolutions du marché et progrès technologiques à venir. Les investissements financiers sont importants et il faut compter quatre à cinq ans entre la prise de décision et la livraison d'un équipement. La décision de poser un câble sous-marin est formalisée dans un protocole d'accord inter-gouvernemental, signé par les ministres en charge des télécommunications, puis un « accord-cadre » résumant les dispositions essentielles du projet en termes de tracé, configuration, qualité et capacités du câble, délais et conditions de réalisation, propriétaires et responsables des différents tronçons, points d'atterrage et formes juridiques retenues pour la pose et l'exploitation des câbles. Selon les partenaires impliqués, la configuration des câbles peut être modifiée et se ramifier en plusieurs branches avec des raccordements atterrissant dans chaque pays partenaire. L'accord des États dont les eaux territoriales ou zones économiques exclusives sont traversées par le câble est généralement sollicité, notamment pour préparer la pose du câble et le rendre compatible avec les autres activités d'exploration et d'exploitation de la colonne d'eau ou de sous-sol marin en cours.

L'exploitation des câbles peut se faire sous forme de concession de la part des États au bénéfice d'opérateurs privés, comme à l'époque des premiers câbles télégraphiques, ou par l'intermédiaire de « *carriers* », également appelées

⁶¹ *Intelsat* est un *consortium* public créé en 1964 regroupant 80 pays dans les années 1980, détenteur de satellites de télécommunication et organisant des réunions multilatérales d'étude sur les nouveaux besoins en infrastructures de télécommunication. *Intelstat* devient une société privée américaine en 2001, rachetée par son concurrent historique européen SES le 30 avril 2024. Le montant de la transaction, de 3,1 milliards de dollars, crée un nouvel acteur de la connectivité satellitaire, dans un marché de la connectivité spatiale en phase de restructuration sous l'impulsion de géants comme *Starlink*, dirigée par l'américain Elon Musk, ou *OneWeb*, créé par Greg Wyler, qui développent des flottes satellitaires basse orbite de plusieurs milliers d'appareils. Les dirigeants de l'opérateur satellitaire luxembourgeois SES vantent une mutualisation du parc de satellites permettant une offre de services mondiale et résiliente. Le gouvernement luxembourgeois, actionnaire à hauteur de 37% et disposant d'une minorité de blocage au sein de la société, salue pour sa part des possibilités de développement pour l'économie luxembourgeoise et l'Internet des avions et des navires ainsi que pour la Défense nationale (L'essentiel, 30 avril 2024 ; L'usine nouvelle, 3 mai 2024).

« exploitations privées reconnues », organismes publics ou privés sous contrôle de l'État dans le domaine des télécommunications chargés d'exploiter les réseaux de télécommunication. Les entreprises désignées pour le suivi de la pose et l'exploitation du câble, seules ou en groupements appelés *consortiums*, signent des accords de construction, les désignant comme copropriétaires du câble. L'accord de construction détaille le financement et les conditions de construction, d'entretien et d'exploitation du câble (Chappez, 1986, p. 765-767). La confection et la pose des câbles, activités de haute technologie, sont généralement confiées à des entreprises nationales, désignées dans le cadre de marchés ou de procédures de gré à gré, d'après les orientations définies dans l'accord-cadre. Les investissements consentis par les administrations parties prenantes à l'accord-cadre sont souvent amortis par le montage financier de la société exploitante, qui peut recourir à l'emprunt pour financer la pose des câbles et récupérer annuellement en budget de fonctionnement des rentes annuelles de la part des administrations et clients pour les liaisons mises à disposition. Les stations côtières d'atterrissage, également propriétés des exploitants du câble, jouent un rôle prépondérant dans la mise en place et l'exploitation du câble, lui permettant d'être relié au reste du réseau. Le câble est divisé en sections distinctes, notamment dans ses parties terminales reliées aux stations d'atterrissage, dont la propriété est répartie entre les parties exploitantes (Chappez, 1986, p. 767-771). Lors de la pose, pour échapper aux dégradations et dangers dus aux activités côtières, les câbles sous-marins peuvent être « ensouillés », c'est-à-dire enfouis dans leurs parties terminales sur des distances pouvant aller jusqu'à 180 km, notamment pour palier au passage des chalutiers, ou signalées par balisage (Chappez, 1986, p. 776). Cette pratique d'ensouillage, héritée des années 1970, coûteuse et impactante pour l'environnement, consiste à creuser des tranchées dont la profondeur varie entre 60 et 120 cm. Elle peut être remplacée pour des raisons d'ordre physique (présence de rochers) ou règlementaires (fonds marins vulnérables et protégés) par des techniques d'évitement de zones lors de la pose, privilégiant possiblement l'ensouillage en fond sableux, ou l'ancrage des câbles en surface du plancher océanique, comme pour l'atterrissage du câble *Peace Med (Pakistan and East Africa Connecting Europe - Mediterranean section)* à Marseille, au sein de la zone protégée de l'herbier de Posidonie situé dans le Parc National des Calanques. Ces mesures sont renforcées par des techniques de protection matérielle des câbles (enveloppement avec des torons d'acier) et possiblement des zones d'interdiction de mouillage (Cellard & Marquet, 2023, 16, 27).

Aujourd'hui, l'accord des États reste nécessaire pour la pose de câbles atterrissant sur leurs espaces de souveraineté (eaux territoriales et bandes côtières). De nouvelles instances de régulation et de normalisation internationales, comme l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) ou l'*International Cable Protection Committee (ICPC)*, ou nationales, comme l'ARCEP (Autorité de régulation des communications électroniques et postales), interviennent dans la coordination entre acteurs et l'émission de recommandations (Morel, 2019, p. 36). Les modalités des autorisations d'exploitation accordées par les États aux opérateurs diffèrent d'un pays à l'autre, et intègrent pour la France une phase d'enquête publique aboutissant à rapport d'autorisation de concession, intégrant des phases d'études environnementales (Cellard & Marquet, 2023, 14). À la différence des câbles électriques sous-marins à très haute tension transmettant l'électricité produite par les parcs éoliens en mer, l'impact écologique des câbles en fibre optique est généralement qualifié de mineur par les enquêtes environnementales pour les milieux traversés (Cellard & Marquet, 2023, 6, 16, 20), malgré le fait que la plupart des câbles inactifs restent en l'état au fond des océans une fois désactivés (Cellard

& Marquet, 2023, 65). En France, la charte *SAILS* (*pour Sustainable Actions for Innovative and Low-impact Shipping*) est proposée aux acteurs du transport maritime souhaitant promouvoir et améliorer leurs pratiques environnementales, et s'engager dans une pratique de transparence et de collaboration entre acteurs (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 26 août 2019). Cette charte s'applique également au secteur câblé, et est ratifiée par Orange Marine, un des principaux opérateurs mondiaux de maintenance des câbles. Cette charte inclut pour le cas d'Orange une limitation de l'utilisation des groupes électrogènes lorsque les navires sont à quai, une alimentation en énergie solaire pour la base de la Seyne-sur-Mer et une non utilisation du carburant IFO, mélange de fuel lourd et de Gasoil au fort impact polluant (Engagements d'Orange Marine, cité dans Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 26 août 2019).

A2 – Acteurs et enjeux contemporains

Propriété et exploitation des câbles

Les *consortiums*, mobilisant des acteurs publics et privés (opérateurs de télécommunications et des investisseurs financiers), sont responsables de l'installation, de la maintenance et de l'exploitation des câbles une fois installés. Ils en sont également les propriétaires. Une fois en service, les capacités excédentaires des câbles sont vendues par les propriétaires aux organismes de télécommunications ou exploitants privés qui n'étaient pas cités dans l'accord de construction, sous forme de « droits irrévocables d'usage » pérennes, ou de quotes-parts prévues par l'Union Internationale des Télécommunications (IUT) pour des usages plus ponctuels (Chappez, 1986). Les opérateurs exploitant les capacités des câbles sous-marins, appelés « *carriers* » (Boullier, 2014, p. 153), opèrent ou louent les capacités de trafic à d'autres organismes de télécommunication. C'est par exemple le cas d'Orange pour la France, qui en tant qu'opérateur historique, possède et déploie une grande partie des infrastructures de fibre optique sur le territoire national et intervient à l'international dans le cadre de ses investissements propres, en participant à des *consortiums* pour la pose de câbles sous-marins. Orange annonce en 2023 dans son rapport annuel intégré⁶² la participation dans la pose de 450 000 km de câbles sous-marins à l'échelle du globe, la pose effective de 264 000 kilomètres de câbles à fibre optique par ses moyens propres, ainsi que la commercialisation de l'utilisation de ces réseaux à des opérateurs de télécommunication et des « *content providers*⁶³ » (Orange, 2024, p. 20-21).

Le modèle dominant ayant émergé pour la pose et l'exploitation des câbles aux 19^e et 20^e siècle, sous forme de *consortium*, reste d'actualité même s'il évolue récemment. Jusqu'aux années 1990, les acteurs formant ces *consortiums* appartiennent aux entreprises de télécommunication comme *Verizon*, *AT&T* (autrefois *American Telephone and Telegraph Company*), *Sprint*, *Level*, puis *Comcast*, *Vodafone*, *China Telecom*, *Tata communications*, et ont longtemps été en situation de quasi-monopole sur les infrastructures de télécommunication mondiales

⁶² Un rapport annuel intégré résume les performances financières et extra-financières du groupe définies en fonction de critères de références internationaux.

⁶³ Ces « *content providers* », ou fournisseurs de contenus, sans être nommés dans le rapport, peuvent être rapprochés des grandes plateformes digitales qui utilisent les réseaux Internet pour diffuser massivement leurs contenus (*Google*, *Amazon*, *Netflix*).

(Blanc, 2018). L'arrivée des acteurs du « Sud global⁶⁴ » aux côtés des opérateurs historiques européens et américains constitue une première évolution qui contribue à rééquilibrer une infrastructure mondiale jusqu'alors assez largement déséquilibrée en termes de débits entre l'hémisphère Nord et l'Hémisphère Sud (Boullier, 2014, p. 152). Aujourd'hui, l'arrivée notable des géants du numérique (*Alphabet* et *Meta Platforms*⁶⁵ notamment, et dans une moindre mesure *Amazon*, *Microsoft*, *Netflix*), qui financent et assurent la pose de leurs propres infrastructures câblières, seuls ou en partenariats resserrés, bouleverse ce jeu d'acteurs (Blanc, 2018, p. 36 ; Morel, 2019, p. 35-36). Une extraction de données réalisée depuis la base de données *submarinecablemap.com* en juin 2023, donne 417 opérateurs différents appartenant aux *consortiums* désignés comme propriétaires des câbles sur les 543 câbles en ligne à cette date. Les *consortiums* comptent majoritairement un seul propriétaire (374 câbles), deux propriétaires (76 câbles), trois propriétaires (27 câbles), quatre propriétaires (18 câbles), puis cinq propriétaires ou plus (48 câbles). Certains câbles peuvent aller jusqu'à avoir plusieurs dizaines de propriétaires, comme le câble *SemMeWe-3*, mis en service en 1999, qui en compte 50. Les opérateurs apparaissant dans le plus de *consortiums* sont : *Orange*, apparaissant 29 fois, *Telecom Italia Sparkle* (24), *AT&T* (21), *Google* (21), *BT* (20), *Tata Communications* (20), *Vodafone* (19), *China Telecom* (18), *Arelion* (18), *Telefonica* (17). En ne prenant en compte que les cinq plus gros propriétaires pour chaque câble, les résultats sont : *AT&T* (21), *Google* (21), *British Telecom* (20), *Arelion* (18), *China Telecom* (16), *Orange* (15), *Telefonica* (14), *Meta* (14), *XL Axiata* (14), *Liberty Latin America* (14). Ces acteurs intègrent des opérateurs de télécommunication internationaux de l'hémisphère Nord et de l'hémisphère sud, ainsi que des grandes plateformes numériques américaines. Si les *consortiums* prévalant pour la construction des câbles sont plus hétérogènes que par le passé, la participation des États reste de l'ordre de 10% des investissements dans les années 2010-2018 (Blanc, 2018, p. 36), preuve que l'on n'assiste pas à un désengagement total des acteurs publics dans le secteur. Un tableau avec la liste des opérateurs exploitants de câble est proposé en annexe 4.

Fabrication et pose des câbles

Les fabricants et poseurs de câbles, également appelés « *suppliers* », sont désignés dans les accords de construction. Ils forment un deuxième type d'acteur. Entre 2003 et 2013, le marché de fabrications de câbles et d'équipements afférents est dominé par l'entreprise française *Alcatel-Lucent Submarine Networks*⁶⁶ avec 47 % de parts de marché, suivi de l'américain *TE SubCom* (*Tyco Electronics Subsea Communication*), filiale du groupe suisse *TE Connectivity*, avec 30 % de parts de marché, les japonais *NEC* (anciennement *Nippon Electronic Corporation*), avec 12 %, *Fujitsu*, avec 4 % (Boullier, 2014, p. 153). *Alcatel Submarine Network* (*ASN*) est

⁶⁴ La notion de « sud global » est une notion « notion géopolitique regroupant une variété de pays ayant peu de points communs, de grandes puissances comme la Chine ou l'Inde à des pays en grande précarité », apparue en remplacement des anciennes appellations de tiers-monde ou pays du sud, revendiquant un monde moins unipolaire (Géoconfluences, 25 septembre 2023).

⁶⁵ *Alphabet* est la maison mère de Google, créé en 2015 pour gérer de façon sectorielle les activités du groupe Google, qui conserve les services Internet (messagerie Gmail, moteur de recherche Google chrome, vidéos avec Youtube...). *Google fiber*, filiale d'Alphabet, est par exemple une entreprise de pose d'infrastructures réseaux et fournisseur d'accès Internet. *Meta Platforms* est la maison mère des produits et filiales de l'entreprise *Facebook*, gérant la batterie de produits de messagerie et réseaux sociaux *Instagram*, *Whatsapp*, *Messenger*, *Threads*.

⁶⁶ Lorsque *Alcatel-Lucent* est racheté par le groupe *Nokia* en 2015, sa filiale spécialisée dans la fabrication et la pose de câbles sous-marins devient *Alcatel Submarine Network* (*ASN*), filiale du groupe *Nokia France*.

actuellement toujours leader dans la fabrication et la pose de câble au niveau mondial dans les domaines de production, installation et maintenance de câbles sous-marins et a maintenu ses deux activités principales en France, via notamment sa base de Calais : fabrication des câbles et entretien de la flotte de navires câbliers. Le groupe compte actuellement 2000 salariés, dont 1370 en France et sept navires actifs armés par la compagnie Louis-Dreyfus Armateur (Mer et Marine, 2024). Cinq navires sont dédiés à la pose de câbles et deux navires sont dédiés à la maintenance des câbles (Le Monde, 2023, site ASN). Le passage de la filiale ASN dans le groupe *Nokia* en 2015, eut égard à la portée stratégique des activités du groupe et aux compétences déployées, inquiète les parlementaires dans un rapport de 2019 (Assemblée nationale, 2019, p. 83). Le gouvernement français, qui garde un droit de regard sur les décisions potentielles de vente de la filiale par *Nokia*, conscient de la portée « éminemment stratégique » des activités du groupe, annonce la signature d'une promesse d'achat à hauteur de 100 millions d'euros avec *Nokia* pour acquérir 80 % du capital de la filiale en juin 2024 (La Tribune, 27 juin 2024). Le groupe chinois *Huawei Marine*, s'est également lancé sur le marché de la fabrication et la pose des câbles, symbolisant les ambitions chinoises sur le secteur. L'intégration de *Huawei Marine* sur le marché s'est notamment fait dans le cadre d'une *joint-venture*⁶⁷ avec le britannique *Global Marine Systems*, disposant d'un fort savoir-faire en la matière et mandaté pour la pose de câbles dans le cadre d'accords de construction. *Huawei* ambitionne avec cette opération d'acquérir du savoir-faire et des compétences techniques nouvelles dans le domaine (Coelho, 2023). Les ambitions de *Huawei Marine* sur le marché de la pose des câbles sous-marins suscitent une intense bataille géopolitique avec les États-Unis et conduisent *Huawei* à se séparer de ses activités câblières, au profit d'un autre géant chinois, *Hengtong Optic-Electric*. La filiale *Huawei Marine* devient alors *HMN Tech*. *Nexans* est également un acteur historique français implanté dans le secteur, bien que spécialisé dans les câbles pour l'énergie, les infrastructures, l'industrie et les bâtiments. *Nexans* est issu de la Société Française des Câbles Électriques (SFCE) fondée en 1897, devenue ensuite Compagnie Générale des Câbles de Lyon (CGCL). Une extraction de données depuis la base de données « *Submarine Cable Map* », réalisée en juin 2023, donne 26 entités désignées au moins une fois en tant qu'opérateur pour la pose des câbles (*suppliers*). Les principaux *suppliers* sont : *ASN*, désigné 143 fois, *SubCom*, désigné 73 fois, *NEC*, désigné 39 fois, *HMN Tech*, désigné 36 fois, *Nexans*, désigné 9 fois, *Fujitsu*, désigné 9 fois, *Ericsson*, 8 fois et *Xtera*, 7 fois.

Maintenance

La troisième typologie d'acteurs est formée par les administrations ou exploitations privées assurant l'entretien et la maintenance des câbles. Ces entités sont reconnues des pays d'atterrage ou déléguées à des organisations de maintenance par zones géographiques, définies dans le cadre d'accord entre les acteurs des *consortiums* internationaux (FMES, 21 septembre 2023). Les opérateurs spécialisés dans la pose et la réparation des lignes sous-marines comptent notamment le britannique *Global Marine systems*, *E-Marine*, *Subcom*, et les français *Orange Marine* et *ASN Marine* (Blanc, 2018). Dès les années 1980, la France dispose à la Seyne-sur-Mer, en Méditerranée, du plus grand centre de maintenance et de

⁶⁷ Une *joint-venture* est un accord de collaboration entre entreprises visant à mutualiser les savoir-faire et compétences technologiques en vue de réaliser un projet commun, tout en partageant les risques, bénéfices et le contrôle de l'entreprise commune.

télécommunications sous-marines d'Europe, situé à proximité d'une station d'atterrage de câbles sous-marins (Chappez, 1986, p. 773).

« La France dispose à la Seyne-sur-Mer du plus grand centre de maintenance et de télécommunications sous-marines d'Europe. Ses équipements et sa flotte câblière assurent l'entretien d'un réseau de plus de 60 000 km de câbles sous-marins immergés en Méditerranée et sur les côtes atlantiques. Le site abrite un centre de Télécommunications sous-marines où aboutissent quatre câbles reliant Bastia, Tripoli, Lechaina (Grèce) et depuis juin 1986 Singapour (câble Sea-Me-We). Il dispose d'« échantillons » de tous les types de câbles susceptibles d'être réparés en Méditerranée et de dispositifs comme des répéteurs, des égaliseurs et pièces d'extrémité. Un centre de documentation donne les renseignements pour tous les câbles posés dans le monde. »

(Chappez, 1986, p. 773).

Le câble *SemMeWe-1* (*South-East Asia – Middle East – Western Europe*), premier d'une longue série reliant l'Europe à l'Asie via la technologie fibre, n'est actuellement plus actif, et seul un câble arrive encore à la Seyne-sur-Mer, le *Corse-Continent 5* (*CC5*), mis en service en 1999 (*Submarine Cable Map*, 2024). Le centre de réparation, actif dans les années 1980, est toujours occupé aujourd'hui par *Orange Marine*. La flotte de navires câbliers du groupe *Orange Marine - Elettra* compte sept navires câbliers actifs, sur la cinquantaine qui officient actuellement à l'échelle mondiale. Des contrats de maintenance en cours courent sur quatre régions géographiques, avec des opérations dans l'Atlantique et l'Europe du Nord, menés dans le cadre de l'*Atlantic Cable Maintenance Agreement* (accord *ACMA*) depuis la base de Brest, des opérations en Méditerranée, mer Noire et mer Rouge, menées dans le cadre de l'accord *MECMA* (*Mediterranean cable maintenance agreement*) depuis la Base de La Seyne-sur-Mer, des opérations dans le sud des océans Atlantique et Indien menées dans le cadre de l'accord *2OCMA* (*2 oceans cable maintenance agreement*) depuis Le Cap (utilisation du dépôt de *Telkom SA*), et des opérations dans la Mer des Philippines menées dans le cadre de l'accord *SEAIOCMA* (*South East Asia and Indian Ocean Cable Maintenance Agreement*) (*Orange marine*, s.d.). *Orange Marine* est susceptible d'intervenir 365 jours par an, dans les 24 heures qui suivent une déclaration d'incident, et annonce plus de 600 interventions menées depuis 15 ans⁶⁸ jusqu'à 6000 mètres de profondeur et en moyenne une quinzaine d'opération par an sont annoncées.

Les GAFAM, une irruption foudroyante

Depuis 2008, et plus encore après 2015, le marché des câbles sous-marins connaît une évolution sans précédent, avec une explosion de la demande et le passage d'une industrie reposant sur des *consortiums* d'opérateurs nationaux incluant des monopoles d'État, à une logique libérale dans laquelle les acteurs privés investissent directement dans la réalisation de leurs propres infrastructures.

⁶⁸ Orange annonce plus de 950 réparations réalisées dans son rapport annuel intégré 2023 (Orange, 2024, p.20-21).

Aujourd'hui, le marché mondial annuel des câbles sous-marins est estimé à 5 milliards de dollars par ASN (Le Monde, 2023). La baisse du coût des câbles sous-marins, aujourd'hui estimé entre 300 et 400 millions d'euros contre 800 millions d'euros il y a quelques années (Assemblée Nationale, 2019, p. 85), permet à des acteurs bénéficiant de fortes marges financières d'investir sans passer par l'intermédiaire des opérateurs traditionnels. En 2011, *Alphabet (Google)* participe au financement du câble transpacifique *Unity*, et marque l'arrivée des géants du numérique dans le secteur. D'abord discrète, en temps qu'investisseurs minoritaires dans les *consortiums* qui portent les projets, la présence des GAFAM se fait rapidement omniprésente, jusqu'à représenter aujourd'hui 70% des projets mondiaux transatlantiques et transpacifiques selon le groupe français *Alcatel Submarine Network*, premier fabricant européen de câbles sous-marins en fibre optique (Le Monde, 1^{er} janvier 2023b). *Alphabet (Google)* et *Meta (Facebook)* investissent dans la maîtrise des infrastructures de transport, pour alimenter leurs centres de données. Mobilisant leur moyens financiers immenses, avec des chiffres d'affaires de plusieurs dizaines de milliards d'euros par an, les deux géants du numérique sont à même de financer seuls la pose de câbles, dont le coût de pose peut être estimé entre 300 et 800 millions d'euros.

« Les GAFAM ont totalement chamboulé le modèle économique traditionnel des câbles sous-marins qui reposait sur des *consortiums*. Ils ont parfois encore besoin de partenaires pour faire baisser le coût unitaire de la ligne de fibre optique, ainsi que pour des questions de réglementations nationales. Mais leurs ressources financières leur donnent un pouvoir immense. Le secteur est passé du modèle de *consortium* à celui de coconstruction, sous leur direction. »

Jean-Luc Vuillemin, directeur de l'entité Réseaux chez Orange (cité dans Le Monde, 1^{er} janvier 2023b).

Aujourd'hui, *Alphabet (Google)* porte seul plusieurs projets de câbles intercontinentaux à l'exemple du câble *Humboldt*, qui s'ajouteront à plusieurs autres déjà en la possession de *Google (Grace Hopper 2022, Equiano 2023, Curie 2020 et Dunant 2021)*. *Meta (Facebook)* est également engagé dans plusieurs projets de câble, en tant que membre de *consortium*, depuis son premier partenariat avec *Microsoft* pour la construction du câble transatlantique *Marea* en 2018. *Meta* participe notamment au *consortium*, avec des entreprises de télécommunication (*China Mobile, Orange*), qui achève en 2024 le câble *2Africa*, faisant le tour de l'Afrique et reliant les pays côtiers au reste du monde avec des points d'atterrage en Italie, à Marseille en France, en Espagne, au Portugal, au Royaume-Unis, en Arabie Saoudite, à Oman. Au total, *Alphabet* et *Meta* sont actuellement membres de 21 et 15 *consortiums* de propriétaires-exploitants de câbles, soit avec d'autres structures, soit en tant que seul exploitant pour *Google*. *Microsoft* fait partie de quatre *consortiums* exploitants de câbles et *Amazon* deux (*Submarine Cable Map, 2024*).

« Face à la concurrence et la puissance financière accrue des GAFAM, le choix de rester propriétaire de nos infrastructures est un atout indispensable. En 2010, les GAFAM ne possédaient aucune infrastructure réseau dans l'Atlantique. Ils en possèdent 50 % aujourd'hui et même 70 % via les investissements conjoints, au détriment des opérateurs historiques. Or ils imposent aussi des

contraintes d'usages numériques de plus en plus gourmands. »

Christel Heydemann, directrice générale d'Orange (cité dans Investir Les Echos, 25 septembre 2023).

Un rééquilibrage des réseaux à l'échelle mondiale

L'hypertrophie des réseaux de communication mondiaux en faveur des liaisons entre l'Europe et les États-Unis est ancienne. En 2013, les capacités estimées de transport des liaisons transatlantiques entre l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord sont de 19,6 téraoctets par seconde (Tbits/s), soit la plus élevée de toutes les connections intercontinentales, devant les liaisons transpacifiques qui atteignent 15,2 Tbits/s. Les liaisons entre les sous-continentaux américains sont alors estimées à 6,3 Tbits/s (Boullier, 2014, p. 152). Ces chiffres sont aujourd'hui assez largement obsolètes, avec comme nous l'avons vu la construction de plusieurs câbles aux capacités dépassant les 100 Tbits/s depuis 2018. Si la connectivité reliant les pôles Europe – États-Unis – Asie reste prédominante (Morel, 2023, cité par Lucq, 2024, p. 173), on assiste à un « rattrapage » des investissements dans les réseaux du sud entre 2007 et 2012, avec des taux de croissance des capacités de connexion de 71,2 % pour le réseau de l'Afrique subsaharienne, de 54,2 % pour les liaisons Amérique du Nord – Amérique du Sud, de 46,6 % pour l'Asie du sud-Est ou de 41,2 % pour l'Asie du Sud et le Moyen-Orient, contre « seulement » 26,9 % pour le réseau transatlantique ou 36,2 % pour le réseau transpacifique (Boullier, 2014, p. 151). Entre 2008 et 2015, sur les 11,8 milliards de dollars investis sur la marché des câbles sous-marins, 6,7 milliards de dollars ont été financés par les pays des BRICS⁶⁹, notamment en Asie Pacifique, et 2,9 milliards ont été investis pour connecter le continent africain via la pose de trois câbles en Afrique de l'ouest et trois en Afrique de l'Est. La part des États asiatiques (Chine, Thaïlande, Singapour) dans les investissements mondiaux est passée de 1% entre 1987 et 2010 à 9% entre 2010 et 2018. L'investissement chinois passe notamment par ses grandes entreprises du numérique : *China Mobile*, *China Telecom* et *China Unicom* qui s'assurent des places de choix dans les *consortiums* (Blanc, 2018, p. 37), et investissent notamment pour déployer des réseaux de câbles en Afrique et Amérique du sud. L'exemple du câble *South Atlantic Inter Link (SAIL)*, reliant Forta Aleza (Brésil) à Kribi (Cameroun), illustre l'évolution des acteurs engagés. Ce câble, construit de 2016 à 2018, est mis en service en 2020 et est le premier à relier directement l'Afrique et l'Amérique du Sud. Il succède à trois autres câbles récemment implantés au Cameroun : le *West Africa Cable System (WACS)*, mis en service en 2012, le *Nigeria and Cameroon Network Cable System (NCNCS)*, mis en service en 2015, et le *Africa Coast to Europe (ACE)*, mis en service en 2015. Il répond à une demande des marchés émergents, dans lesquels le coût d'accès à la bande passante est plus élevé du fait de la moins bonne connexion au réseau mondial⁷⁰ (Blanc, 2018, p. 41). Le *consortium* porteur du projet intègre les opérateurs historiques de télécommunication nationaux que sont *Cameroon Telecommunication (Camtel)* pour le Cameroun et *China Unicom* pour la Chine, pour un coût de l'investissement estimable à environ

⁶⁹ L'acronyme BRICS désigne un groupe de travail réunissant entre 2011 et 2023 le Brésil, la Russie, l'Inde, la Chine et l'Afrique du Sud, pesant près de la moitié de la population mondiale et un quart du PIB mondial. Le groupe de travail est élargé en 2024 à l'Égypte, les Émirats arabes unis, l'Éthiopie et l'Iran.

⁷⁰ Les coûts d'accès à la bande passante internationale pouvait être 1000 à 2000 fois supérieurs en Afrique par rapport à l'Europe ou aux États-Unis en 2008, et 10 à 20 fois supérieur en Amérique latine (Blanc, 2018, p. 41).

460 millions de dollars (Investir au Cameroun, 7 septembre 2018). L'accord de construction désigne *Huawei Marine Networks* pour poser le câble. Le câble est fabriqué par l'entreprise française Nexans, dans une usine en Norvège. La construction de ce câble s'insère dans un ensemble plus large de câbles « alternatifs », comme *Alba-1*, reliant le Venezuela à Cuba et mis en service en 2013, ou le *South Atlantic Cable Système (SACS)*, reliant également le Brésil à l'Angola, également mis en service en 2018 (Cattaruzza, 2019, p. 86). Entre 2016 et 2019, les entreprises chinoises ont participé à 20 % des constructions de câbles à l'échelle mondiale, parfois en contrepartie d'un accès aux zones de pêche. Entre 2010 et 2023, environ 140 nouveaux câbles ont été posés en Asie, contre 77 en Europe occidentale (Challenges, 16 juillet 2024). Ainsi, si les axes majeurs transatlantique, transpacifique et Europe-Asie restent prédominants, l'entrée des acteurs du sud et notamment de la Chine rééquilibrent les connectivités mondiales.

Perspectives géopolitiques

Au-delà des aspects économiques, les câbles sous-marins sont également un terrain d'expression s'inscrivant dans les jeux de puissance entre acteurs Étatsiques. L'ambition chinoise de développer des « routes de la soie numériques » (*digital silk road* en anglais) s'inscrit dans le cadre du projet plus large des « nouvelles routes de la soie », ou *Belt and Road Initiative (BRI)* (Coelho, 2023). Alors que la *BRI* vise à renforcer les infrastructures de transport, d'énergie et de commerce entre l'Asie, l'Europe et l'Afrique, la route de la soie numérique ambitionne le développement d'un ensemble d'infrastructures numériques, allant des câbles sous-marins en fibre optique et des réseaux terrestres de télécommunication aux centres de données et finalement aux services de *cloud computing*. Le déploiement des réseaux 5G sur les territoires, en cours en Asie, Afrique ou Amérique latine, accompagne cette initiative de vaste ampleur, dans laquelle sont fortement investies les entreprises chinoises pour décrocher de nouveaux contrats. Le câble *Pakistan & East Africa Connecting Europe (PEACE)*, mis en service en 2022, et *SeaMeWe-5*, reliant l'Asie, l'Europe et l'Afrique s'inscrivent dans ce cadre, avec pour objectif principal de fournir une connectivité accrue entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie, notamment en desservant des régions souvent sous-connectées ou mal desservies par les réseaux existants. Ces projets visent à soutenir le développement des infrastructures numériques dans ces régions, et améliorer la vitesse et la fiabilité des communications internationales. L'investissement dans ces câbles représente également une initiative stratégique pour la Chine qui vise à étendre son influence économique et technologique à travers le monde. Le retard technologique chinois est longtemps considéré comme irrattrapable sur les États-Unis, la Grande-Bretagne, la France ou le Japon dans le domaine de la technologie câblière, mais se comble considérablement au début des années 2000, lorsque le géant des télécommunications *Huawei* acquiert le savoir-faire de fabrication des câbles en fibre optique. Cette acquisition de savoir-faire se fait notamment via l'achat de 6000 km de câbles auprès du français *Nexans* (Pitron, 2023, p. 297), et via l'association avec la société britannique *Global Marine*, qui convoite le marché chinois, au sein de la *joint-venture Huawei Marine Networks*. Ce jeu de dupe aboutit à un fort transfert technologique au profit de l'entreprise chinoise, qui s'ouvre à de nouveaux marchés et fournisseurs (aluminium, cuivre, composants électroniques, matériel industriel). En 2019, alors que le groupe prospère, *Huawei*, majoritaire dans la *joint-venture*, revend ses parts à *Hengtong Optic-Electric*. La *joint-venture Huawei Marine Networks* est rebaptisée *HMN Tech (Huawei Marine Networks Tech)*. *Hengtong* devient alors un des rares groupes mondiaux à maîtriser l'ensemble de la chaîne de

valeur du marché, allant de la fabrication à la pose de câbles, répéteurs, terminaux et entretien d'une importante flotte de navire câbliers, qui peuvent représenter jusqu'à 20 à 30 % des coûts de déploiement de la fibre. L'ampleur de ces ambitions explique la réaction des États-Unis pour contrer les initiatives chinoises, par exemple dans le cadre de la pose du câble *SemMeWe-6*. Suite à une décision des membres du *consortium*⁷¹ de confier la pose du câble à l'entreprise américaine *TE Subcom*, et non à *HMN Tech*, les deux géants *China Mobile* et *China Telecom*, dont la participation est estimée à 20% du capital environ, se retirent du projet (La Tribune, 13 février 2023). Un des atterrissages de ce câble est prévu à Marseille en 2025.

Face à la guerre économique sino-américaine, l'ambition européenne est de défendre sa souveraineté. À ce titre, la Banque Européenne soutient un investissement à hauteur de 20 millions d'euros un projet de câble vers la Géorgie, qui permettrait à l'Europe de développer des communications numériques alternatives aux routes terrestres Europe – Asie passant par la Russie et d'offrir au réseau une autre voie que la route de la soie numérique chinoise (La Tribune, 29 juillet 2023). La stratégie européenne de « *Global Gateway* » table sur un équilibre relatif entre acteurs privés et publics, et la résilience du réseau pour permettre des routes alternatives et le partage des données, tout en soutenant des projets alternatifs aux routes de la soie numériques chinoises (Courrier international, 2 décembre 2023). Malgré l'émergence de l'Internet satellitaire comme source d'approvisionnement complémentaire, les câbles restent les infrastructures physiques incontournables et essentielles au fonctionnement de l'Internet mondial. Si la privatisation du secteur est en cours avec l'investissement et la pose de câbles par les GAFAM, les acteurs étatiques ne délaissent pas le secteur pour autant. La France notamment, héritière d'une longue tradition, est active sur les trois volets de fabrication, pose et maintenance des câbles, tout en maintenant le socle des activités stratégiques sur son territoire, avec les activités d'*Orange Networks*, filiale spécialisée dans le déploiement et la maintenance de câbles sous-marins, et *Orange marine* notamment, ainsi que plusieurs atouts sur son territoire (Le Monde, 1^{er} janvier 2023a). Concernant la pose et la maintenance des câbles, le contexte juridique qui se base sur la liberté de pose est garanti au niveau international par les différentes conventions sur le sujet, mais possiblement sujet à des remises en cause ponctuelles pour les activités de maintenance par les états côtiers, en l'absence de règlement précis et partagé par les nations. Si le système de maintenance est fonctionnel d'un point de vue technique, le contexte géopolitique international tendu et le rôle sensible des câbles soumettent ces opérations de maintenance à des contraintes locales possiblement problématiques, comme la cohabitation avec les activités côtières dans la zone économique exclusive par exemple, sans autorité internationale de régulation du réseau mondial de câble. La France, « puissance d'équilibre » (Ministère des armées, février 2022), se positionne pour le maintien de la liberté de pose et de réparation des câbles sous-marins en haute-mer énoncé dans les conventions internationales, et pourrait soutenir un projet de *memorandum* d'entente en Méditerranée, définissant des procédures d'interventions communes et détaillées, intégrant des prescriptions propres à chaque état dans le respect du droit international (FMES, 21 septembre 2023).

⁷¹ Membres du consortium en mai 2024 : *Batelco*, *Bangladesh Submarine Cable Company Limited (BSCCL)*, *Bharti Airtel*, *China Unicom*, *Dhiraagu*, *Djibouti Telecom*, *Microsoft*, *Mobily*, *Orange*, *PCCW*, *Singtel*, *Sri Lanka Telecom*, *Telecom Egypt*, *Telekom Malaysia*, *Telin*, *Transworld* (*Submarine Cable Map*, 2024).

B. AU BOUT DES CABLES, DES CENTRES DE DONNEES

B1 – Caractérisation des centres de données

Marseille : nouveau géant du numérique ?

Les câbles aboutissent à des centres de données, dans lesquels l'information est traitée et intégrée au réseau Internet mondial (Chappez, 1986, p. 771). Si le tracé des câbles de fibre optique s'appuie sur les tracés des anciens réseaux de câbles télégraphiques (Blanc, 2018, p. 34), les nouvelles pratiques de l'Internet mobilisant via le *cloud computing* des données stockées à grandes échelles conduisent à des reconfigurations de l'espace mondial. Avec au moins dix câbles sous-marins actifs arrivant dans la ville⁷², dont le câble *Peace Med* en 2022, Marseille se positionne comme un « hub de connectivité mondiale », idéalement situé à proximité des grandes dorsales de communication mondiales via les liaisons maritimes et relié aux carrefours de données continentaux Européens comme Paris ou Francfort via des liaisons terrestres (Les Echos, 14 novembre 2022 ; Coelho, 2023, p. 155). Le nombre total de câbles sera bientôt porté à quatorze, avec les achèvements prochain de *2Africa* (2024), *Africa-1* (2024), *Medusa Submarine Cable System* (2025) et *SemMeWe-6* (2025). Marseille passe en quelques années de la 44^{ème} place mondiale en termes de volume de données transportées en 2014, à la septième place actuellement, et se hissera à la 5^{ème} place mondiale dès 2025 (FMES, 16 janvier 2024). L'affirmation de Marseille comme centre mondial de connectivité va de pair avec l'implantation de centres de données sur le territoire et est illustrée par la stratégie de développement du hub numérique du Grand Port Maritime de Marseille Fos (GPMMS) qui mise sur cette activité.

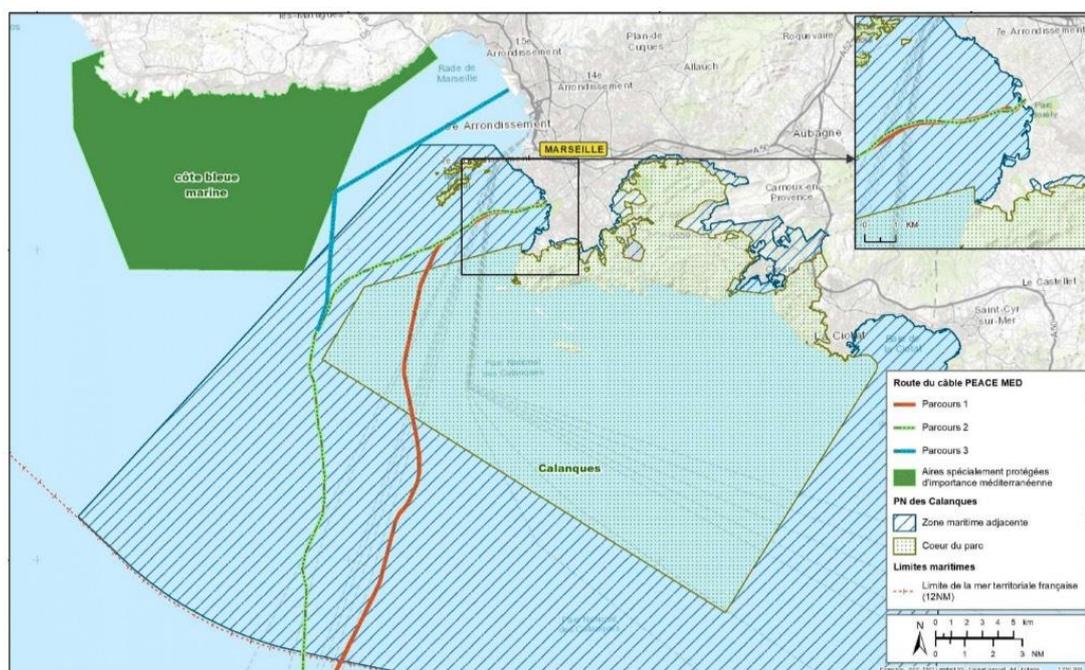


Figure 4 : parcours envisagés pour l'atterrissage du câble Peace Med en mai 2020, dans une pré-étude d'incidence (Cellard & Marquet, 2023, 52).

⁷² Répertiés au 15 août 2024 sur submarinecablemap.com : *Asia Africa Europe-1*, *Atlas Offshore*, *Blue*, *Hawk*, *IMEWE*, *Med Cable Network*, *Medloop*, *PEACE Cable*, *SemMeWe-4*, *TE North/TGN-Eurasia/SEACOM/Alexandros/Medex* (Submarine Cable Map, 2024).

En 2020, lors des études préalables à l'arrivée du câble *Peace Med (Pakistan and East Africa Connections Europe - Mediterranean section)*, plusieurs parcours sont envisagés, avec notamment la problématique des milieux naturels protégés (herbiers de Posidonie) à traverser, situés sur le territoire du Parc National des Calanques, et les enjeux de sécurité du câble, liée notamment à la connaissance des fonds marins traversés ciblant d'éventuelles zones dangereuses contenant possiblement des épaves ainsi qu'aux activités maritimes actives (pêche, fret) lors la pose et l'exploitation des câbles. La définition du parcours doit également trancher la question du lieu d'atterrage du câble, à savoir l'emplacement de la « prise » branchant le câble aux centres de données et infrastructures de communication. Les parcours 1 et 2 proposent pour lieu d'atterrage la plage du Prado. Le parcours 3 propose un atterrissage sur le site du Grand Port Maritime de Marseille Fos, au sein de ses bassins Est. Le Grand Port Maritime de Marseille Fos (GPMMS) se positionne pour l'accueil de celui-ci au sein de son infrastructure portuaire (parcours 3), et se retrouve en concurrence de fait avec *Orange Networks*, propriétaire d'infrastructures d'atterrage au Prado accueillant déjà des câbles sous-marins (Cellard & Marquet, 2023, 56). Le cabinet d'ingénierie écologique et marine *Setec In Vivo*, en charge de la réalisation des expertises environnementales, tranche en faveur d'un parcours aboutissant au Prado (parcours 2), évitant le cœur du Parc National, considérant l'impact résiduel sur les herbiers traversés minime au regard des enjeux des enjeux industriels, économiques et sécuritaires. Les membres du *consortium* de câbliers, dont Orange fait partie, suivent ce choix et privilégient le parcours 2, empruntant une route maritime connue. Le parcours 3, moins impactant au niveau écologique, n'est pas retenu, notamment au regard de l'argument de sécurité, car situé sur des espaces soumis à un important trafic maritime potentiellement gênant pour les activités de pose du câble et empruntant des fonds marins non intégralement cartographiés. Ces arguments sont contestés par le GPMMS, arguant que le pouvoir de police détenu par le Port le rendait à même de garantir une sécurité effective lors de la pose et lui permettait de définir des zones d'exclusion de mouillage sur les zones d'atterrage, plus protectrice que les mesures à l'œuvre sur la plage du Prado. De plus, la diversification des tracés de circulation des câbles serait pour l'infrastructure en elle-même un atout de résilience, évitant le risque d'une forte concentration d'infrastructures stratégiques sur une espace contraint comme les plages marseillaises. Enfin, preuve de sa volonté à se positionner sur la réception des câbles, le GPMMS engage un enrichissement de son jeu de connaissances sous-marines avec des campagnes de cartographie sous-marine, mobilisant notamment les services du Département d'État des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines (DRASSM). Début 2022, les services de l'État, par l'intermédiaire de la Préfecture, définissent un corridor de protection des câbles sous-marins sur la base du parcours 2, conciliant des intérêts divergents (Cellard & Marquet, 2023, 60).

Aujourd'hui, sur son site Internet, le Grand Port Maritime de Marseille Fos se présente comme un port « polyvalent et multi-filières », annonçant 76 millions d'euros d'investissements en 2023 et citant le numérique comme une des dix filières qu'il est amené à gérer, aux côtés de ses activités plus traditionnelles que sont les conteneurs et réfrigérés, le conventionnel, les vracs solides, les vracs liquides, le roulier et les voitures, les voyageurs, la réparation navale, l'industrie et la logistique (Marseille Fos, 2024a). Le site portuaire de Marseille est composé de deux sites principaux : une zone industrialo-portuaire située à Fos-sur-Mer (bassins Ouest), et une zone portuaire urbaine située au cœur de la ville de Marseille pour les marchandises et passagers (bassins Est), accueillant un « *hub* numérique » hébergeant plusieurs centres de données d'envergure mondiale. Le Port de Marseille

Fos accueille en juillet 2023 le câble *2Africa*, capitalisant sur sa stratégie d'accueil visant à en faire une plateforme de connectivité placée au cœur des réseaux mondiaux. Une communication en ce sens est faite sur *LinkedIn* à l'été 2023, reproduite en annexe 7.

« Afin de répondre à l'augmentation des volumes et à la diversité des contenus échangés, le port de Marseille Fos a engagé la construction d'une nouvelle infrastructure d'atterrage totalement intégrée pour câbles sous-marins, qui pourront passer par des fourreaux individuels reliant la mer et les chambres d'atterrage à terre en passant sous la digue du large, avant de se raccorder au réseau de télécommunication terrestre et/ou aux *datacenters* environnants, avec en option la possibilité d'activer un équipement d'alimentation électrique (*Power Feed Equipment* ou *PFE*). Le port s'engage à livrer prochainement la première phase pouvant accueillir une première série de câbles. »

(Marseille Fos, 2024a).

Sur son foncier, le GPMMS accueille l'entreprise *Digital Realty*, acteur mondial de l'hébergement de données exploitant déjà quatre centres d'envergure à Marseille (MRS1, MRS2, MRS3 et MRS4), pour un total de 24 400 m² d'installations. *Digital Realty* annonce la mise en service prochaine d'un cinquième centre d'hébergement de données sur le site du GPMMS à l'horizon 2026 nommé MRS5, pour une surface de 12 000 m² d'installations et 22 MW de puissance, réhabilitant un ancien silo de stockage agro-alimentaire inexploité depuis 2015, communiquant sur l'efficacité énergétique de ses futures installations et se positionnant comme l'« espace où entreprises et données se rencontrent, de manière novatrice pour concevoir les innovations du monde de demain » (*Digital Realty*, 2024b). L'exemple de *Digital Realty*, localisé à Marseille, en connexion proche des grandes artères de connexion mondiale au réseau Internet, illustre l'importance du facteur de localisation dans l'implantation des centres de données. Le raccordement aux grandes artères numériques est en effet un critère pour pouvoir assurer aux clients et utilisateurs de bonnes conditions d'utilisation des données en terme de vitesse d'accès aux données, et éviter d'avoir à tirer des lignes de raccordement aux nœuds mondiaux, dans le cadre d'une politique de développement international (Bakis, 2013, 61). Marseille, à la croisée des dorsales fibres qui la relie au Maghreb, au Moyen-Orient ou à l'Inde en 95 millisecondes, et bien connectée aux *hubs* terrestres européens comme Paris ou Francfort, se positionne ainsi auprès des grandes structures d'hébergement de données à rayonnement mondial (Les Echos, 14 novembre 2022). De nombreux exemples confirment l'importance de la proximité des réseaux et la connexion avec les dorsales fibres dans l'implantation des centres de données, comme le centre de données d'*IBM* établi à Grabels, en périphérie de Montpellier, sur 1380 m² et visant un public de PME et PMI françaises, ou le site OVH installé à Beauharnois près de Montréal au Canada en 2012 (Bakis, 2013, 63-68). Ce dernier site est en forte croissance dix ans plus tard, avec quatre-vingt salariés, positionné pour desservir à la fois les clients américains et les clients européens et annonçant poursuivre son développement avec la construction de nouvelles infrastructures (Journal Saint-François, 2 mars 2022 ; *OVHcloud*, 6 octobre 2022). Il est désormais permis de s'interroger sur les centres d'hébergement de données. Quelles sont leurs caractéristiques, et où sont-ils situés ?

Caractérisation technique d'un centre d'hébergement de données : vers l'industrialisation

Parallèlement à la généralisation des offres de *cloud computing* et à la massification des données consommées, on assiste à un changement d'échelle dans le *design* et l'organisation des infrastructures destinées à stocker les données, engendrant des reconfigurations spatiales et sociales profondes, toujours en cours d'ajustement (Carnino & Marquet, 2022). Un centre d'hébergement de données peut être défini comme un site physique destiné à héberger des données numériques de la façon la plus rationnelle et sécurisée possible. Il est composé d'équipements informatiques tels que les ordinateurs, les serveurs, les baies de stockage et les équipements de réseaux, couramment appelée « *IT* » (pour *information technology*) et de dispositifs supports nécessaires à leur fonctionnement en continu comme le bâti et les conduites de câbles, les systèmes de climatisation et de filtration de l'air, le système de distribution de l'énergie, les systèmes d'alerte incendie et d'extinction, les dispositifs de surveillance par caméras ou capteurs, les entrées et sorties réseau, les dispositifs de gestion de la sécurité physique du site. Cette deuxième typologie d'équipement est couramment appelée « *infras* » (Carnino & Marquet, 2018). La distinction de ces deux catégories d'équipements apparaît pertinente car elle recouvre des réalités différentes en termes de consommation d'énergie et d'organisation des espaces de travail. Ces deux entités sont amenées à être optimisées de plus en plus dans une approche d'efficacité et de rationalisation du fait des changements d'échelles à l'œuvre dans le secteur (Carnino & Marquet, 2022, p. 317-318).

La taille des centres de données est variable, pouvant aller de 30 m² pour une salle informatique dans une université à 20 000 m² pour un centre de données d'*Interxion*⁷³ à La Courneuve, et jusqu'à 330 000 m² pour un centre d'*Apple* dans l'Oregon aux États-Unis, voire à 6,3 millions de m² pour le plus grand *data center* du monde à Langfang, en Chine en 2017 (Carnino & Marquet, 2018, p. 25). Les services proposés par un centre de données diffèrent en fonction de sa nature (centre de données privé ou public réservé à l'usage d'une institution, centre d'hébergement de données pour une plateforme digitale, centre de données de prestataire de services pour entreprises), mais proposent généralement deux grands types d'offres : la fourniture de services numériques sur le principe du *cloud computing*, et la colocation. La fourniture de services numériques en *cloud computing*, propose différents gradients déclinant des offres de type *IaaS*, *PaaS* ou *SaaS*⁷⁴. Les services proposés vont de la location de serveurs informatiques mettant à disposition des clients des espaces d'hébergements (offres de types *IaaS*), avec gestion ou non de la

⁷³ *Interxion* est un acteur économique spécialisé dans l'hébergement de données numériques de type « colocation » (Carnino & Marquet, 2018, p. 34). Acteur historique français, implanté notamment en région parisienne sur le territoire de Plaine commune à partir de 1999 avec au moins six centres de données d'une taille moyenne approchant les 20 000 m² chacun (cf. Figure 5), *Interxion* est racheté par l'acteur américain *Digital Realty* en 2020 pour environ 8,4 milliards de dollars. *Interxion* continue aujourd'hui d'opérer en tant que filiale de *Digital Realty*. *Digital Realty* investit en France et en Europe, poursuivant les créations de centres de données à Marseille entamées par *Interxion* avec l'ouverture du centre MRS5 prévue en 2026 (*Digital Realty*, 2024c).

⁷⁴ L'opérateur *OVHcloud* propose par exemple une large gamme de services. L'entrée de gamme en prestations de type *IaaS* propose la location de serveurs physiques sans couche de virtualisation, via des offres dites « *bare metal* » (métal brut). Plusieurs prestations de stockage sont proposées, du stockage partagé (entre plusieurs clients), au stockage dédié (hébergement distinct et géolocalisé, adapté aux objectifs de diffusion du client et offrant de meilleures performances en termes de latence et de sécurité) (*OVHcloud*, 2024b). L'hébergement de sites web est une offre de type *Paas* (*OVHcloud*, 2024c), et divers services comme l'*emailing* et de *marketing* digital sont proposés en mode *SaaS* (*OVHcloud*, 2024d). *OVHcloud* présente sur la page d'accueil de son site comme principaux clients : la Société générale, Louis Vuitton, *macopharma*, *Flux*, *capgemini*, *irontech*, *sopra steria* (*OVHcloud*, 2024a).

virtualisation par l'opérateur, jusqu'à la fourniture de services plus ou moins clés en main, accessibles en ligne, incluant par exemple des offres d'hébergement de sites web, d'*emailing*, de gestion de bases de données et de programmes informatiques (offres *PaaS* et *SaaS*). Les clients pour l'ensemble de ces offres peuvent être des acteurs n'ayant pas les moyens ou ne souhaitant pas réaliser de forts investissements en matériel « *IT* », par exemple des petites et moyennes entreprises qui font le choix d'externaliser tout ou partie de leur système d'information. La colocation est une pratique consistant à la location d'espace et de connectivité réseau avec seulement la gestion de l'alimentation électrique, du refroidissement et de la sécurité physique du site à la charge de l'opérateur d'hébergement. L'investissement dans la structure « *IT* » est à la charge du client. Dans le cadre d'un service de colocation, une entreprise loue un espace dans un centre de données pour y installer ses propres serveurs et équipements, et bénéficie du savoir-faire et de la connectivité offerte par le centre de données tout en gardant le contrôle sur son matériel et ses configurations logicielles. Pour fournir ces services, le centre de donnée se raccorde nécessairement aux réseaux des opérateurs de télécommunication, se positionnant auprès de ses clients dans une approche dite de « colocation neutre », garantissant un accès égal à l'ensemble des réseaux (Carnino & Marquet, 2018, p. 28). Ce type d'acteur est couramment appelé « hébergeur » ou « opérateur de colocation neutre », et garantit la disponibilité des données tout au long de l'année. L'hébergeur propose des garanties de sécurité et de duplication des données, et cherche à rentabiliser ses investissements en densifiant et rationalisant les espaces de stockage et le fonctionnement énergétique du centre de données (Carnino & Marquet, 2022, p. 316). On voit ainsi plusieurs pratiques et une diversité de centres d'hébergement de données se dégager, avec une tendance générale à l'augmentation de la taille et du volume de données stockées par les acteurs professionnels de l'hébergement (Carnino & Marquet, 2018 ; Carnino & Marquet, 2022). L'Institut Paris Région propose une typologie de *data centers* basée sur la surface consacrée aux équipements « *IT* », comprenant cinq types de centres de données. Un « petit » *data center* peut avoir entre 1 et 500 m² de surface « *IT* », un « moyen » *data center* entre 500 et 2 000 m², un « grand » *data center* entre 2 000 et 5 000 m², un « très grand » *data center* entre 5 000 et 10 000 m². Un *data center* « géant », également appelé centre de données *hyperscale* fait plus de 10 000 m² de surface « *IT* ». Le rapport entre la surface « *IT* » et la surface totale du centre de données, incluant les espaces techniques, de production, de logistique et de gestion est de l'ordre de 50 / 50. Dans cette classification, la notion de centre de données « *hyperscale* » est réservée à un centre de grande envergure à l'architecture optimisée, exploitée en propre par l'opérateur, par exemple les grandes plateformes de données numériques américaines et chinoises comme les *GAFAM* ou *Batx* et généralement centré sur les services de *cloud computing* (Institut Paris Région, 2023, p. 15). La notion d'« *hyperscale* » comporte également une notion d'adaptabilité de l'infrastructure, propre à évoluer en fonction des nouveaux besoins.

L'industrialisation des centres de données peut être considérée comme un « franchissement de seuils », dans divers domaines (énergétiques, matériels, organisationnels, administratifs), conduisant à une rationalisation et une optimisation des capacités de stockage de données (Carnino & Marquet, 2022, p. 314). Cette « industrialisation » des salles informatiques, débutée à la fin du 20^e siècle, s'accélère dans les années 2000, et se matérialise par une tendance à l'augmentation de la taille des grands centres de données, et à des augmentations constantes des consommations d'énergies, malgré les économies d'échelles réalisées. La consommation énergétique des centres de données a deux fonctions

principales, faire fonctionner les équipements qui stockent les données (énergie « *IT* ») et refroidir l'ensemble du système (Bakis, 2013, 22). C'est l'addition de ces deux pôles de consommation énergétique qui donne la consommation globale du centre de données. Les enjeux de densification des serveurs commencent à apparaître au milieu des années 2000, à l'époque des « salles blanches », dans lesquelles s'accumulent les machines dans une approche relativement ouverte. Avec l'augmentation des volumes traités, les consommations énergétiques passent d'environ 300 à 700 watts au m². Aujourd'hui, avec une rationalisation d'espace bien supérieure, notamment liée au confinement des infrastructures « *IT* » dans des boîtes pour optimiser la gestion thermique, avec des allées chaudes et des espaces froids au sein d'une même pièce, la consommation énergétique par m² peut être estimée à 2 500 watts, avec des enjeux globaux de thermodynamie et de refroidissement d'une échelle nouvelle (Carnino & Marquet, 2022, p. 317).

Plaine Commune est une structure intercommunale intégrant neuf communes situées dans le nord de la région Parisienne, dont Aubervilliers, La Courneuve et Saint-Denis. Entre 2000 et 2010, ce territoire devient la première concentration européenne de *data centers* en Europe avec une quinzaine d'établissements répartis sur une surface d'environ 180 000 m² en 2015 (Carnino & Marquet, 2018, p. 30). L'espace bénéficie de plusieurs atouts géographiques : « un foncier peu cher, un maillage dense de fibre optique interconnecté aux dorsales de l'internet, des dessertes autoroutières et une disponibilité électrique abondante héritée des vagues précédentes d'industrialisation » (Carnino & Marquet, 2022, p. 324). Une étude de ces centres de données laisse apparaître des consommations électriques qui dépassent les 60 MW depuis les années 2011, pour la « puissance totale disponible », comme le montre la Figure 5. Les principales entreprises implantées sur le territoire sont *Interxion* (aujourd'hui *Digital Realty*), *Verizon*, *GTT*, *Equinix*, *Atos*, *SFR*, *Colony Capital* et *Orange*. Les années d'installation de ces centres de données à Plaine Commune s'étalent de 1999 à 2022, sur des surfaces au sol allant globalement croissant au fil des années, de 3 300 m² à 67 603 m² pour les parcelles utilisées, et de 2 250 à 115 000 m² pour les planchers techniques⁷⁵. Enfin, la puissance totale disponible réservée par les fournisseurs d'énergie pour les centres de données (*Enedis* ou RTE⁷⁶) passe sur la période de 4 à 130 MW, posant des problématiques d'approvisionnement en énergie nouvelles. Les centres de données installés sur le territoire de la Plaine commune, malgré leur importance, sont paradoxalement peu connus des habitants et élus, posant des questions d'intégration sociales et environnementales au sein du territoire (Carnino & Marquet, 2018, p.21), et justifiant leur prise en compte dans les problématiques d'aménagement locales.

⁷⁵ Les planchers techniques, également appelés « faux planchers », sont révélateurs et symboliques du processus d'industrialisation des centres de données. Posés sur des treillis métalliques, ils surplombent un espace libre contenant des milliers de câbles d'alimentation et câbles réseaux connectant les serveurs à l'infrastructure Internet et/ou directement aux entreprises clientes. L'accumulation de ces câbles, parfois non retirés lorsque les entreprises stoppent la souscription à un service auprès de l'hébergeur, pose des problèmes d'encombrement physique de l'espace. Ces problématiques sont progressivement intégrées par les centres de données, via l'emploi de techniciens dédiés au rangement des câbles ou la monétisation de services de migration de données. Une campagne de migration de l'infrastructure interne au sein du centre de données TH2 de l'entreprise *Telehouse*, acteur de l'Internet français, entre 2017 et 2019, permet de déposer 4380 câbles, pour un poids total de 8,7 tonnes (Carnino & Marquet, 2022, p. 319). Cf. annexe 7.

⁷⁶ Réseau de transport d'électricité (RTE) est le gestionnaire français responsable du réseau public de transport d'électricité haute tension en France métropolitaine continentale. C'est l'opérateur désigné pour les distributions d'électricité à partir d'un seuil théorique de 20 MW (Carnino & Marquet, 2022, p. 324).

Partie II : Matérialités et acteurs du monde numérique

Entreprise – datacenter	Date de construction	Commune – rue	Taille (m ²)			Puis- sance IT max (MW)	Puissance totale disponible (MW)
			Parcelle	Surface de Plan- cher	IT		
Interxion Par 1	1999	Aubervilliers, avenue Victor-Hugo	3 300	2 250	1 450	1,3	4
Verizon	2001	Aubervilliers, rue de la Montjoie	7 822	4 500	3 000	2,25	6,75
GTT – Interoute	2003	Aubervilliers, rue des Gardinoux	6 517		760	1,3	4
Interxion Par 2	Entre 2000 et 2005	Aubervilliers, rue des Gardinoux	5 525		3 000	4,5	12
Interxion Par 3	2007	Saint-Denis, avenue des Arts-et-Métiers	4 781	4 123	2 000	5	15
Equinix PA 2	2007	Saint-Denis, rue Ambroize-Croizat	56 340	54 597	6 300	10	30
Equinix PA 3	2007	Saint-Denis, rue Ambroize-Croizat			6 700	11	30
Equinix PA 5	2007	Aubervilliers, rue Victor-Hugo	2 310		1 250	2	5
Equinix PA 6	2008	Aubervilliers, rue Waldeck-Rochet	10 700	14 000	4 600	7,4	28
Atos 3	2009	Saint-Ouen, rue Dieumegard			3 600	5	15
Interxion Par 5	2009	Saint-Denis, avenue des Arts-et-Métiers	6 027	7 433	4 200	10,55	30
SFR Nercenter	2011	Aubervilliers, rue de la Motte			600	1	3,5
Interxion Par 7	2011 – extension 2018	La Courneuve, rue Rateau	18 293		9 000	30	64
Colony Capital/ Data 4	2011 (projet abandonné)	Aubervilliers, rue Léopold-Réchossière	15 500				60
Orange		Aubervilliers, rue de la Motte					13
Interxion Par 8	2022 – trois extensions en cours de construction	La Courneuve, avenue Marcel-Cachin	67 603	115 000	43 200	19 (à terme 85)	130

Figure 5 : étude sur les centres de données de Plaine commune, 2022. Travail notamment réalisé à partir du rapport de l’ADEME (Cécile Diguët et Fanny Lopez, cités par Carnino & Marquet, 2022, p. 326).

Il existe des indicateurs destinés à rationaliser et rendre lisible les performances des centres de données, basés sur deux critères principaux : la sécurité et l’écologie. L’Institut *Uptime* est un *consortium* d’entreprises créé en 1999 et faisant autorité dans le secteur, sans qu’il soit facile d’en déterminer réellement l’historique (Carnino & Marquet, 2018, p. 55). Il propose une certification basée sur un indicateur à quatre niveaux, allant de *TIER 1* à *TIER 4*. Cet indicateur évalue les conditions de sécurité et de disponibilité des données, et est largement adopté dans l’industrie. Le niveau *TIER 4* offre les meilleures garanties, avec une redondance

intégrale des circuits électriques, de refroidissement et du réseau, permettant de palier à des imprévus de nature diverse, et garantissant une disponibilité des données de 99,995 % sur l'année, soit 26 minutes maximum d'indisponibilité dans l'année. Ce type de garantie, coûteuse à mettre en place, est utilisée essentiellement dans les secteurs de la finance et de la banque. Les niveaux *TIER 3*, voire *TIER 3 +* ou *TIER 2* sont également proposés par les opérateurs d'hébergements à leur client. L'annexe 9 propose un tableau récapitulatif des caractéristiques principales attendues selon les principaux niveaux de certification *TIER*.

« La certification *TIER 4* est complexe à obtenir. Elle suppose que l'opérateur du *datacenter* soit en capacité de restaurer l'alimentation électrique de son site sans aucune incidence sur la disponibilité de ses équipements. Il est nécessaire d'avoir deux lignes électriques venant de deux sources d'électricité différentes par des cheminements différents. Si les configurations multi-sites ne sont pas obligatoires pour obtenir la certification, certains *datacenters TIER 3* et *TIER 4* sont répliqués sur plusieurs sites géographiques, afin d'éviter toute indisponibilité en cas de destruction de l'un d'eux.

L'incidence budgétaire de construire un *data center* en *TIER 3+* et *TIER 4* est très forte compte tenu du doublement des infrastructures électriques et climatiques de bout en bout. Le *TIER 4* n'est pas une obligation, mais le niveau de sécurisation est fonction de la criticité du besoin en disponibilité pour le client final. »

(Infranum, 2019, p. 33).

L'autre grand indicateur est un indice d'efficacité énergétique, le *Power Usage Effectiveness (PUE)*, qui sera abordé en partie III. On le voit, l'« industrialisation », est effective dans les changements d'échelles en termes de volumes d'électricité consommés, de volumes de données stockées, de rationalisation des espaces de production et d'organisation managériale. Toutefois, elle ne l'est pas forcément dans les catégorisations administratives auxquels sont affiliés les centres de données, généralement considérés comme des activités « tertiaires » (entrepôts) au regard du code de l'urbanisme et du Code général des impôts, comme nous allons le voir dans le point suivant.

Caractérisation juridique d'un centre de données et alimentation en énergie

Une approche en sciences sociales consiste à appréhender les centres de données par la réglementation de l'utilisation des sols et les problématiques immobilières (Carnino & Marquet, 2018, p. 30). La caractérisation juridique d'un centre de données est ambiguë, oscillant entre une massification de leur activité qui intègre des approches industrielles de la production, et une qualification fiscale les rattachant à des entreprises du secteur tertiaire. Au près des services fiscaux comme la Direction générale des finances publiques (DGFP) et dans Code de l'urbanisme, les centres de données restent considérés comme des « entrepôts », relevant du secteur des services. Ils sont soumis à ce titre à une moindre fiscalité que les établissements industriels (Carnino & Marquet, 2022, p. 329). En 2018, la requalification d'un centre de données d'Orange, implanté sur la communauté

d'agglomération de Seine-Eure, d'établissement industriel en établissement tertiaire entraîne la perte pour la communauté d'agglomération d'un million d'euros de rentrées fiscales par an (Carnino & Marquet, 2022, p. 329). Le contenu de l'article 1500 du code général des impôts est élargi en 2019 pour ne pas limiter la définition des bâtiments à caractères industriels aux seuls établissements produisant des biens matériels. Il est désormais possible d'intégrer dans cette définition les bâtiments et terrains servant à « des activités nécessitant d'importants moyens techniques pour fonctionner » lorsque les installations techniques, matériels et outillages sont prépondérant dans l'activité de la structure et qu'elles dépassent un montant de 500 000 €. Cette définition laisse une marge de manœuvre aux acteurs locaux pour qualifier les activités présentes sur le territoire et ajuster les entrées de fiscalités qui y sont liées. Toutefois, les qualificatifs de « *data centers* » ou « plateformes logistiques », qui étaient initialement visés par cette extension de la loi, n'ont pas été intégrés au texte (Carnino & Marquet, 2022, p. 330). En 2023, un arrêté ministériel rattache officiellement les « locaux hébergeant des centres de données » à la sous-destination « entrepôt » du code de l'urbanisme même si un flou persiste encore dans les qualifications des *data centers* au niveau local (Institut Paris Région, 2023, p. 18-19). Du côté du code de l'environnement, les centres de données sont soumis aux procédures des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), du fait des importantes réserves de fioul stockées pour alimenter les groupes électrogènes de secours, mobilisés en cas de panne électrique (Carnino & Marquet, 2022, p. 328). *Enedis*, filiale d'EDF chargée de l'aménagement du réseau de distribution d'électricité en France pour les particuliers et les entreprises de taille moyenne, n'est théoriquement pas compétent pour satisfaire les demandes d'approvisionnement en énergie dépassant le seuil de 20 MW (Carnino & Marquet, 2022, p. 324). La satisfaction des demandes de ce type nécessite l'aménagement de « postes source », dont la provision est coûteuse et qui s'inscrit dans le temps long de l'organisation du réseau électrique. Au-delà de 40 MW, les demandes doivent impérativement passer par RTE, responsable du réseau public de transport très haute tension. Au vu de la massification des demandes électriques des centres de données, qui franchissent régulièrement le seuil des 60 MW à partir de 2011 (cf. Figure 5), certaines entreprises comme *Interxion* choisissent d'intégrer des compétences de transformation d'électricité en interne et de construire directement sur ses parcelles des postes sources raccordés au réseau de RTE, en partenariat avec les autorités. C'est par exemple le cas dans le centre *Interxion Par 8* à la Courneuve, où les 60 000 m² du *data centers* s'appuient sur 50 MW réservés auprès d'Enedis et 80 MW auprès de RTE. Ce type de procédé est ensuite répété par *Digital Realty*, successeur de *Interxion*, aux Ulis et à Marseille, et d'autres opérateurs comme *Data4* (Carnino & Marquet, 2022, p. 325). Ces centres de données bénéficient également d'abattements fiscaux sur l'électricité consommée à partir de 1 GWh, comme toutes les industries « électro-intensives » (Carnino & Marquet, 2022, p. 328). À l'étranger, pour certaines administrations, les centres de données sont qualifiés d'après des seuils définis en fonction de la puissance électrique installée dédiée aux infrastructures « IT », à partir de 0,5 MW en Suède, ou de la surface d'emprise au sol, à partir de 9 920 m² au Texas.

Typologie de data centers

Une analyse fine de 168 centres d'hébergement de données de la région parisienne réalisée par l'Institut Paris Région en 2023, basée sur plusieurs critères (emprise au sol, nature et destination du bâti, dates de construction...), aboutit à la

catégorisation des centres de données en cinq types (IPR, 2023, p. 36-49). Cette typologie, ici simplifiée, permet une première approche des centres de données.

DC 01	Centres d'hébergement de données « infiltrés », s'insérant dans un tissu urbain dense et un bâtiment transformé. Représentent 12% des <i>data centers</i> (DC) franciliens. Mixité d'usage. Exemples : <i>Telehouse</i> ou <i>Foliateam</i> à Paris. Souvent surface « IT » inférieure à 1 000 m ² , et datant très majoritairement d'avant 1990.
DC 02	Centres d'hébergement de données « reconvertis », situés dans les zones d'activités. Exemples : <i>DataBank</i> , <i>Cyrus One</i> . Souvent surface « IT » entre 2 000 et 4 000 m ² et datant majoritairement d'avant 1990. Représentent 32 % des centres de données franciliens. Généralement usage dédié.
DC 03	Centres de données « neufs et optimisés », en tissu urbain dense, souvent issus des processus de renouvellement urbain. De taille hétérogène, pouvant atteindre jusqu'à 10 000 m ² de surface « IT », et datant quasi exclusivement d'après l'an 2000, voire après 2010. Représentent 14 % des centres de données franciliens. Souvent usage dédié.
DC 04	Centres d'hébergement de données « reconvertis et extensibles », en tissu urbain peu dense et de taille variable, situés dans des zones d'activités ou des campus universitaires, construits majoritairement avant 1990. Représentent 12 % des centres de données franciliens. Souvent usage dédié. Exemples : <i>CNRS</i> , <i>Digital Realty</i> .
DC 05	Centres d'hébergement de données « neufs aux franges métropolitaines », en tissu urbain peu dense, souvent à proximité d'infrastructures routières et dans des secteurs d'activités économiques. De taille hétérogène, souvent inférieure à 2 500 m ² mais pouvant dépasser les 10 000 m ² . Construits pour moitié entre les années 2000 et 2020, et pour l'autre moitié depuis les années 2020. Exemples : <i>Digital Realty</i> , <i>Data4</i> . Représentent 30 % des DC franciliens. Usage dédié à l'hébergement de données.

Figure 6 : typologie de *data centers* proposée par l'Institut Paris Région (IPR, 2023, p. 36-49).

L'évaluation de l'impact environnemental du numérique en France réalisée par l'ADEME et l'ARCEP, publiée en trois tomes en 2022 et 2023, établit six types de centres de données : les centres de données publics locaux, dédiés à l'hébergement des systèmes d'informations des organisations publiques du territoire, les centres publics nationaux, destinés à l'hébergement du système d'information de l'État, administrations centrales et entreprises publiques, les centres de données « privés » et internes aux entreprises, dédiés à l'hébergement de leur système d'information, les centres de données à vocation commerciale, gérés par un opérateur pour des clients sur le mode de la colocation ou directement administrés par l'opérateur pour y héberger ses données mobilisées dans le cadre de prestations de services en *cloud computing*, les centres *HPC* (*High Performance Computing*), ou supercalculateurs, dédiés aux opérations de calcul intensif, et les centres de données mobilisés dans le cadre du *Edge computing* (Internet de périphérie), liés au *cloud* de proximité. Le rapport admet qu'il n'existe pas encore de consensus pour définir cette dernière catégorie, possiblement « hybride » avec plusieurs des autres catégories (ADEME –

ARCEP, mars 2023, p. 58). Les valeurs totales de surface au sol pour les équipements « IT » recensées en France en 2020 sont de 81 390 m² pour les centres de données publics locaux, 65 000 m² pour les centres de données publics nationaux, 311 800 m² pour les centres de données des entreprises (hors acteurs du digital), 414 175 m² pour les centres de données des opérateurs de colocation et de prestations *cloud* et 10 800 m² pour les centres de données *HPC*. Une reproduction des caractéristiques des centres de données proposées par l'ADEME – ARCEP pour les années 2020, et des projections en 2030 et 2050, est disponible en Annexe 12.

Facteurs d'implantation locale

Dans la continuité des travaux de géographie sur la localisation des activités économiques⁷⁷, il est permis de s'interroger sur les facteurs favorisant l'implantation de centres de données dans une approche liée à la « géographie des réseaux ». Deux facteurs fondamentaux sont indispensables à l'implantation de centres de données : une source d'énergie et la proximité des artères de communication (Bakis, 2013, 3). Les exemples d'*Interxion*, devenu *Digital Realty*, à Marseille, l'illustrent. Au-delà de ces deux facteurs essentiels, on retrouve des besoins plus transverses, comme l'existence de disponibilités foncières et de circonstances attractives facilitant l'implantation comme des aides financières à l'installation de la part des collectivités, l'accès à une main d'œuvre spécialisée et à un réseau de fournisseurs. Pour faire fonctionner et gérer le système « infras », un centre de données mobilise, nous l'avons vu, des compétences en énergie (approvisionnement, performance énergétique, redondance, centrale de secours électrique), mais également en refroidissement (production et distribution de froid) et sécurisation (des ressources informatiques, des bâtiments et du personnel), indispensables au bon fonctionnement de la structure. Un *data center* de taille moyenne en 2012 (3000 serveurs) emploie ainsi quelque 150 personnes, comprenant des personnels hautement qualifiés (informaticiens, spécialistes de réseaux) et des techniciens affectés à l'exploitation du système d'information, mais aussi d'autres techniciens et opérateurs chargés de la maintenance des systèmes électriques (électriciens) ou de refroidissement (plombiers). On retrouve donc, comme pour tout établissement de l'industrie ou des services une contrainte de localisation basée sur la possibilité du recrutement des personnels nécessaires (Bakis, 2013). Ainsi, si les centres de données peuvent théoriquement s'implanter à peu près partout sur le territoire mondial, du moment qu'ils soient pourvus d'une alimentation en énergie fiable et d'une source de connexion au réseau mondial d'Internet, on observe dans ce secteur comme dans la plupart des activités industrielles une sorte de concentration aboutissant à la confection de grands pôles régionaux aux niveaux nationaux et mondiaux. « Les enjeux d'accès au réseau et de rapidité dans l'échange de données participent à la concentration des infrastructures dans les zones urbaines, les différents acteurs s'installant souvent à proximité les uns des autres. » (Carnino & Marquet, 2018, p. 28).

Les politiques publiques peuvent venir renforcer l'attractivité du territoire, avec les opérateurs de télécommunication qui assurent le déploiement des infrastructures réseaux (Carnino & Marquet, 2018, p. 27), en proposant des incitations financières sur le foncier et en assurant la desserte en infrastructures de transport et équipements destinés à la maintenance des centres. Ce faisant, ils

⁷⁷ Von Thünen au 19e siècle sur l'agriculture ou Alfred Weber au 20e siècle sur l'industrie sont cités par Bakis (2013).

renforcent les effets de polarisations à l'œuvre dans le processus de métropolisation, qui concentrent compétences et haut niveau d'études (Bakis, 2013, 83). Malgré leur taille et les emplois directs relativement limités, et la non garantie de retombées en termes d'emplois pour le tissu industriel local initialement ressenti par certains acteurs⁷⁸, les centres d'hébergement de données revêtent un caractère essentiel pour le développement et la connectivité du territoire, de plus en plus intégré dans les politiques publiques et par les acteurs locaux. C'est ce que montrent deux études récentes : un guide sur le « *data center* de proximité », réalisé par *Infranum* en 2021 (*Infranum*, 2021), et une étude sur le « développement des *data centers* en Île-de-France », publiée en 2023 par l'Institut Paris Région (IPR) (Institut Paris Région, 2023). L'IPR est la principale agence régionale d'urbanisme et de l'environnement française, chargée de l'accompagnement des collectivités dans le développement des politiques d'urbanisme et d'aménagement territorial.

Sur le plan des stratégies publiques de connectivité et de souveraineté numérique, l'hébergement des données numériques est complémentaire avec les objectifs de déploiement de la connectivité très haut débit sur l'ensemble du territoire national mis en œuvre par le gouvernement à partir de 2013 avec le plan « France Très Haut Débit » (FTHD). Ce plan propose un accompagnement des collectivités et la mobilisation des opérateurs privés pour favoriser la connectivité des territoires, et notamment déployer le réseau fibre sur la majeure partie du territoire (*Fiber to the Home, FttH*), liant les enjeux de connectivité à très haut débit et ceux d'hébergement des données sur les territoires. En 2012, est créée la fédération *InfraNum*, regroupant plus de 200 entreprises (bureaux d'études, opérateurs, intégrateurs, équipementiers, fournisseurs de services), destinée à accompagner le plan FTHD. La politique de connectivité revêt un double volet : raccorder les équipements au réseau très haut débit via la fibre, et construire des centres d'hébergement de données locaux permettant d'être des relais territoriaux pour l'usage des services numériques sur le territoire. Cette stratégie vise à offrir une alternative aux offres de services en *cloud computing* proposées par les grandes plateformes numériques, et à intégrer les problématiques environnementales dans la conception des centres d'hébergement de données. Etienne Dugas, président d'*InfraNum*, acte en préambule du guide sur les *data centers* de proximité deux grandes tendances, qui irriguent les stratégies de connectivités de territoires :

« Deux importantes tendances ont récemment vu le jour :

- L'ouverture de *data centers* toujours plus gros (*hyperscale*) en périphérie des capitales économiques, au cœur des nœuds d'interconnexion Internet (en particulier dans le département de la Seine- Saint-Denis). La croissance de ces sites est remarquable (plusieurs milliards d'euros d'investissements en France chaque année) mais très inégalement répartie sur le territoire, suivant une géographie qui est celle des

⁷⁸ « Le déploiement du très haut débit ne suscitera pas mécaniquement le développement de nouvelles activités. Si les capacités numériques des Alsaciens ont progressé au cours des cinq dernières années, la région n'a, en revanche, pas pleinement tiré parti de l'explosion des usages numériques, en termes de développement économique ou de créations d'emplois. Son tissu d'entreprises numériques reste modeste ». Préfecture de la Région Alsace. (2011). *Etude diagnostique et perspective des usages et services TIC en Alsace. Rapport Phase 2. Diagnostic et propositions d'orientation* s. p. 52, cité par Bakis (2013, 82).

grandes dorsales de communication internationales ;

- La création d'un nombre croissant de petits *data centers* en régions, que l'on peut définir comme des sites périphériques d'hébergement de proximité. Ces derniers répondent à un besoin local de performance, suivent le développement des réseaux d'initiative publique, et bien que ne bénéficiant pas de la croissance des services numériques générés par les grands acteurs mondiaux de l'internet et du *cloud*, ils seront amenés à se développer (stockage de proximité, distribution de la puissance de calcul, réduction du temps de latence). »

(Infranum, 2021, p. 5).

Ces centres de données d'hébergement de périphérie, adaptés aux territoires et reliés aux réseaux fibres construits par les collectivités dans le cadre du plan FTHD, permettent de valoriser les investissements réalisés sur les Réseaux d'initiative publique (RIP), et rejoignent la pratique dite de « *edge computing* » (informatique en périphérie), qui consiste à mobiliser des données stockées localement avec un faible temps de latence et un débit élevé, tout en maîtrisant l'hébergement. Les services proposés par les aménageurs publics gérant ce type d'infrastructure sont calibrés sur une base de « colocation », ou « hébergement sec », permettant le déploiement d'une gamme de services à destination des administrations et des entreprises (hébergement de données, messagerie, téléphonie...) et à court terme de mobiliser les données dans le cadre des nouvelles connectivités issues du déploiement de la 5G et des objets connectés, avec des usages dans l'industrie ou l'agriculture (Infranum, 2021, p. 58-61). L'annexe 10 montre la modularité des prestations de ce type d'établissement de proximité, qui propose en premier lieu une location d'espace pour y installer des serveurs, avec un panel de services disponibles, proposés par l'administrateur du centre de données de proximité. Du point de vue des administrations, la mutualisation des systèmes d'information se fait dans une structure locale et performante, avec le déploiement d'une offre de services s'inscrivant dans le cadre du pilotage du système d'information via des services de *cloud computing* en mode *IaaS*, *PaaS* ou *SaaS* (Infranum, 2021, p. 45). La ville du Mans accueille par exemple en 2024 un *data center* public de proximité, dans un ancien centre d'archives réhabilité. Ce projet est porté par le Syndicat Mixte « Sarthe numérique », en charge de l'aménagement et du développement des usages numériques sur le territoire départemental de la Sarthe, et l'opérateur « *Sartel* », délégataire de service public missionné pour le déploiement, la commercialisation auprès des opérateurs, l'exploitation et la maintenance du réseau fibre sur le territoire (Fibre.guide, s.d.). Ce centre de données, d'un coût de 4 millions d'euros financé à hauteur de 55% par Sarthe Numérique, accueille 66 baies accessibles 24 heures sur 24 pour un public visé de 200 000 entreprises sur le territoire (Banque des territoires, 7 mai 2024).

B2 – Les acteurs des offres de service en *cloud computing*

Cartographie régionale des centres de données et typologie d'acteurs

À l'échelle nationale, nous voyons des pôles régionaux se créer, obéissant à des dynamiques plurielles d'implantation sur un territoire (opportunités foncières, politiques d'incitation locale, présence de main d'œuvre qualifiée, disponibilité électrique, capacités de connexion aux réseaux fibres). La région parisienne est le premier pôle français en terme de nombre de *data centers*, avec 168 *data centers* référencés dans l'étude de l'Institut Paris Région, répartis dans un rayon de 40 km autour de Paris (IPR, 2023, p. 30-35). Les sources mobilisées dans l'étude sont notamment *Cloudscene*, *Resadia* et *Global Security Mag*, confirmées par des acteurs institutionnels et des enquêtes de terrain (IPR, 2023, p. 93). Les *data centers* pris en compte dans la base de données sont administrés par des acteurs du secteur de colocation et de *cloud computing* (*Data4*, *CyrusOne*, *Telehouse*, *Scaleway*, *Equinix*, *Interxion*, *OVHcloud*), de la recherche (universités, laboratoires), du traitement de données publiques (Ministère de l'Economie), des banques et grandes entreprises (*Atos*, *EDF*, *IBM*) ou de la télécommunication (*SFR*, *Bouygues*, *Orange*). Aucun critère de taille n'est retenu. Ces centres de données sont intégrés dans deux contextes urbains principaux : le tissu urbain dense du cœur de l'agglomération parisienne ou la proche banlieue, et la périphérie de l'agglomération moins densément peuplée. Une première catégorie de *data centers*, comptant pour 52 % des 168 établissements pris en compte, s'intègre dans un tissu urbain « dense et mixte » comme le centre de Paris (La Défense) ou la proche banlieue (Plaine Commune), à proximité des clients et entreprises tout en bénéficiant de l'écosystème numérique en place, par exemple en réinvestissant des bâtiments existants ou d'anciennes zones industrielles (76 % des centres de données de cette première catégorie s'intègrent dans des bâtiments transformés) et parfois en partageant l'espace au sein de bâtiments mixtes hébergeant plusieurs activités (43 % des centres de données de cette catégorie sont implantés dans des bâtiments multi-usages). La tendance au recyclage de bâtiments anciens, forte entre 2000 et 2010, est aujourd'hui en baisse, la pratique étant à la construction de nouveaux bâtiments destinés à l'usage exclusif de l'hébergement de données numériques. En simplifiant, les *data centers* de moindre taille situés au cœur de l'agglomération peuvent être liés à la finance et au traitement de données spécialisées dans une logique de disponibilité immédiate (*edge computing*), et les centres de données de la proche banlieue être liés à des instituts de recherche ou aux activités des grands et moyens acteurs de la colocation et du *cloud computing*. Une deuxième catégorie, comptant pour 48 % des 168 *data centers* pris en compte, est implantée dans des territoires péri-urbains moins densément peuplés, comme le Plateau de Paris Saclay ou le corridor entourant l'autoroute A4 à l'Est de Paris (Marne-la-Vallée), et concerne des centres de données de plus large emprise au sol, investissant d'anciennes zones auparavant classées en terres agricoles ou d'anciens sites industriels. Ici, les *data centers* sont majoritairement des bâtiments construits à dessein (68 %), et mono-usage (89 % des bâtiments de cette deuxième catégorie sont exclusivement dédiés à l'usage du centre de données). En simplifiant, ces sites sont notamment ceux des acteurs « *hyperscale* », des grands acteurs de l'hébergement de données et/ou des géants de l'Internet. Ce type de centre de données, neuf et bâti aux franges métropolitaines, classé dans une typologie « DC 5 » par l'étude de l'IPR, représentant 30 % des centres de données franciliens, est celui qui est en plus forte hausse sur la décennie

2010-2020 (IPR, 2023, p. 50). Une troisième catégorie, qui concernerait des centres de données implantés en espace rural, est inexistante, avec 0 centre de données répertoriés.

L'étude de la répartition spatiale des centres d'hébergement de données de la région parisienne dégage une double logique de « *clusterisation* » (accumulation de *data centers* sur des unités foncières proches, avec parfois plusieurs bâtiments appartenant à un même opérateur sur une même unité foncière), et de « *dissémination* », selon les opportunités foncières et les conditions locales d'implantation. Cette logique est également vraie à l'échelle du pays, avec un pôle parisien qui représenterait de l'ordre de 70 % de la part de marché nationale (IPR, 2023, p. 27), suivi par Lyon et Marseille, comptant pour environ 10 % chacun, et des pôles locaux comme Roubaix, centre historique d'*OVHcloud*, ou Strasbourg.

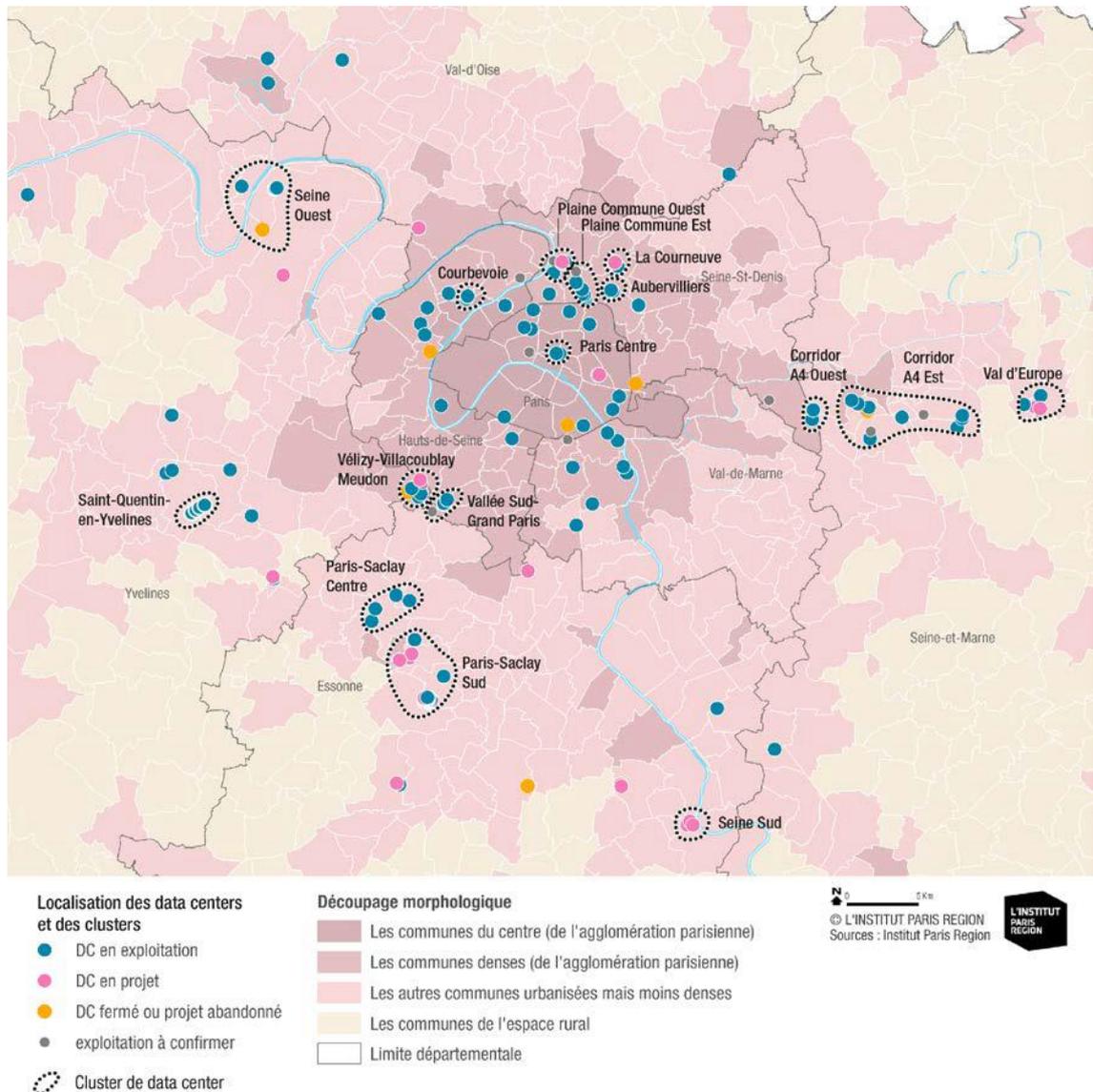


Figure 7 : répartition des centres d'hébergement de données en région parisienne (Institut Paris Région, 2023, p. 35).

Échelle européenne

Au sein des pays européens, la concentration des centres de données est également de mise. Quatre pays, à savoir le Royaume-Uni, la France, les Pays-Bas

et l'Allemagne, accueillent plus de la moitié des structures en 2022 (1 488 *data centers* sur 2 904 en Europe⁷⁹). Au sein de ces pays, des pôles régionaux concentrent au moins un tiers des installations du pays. Les pôles européens qui émergent et sont régulièrement cités sont les « FLAP », acronyme désignant Francfort, Londres, Amsterdam et Paris, auquel peut être ajouté Dublin (FLAP + D). Le pôle londonien regrouperait 193 *data centers* sur les 456 installés au Royaume-Uni, Francfort, 123 sur les 487 centres de données en Allemagne, Amsterdam 119 sur 281 aux Pays-Bas, Paris 113 sur 264, et Dublin 46 sur les 49 *data centers* irlandais. Cette situation est le reflet à la fois du poids historique de ces territoires dans l'économie de leurs pays respectifs, de la forte numérisation de ces économies et de l'intensité des échanges d'informations entre elles (Institut Paris Région, 2023, p. 26). À ces quatre ou cinq grands pôles régionaux peuvent être ajoutés des pôles émergeant « sur les littoraux aux extrémités des grandes routes mondiales de câbles sous-marins » (Gomart, 2021, p. 168), comme Marseille, et des régions qualifiées de « marchés secondaires », dans certaines études de marchés. En 2021, les marchés secondaires représentent 502 MW de puissance électrique installée contre 2396 MW pour les FLAPD la même année, soit 20 % de la puissance. En 2023, les marchés secondaires représentent 810 MW contre 3200 MW pour les FLAPD la même année, soit 25 % de la puissance (CBRE, 2024, p. 17-19). Sur la base de ces mêmes chiffres, la puissance installée du secteur des FLAPD a crû de 33% entre 2021 et 2023 et celle des marchés secondaires de 62 %.

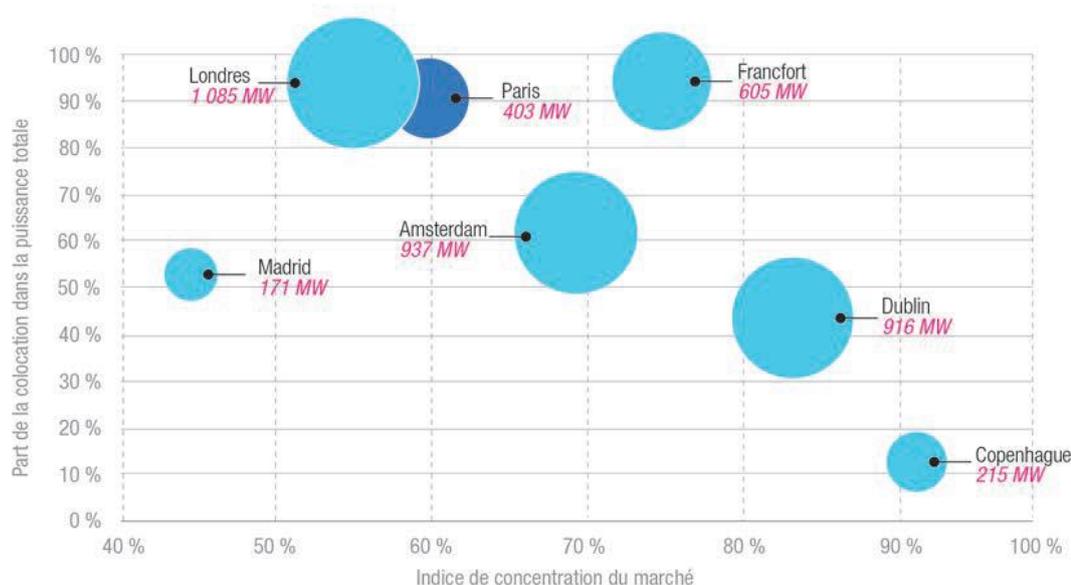


Figure 8 : caractéristiques des 7 principaux pôles européens de *data centers* en 2021 (IPR, 2023, p. 25). La surface des disques est proportionnelle à la puissance installée du pôle. L'indice de concentration (axe horizontal) est la part de la puissance installée des cinq principaux opérateurs du pôle par rapport à la puissance totale du pôle. Un moindre indice de concentration reflète une plus grande diversité d'opérateurs au sein du pôle. La part de la colocation dans la puissance installée (axe vertical) est une estimation de la part des données hébergées sur le principe de la colocation par des opérateurs au profits d'autres acteurs économiques.

Le secteur de la colocation est en évolution et en voie de concentration, comme en témoigne les rachats successifs évoqués dans le secteur (*Interxion* par *Digital Realty* par exemple), et la présence de grands groupes comme *Equinix*, *Virtus*, *Ark*, *Digital Realty* ou *Global Switch* qui représentent plus de la moitié de la puissance

⁷⁹ *Data centers* recensés au 15 septembre 2022 sur la plateforme *Cloudscene* (Institut Paris Région, 2023, p. 24).

installée dans l'ensemble des sept régions européennes constituées par Francfort, Londres, Amsterdam, Paris, Dublin, Madrid et Copenhague. À Paris, le marché est un peu moins concentré que dans le reste des grandes régions européennes, avec une emprise de ces cinq opérateurs comptant pour « seulement » 25 % de la puissance installée de l'écosystème parisien. Le marché parisien est localement dominé par *Equinix*, *Data4*, *Global Switch*, *Interxion* et *Scaleway*. L'analyse de ces données suggère que si les FLAP visent une couverture mondiale et s'affirment comme des « points de dessertes internationales », l'Île-de-France développe un écosystème davantage tourné vers son propre territoire (IPR, 2023, p. 26). À ce titre, les perspectives de développement locales restent fortes, avec pour atout la taille du marché intérieur français dans le domaine des télécommunications et services numériques, le fort investissement de l'État (20 milliards d'euros) engagé pour garantir la couverture très haut débit du territoire, la fiabilité du réseau électrique et un haut niveau de cybersécurité (IPR, 2023, p. 26). La situation de Dublin, siège européen de plusieurs GAFAM, est particulière, avec une forte présence de ceux-ci, expliquant la plus faible part du marché de la colocation au sein du pôle.

Ainsi, au regard de ces éléments, nous voyons deux voire trois types de centre de données émerger, qui peuvent être simplifiés comme suit :

- Les centres de données « de proximité », administrés par des opérateurs publics ou privés et ayant vocation à irriguer le territoire dans une logique de « *edge computing* » (Internet de périphérie),
- Les centres de données de taille variable appartenant aux grands acteurs de la colocation, qui louent leurs espaces bruts à d'autres acteurs économiques, et proposent en propre une palette de services allant de la colocation aux services en *cloud computing* à destination des entreprises et des particuliers,
- Les centres de données « *hyperscale* », ou *data centers* géants, souvent situés en périphérie urbaine, appartenant aux opérateurs spécialisés dans l'hébergement de données gros volumes en colocation ou aux grandes plateformes numériques (GAFAM), lorsque celles-ci administrent leurs données en propre. Répondant à la massification de la demande d'hébergement de données, les *data centers* géants représenteraient en 2017 plus des deux tiers des installations en termes d'espace occupé et 44,6 % des nouvelles créations de *datas centers* (Gomart et al., 2018, p. 15). Selon le *Shift project*, les centres de données « *hyperscale* » captent environ 50 % du trafic en 2020, et en captent près des deux tiers en 2025 (*The shift project*, mars 2021, p. 19).

Les trois *leaders* de l'*hyperscale* sont *Amazon Web Services (AWS)*, *Google (Google cloud)*, et *Microsoft (Microsoft Azure)*. Ils possèdent en 2022 à eux trois près de la moitié des 730 plus importants « *cloud data centers* » ou centres de données « *hyperscale* » du monde, et réalisent près des deux tiers du chiffre d'affaire de ce marché avec 33 % pour *AWS*, 22 % pour *Microsoft Azure* et 10% pour *Google*. Ces acteurs connaissant une croissance de leur chiffre d'affaire comprise entre 35 et 50 % par an sur ce secteur d'activité, contre 10 à 20 % pour les autres opérateurs du *cloud*, hors opérateurs chinois (IPR, 2023, p. 22). Ces acteurs, également *leaders* du marché de prestation de services numériques en *cloud computing*, pilotent et gèrent des infrastructures de stockage massives, agiles et résilientes, permettant une offre de services diversifiée et bénéficiant d'une couverture mondiale garantissant une haute disponibilité et une faible latence pour les utilisateurs finaux. Cette typologie de centre de données *hyperscale*, appartenant notamment aux grandes plateformes d'intermédiation, semble obéir à une logique propre, du fait de la puissance

financière des acteurs et leur capacité d'investissement dans des centres d'hébergement performants et novateurs largement promus pour leur efficacité énergétique⁸⁰, parfois situés dans des endroits isolés. Ces centres semblent majoritairement situés aux États-Unis mais avec une très large couverture mondiale⁸¹. Ils bénéficient par exemple pour l'Europe de centres de données à Dublin, Londres, Francfort ou aux Pays-Bas, comme à *Hollands Kroon* pour des centres de données de *Google* et *Microsoft* (APR, 2023, p. 70). Les autres acteurs régulièrement cités dans cette catégorie « *hyperscale* » sont *IBM Cloud* (Gomart et al., 2018, p. 15), *Oracle*, *Alibaba* ou *Tencent*. En plus d'héberger leurs données en propre au sein de centres *hyperscale*, les géants du numérique recourent à des prestations d'hébergement de serveurs sous le principe de la colocation auprès d'hébergeurs (CBRE, 2024, p. 13⁸²).

À côté de cette typologie d'acteurs « *hyperscale* », les hébergeurs tels qu'*Equinix*, *Data4*, *Global Switch*, *Scaleway*, *Virtus*, *Ark* ou *Digital Realty / Interxion* sont spécialisés dans les prestations de colocation et proposent pour certains d'entre eux comme *OVHcloud* également des prestations de *Cloud computing*. Ils bénéficient eux aussi d'infrastructures de stockage et de traitement de données massives et de perspectives de développement à l'échelle internationale. Ils se positionnent comme prestataires de service pour les petites, moyennes et grandes entreprises, et également les grandes plateformes d'intermédiation, qui recourent à des prestations de type « colocation » en appoint. La page d'accueil du site de *Digital Realty* indique par exemple : « Les plus grandes entreprises mondiales nous font confiance : *AWS*, *Google Cloud*, *IBM*, *ORACLE*, *nvidia*, *Hewlett Packard*, *Microsoft Azure* », reproduite en annexe 11. En 2017, à propos de la répartition de sa clientèle, la plaquette commerciale d'un opérateur de colocation indique : « 62,7 % sont des fournisseurs de *cloud*, 13,8 % sont dans le secteur des télécommunications, 10,8 % dans celui des banques et de la finance, 7,1 % concernent des activités liées à la santé, 3,6 % touche à l'énergie et 2 % les médias et la communication » (Carnino & Marquet, 2018, p. 37). Sur la brochure récente de présentation de son futur centre MRS5, *Digital Realty* indique : « *Digital Realty* a un devoir de confidentialité vis-à-vis des clients. Nous travaillons avec des entreprises privées mais également publiques telles que : *DRASSM*, *Oracle*, *Capaix*, *KPI Crosslake*, *Telxius*, *ITS Integra*, *Misterfly*, ou *Flowbird*, qui acceptent d'être cités. » (*Digital Realty*, 2024c).

Une extraction de données réalisée d'après la base *datacentermap.com* donne un aperçu du nombre de centres de données recensé pour ces acteurs dominant le marché de l'hébergement des données numériques, même si des disparités existent entre les nombres annoncés par les acteurs eux-mêmes et les chiffres extraits de la base (*Data center map*, 2024). Le nombre de pays dans lesquels sont implantés les centres de données renseigne également sur les capacités de projection de l'opérateur en termes de distribution des services proposés, même si l'échelle

⁸⁰ La consommation énergétique mondiale des centres de données *hyperscale* est estimée à environ 80 TW en 2019, contre environ 340 TW pour l'ensemble des autres centres de données (*The shift project*, mars 2021, p. 20).

⁸¹ Cf. références « Localisation des centres de données des GAFAM » en bibliographie, non traité dans ce mémoire.

⁸² "*Hyperscalers sell cloud computing Services. Cloud computing refers to data Storage and processing compute available on-demand from hyperscalers who own the equipment in colocation data centres.*" (CBRE, 2024, p. 13), qui peut être traduit par : « Les *hyperscalers* vendent des services d'informatique en nuage (*cloud computing*). L'informatique en nuage se réfère au stockage et au traitement de données informatique disponibles à la demande auprès des *hyperscalers*, qui possèdent les équipements informatiques dans des centres d'hébergement de données de colocation. »

d'action de l'opérateur peut être plus large que le nombre de pays dans lesquels des centres de données sont implantés⁸³.

Opérateur	typologie	Nb de <i>data centers</i> actif / total à venir	Nb pays d'implantation
Amazon web service	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	206 / 291	19
Google Cloud	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	27 / 39	11
Microsoft Azure	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	30 / 63	12
IBM Cloud	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	Pas de données	
Oracle	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	Pas de données	
Alibaba	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	Pas de données	
Tencent	Acteur <i>hyperscale</i> , offres de <i>cloud computing</i>	Pas de données	
OVHcloud	Hébergeur de données en colocation et prestations de <i>cloud computing</i>	23	7
Digital Realty	Hébergeur de données en colocation	248 / 256	24
Equinix	Hébergeur de données en colocation	268 / 271	33
Data4	Hébergeur de données en colocation	8 / 9	6
Global Switch	Hébergeur de données en colocation	14 / 15	8
Scaleway	Hébergeur de données en colocation	Pas de données	
Virtus	Hébergeur de données en colocation	11	2
Ark	Hébergeur de données en colocation	Pas de données	

Figure 9 : centres données référencés pour les grands acteurs de l'hébergement de données en 2024 dans le base *datacentermap.com* (*Data center map*, 2024). Données extraites le 20/08/24.

Considérations internationales

À l'échelle mondiale, les chiffres bruts utilisés diffèrent en fonction des bases de données et des critères de comparaison retenus (nombre de centre de données recensé, surface d'emprise au sol, puissance électrique installée). Malgré la difficulté d'obtenir des sources fiables (Carnino & Marquet, 2018, p.23), il est

⁸³ La distribution des offres de services en *cloud computing* à l'échelle mondiale s'appuie sur une architecture organisée par les plateformes en grandes régions géographiques (« *cloud regions* »), organisées autour de centres de données interconnectées via des réseaux à haute vitesse, au sein desquelles sont réparties des « zones de disponibilités » (« *local zones* »). Les zones de disponibilités locales distribuent les ressources de calcul et de stockage auprès des utilisateurs finaux et permettent une réduction de la latence sur le principe de l'Internet en périphérie (*edge computing*), tandis que la connection des zones locales aux grandes régions *cloud* permet un accès au panel d'offre global de la plateforme. Une troisième typologie de centre de données est évoquée dans la base de données *cloudinfrastructuremap.com* sur la connectivité *cloud* : les infrastructures « *on-ramps* », ou infrastructures d'accès, centrées sur les transferts de données gros volumes et la connectivité proposée aux entreprises dans le cadre de prestations de services pour se relier au *cloud*. Cette organisation d'infrastructure rejoint les problématiques d'optimisation de l'organisation des réseaux évoquée en note 30 sur les *CDN* (*Content Delivery Network*). Ce sujet n'est pas abordé dans le mémoire mais en cerne les grands contours permet une représentation du fonctionnement des centres de données dans l'Internet mondial. Voir « *Regions Cloud* et zones de disponibilités » dans les sources.

permis de dégager quelques tendances, avec par exemple le chiffre de 40 % des plus grands *data centers* mondiaux situés aux États-Unis en 2017 (Gomart, 2021, p. 168), et la France quatrième, ou cinquième, pays au monde du point de vue de son parc de *data centers*, avec 244 installations, derrière les États-Unis (2092), le Royaume-Uni (405) et l'Allemagne (342) (Carnino et Marquet, 2018, p. 37). Un article de *Science*, basé sur la consommation énergétique des centres de données à l'échelle du globe, donne de grandes tendances régionales avec, par ordre croissant de grandeur, en 2020 : l'Amérique du Nord, comptant pour 38 % de consommation mondiale, l'Asie-Pacifique, comptant pour 30 %, l'Europe de l'Ouest, 18 %, puis les régions Europe orientale, Moyen-Orient, Afrique et Amérique latine, 14 % (Science, 2020, p.3).

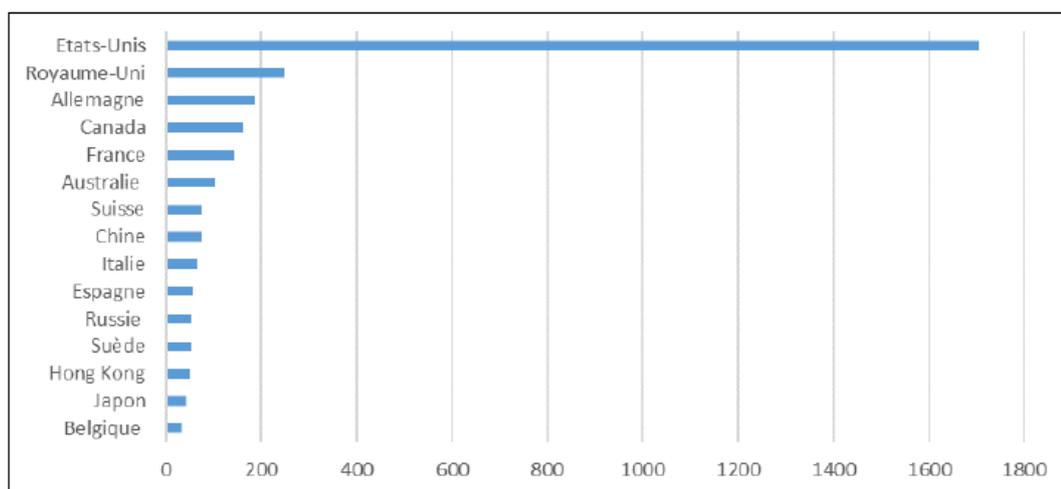


Figure 10 : nombre de data centers par pays en 2017 (Gomart et al., 2018, p. 16). Données extraites par l'auteur de la base de données *datacentermap.com*.

À l'échelle internationale, outre les données qui semblent manquantes pour intégrer la Chine dans les analyses, des auteurs considèrent, en plus des facteurs économiques évoqués plus haut, des considérations géostratégiques sur la localisation des centres de données, intégrant la géopolitique des données et rejoignant des considérations d'ordres stratégiques et sécuritaires (Cattaruzza, 2019, p.75-76). Depuis l'affaire Snowden, et même avant, héberger la donnée chez soi est une tentative de réponse à la très forte domination des GAFAM. Cette réponse est mise en œuvre par de nombreux États, conduisant à une régionalisation des centres de données à l'échelle de la planète depuis le début des années 2000, et illustrée par les stratégies russes et chinoises d'hébergement des données à domicile. En juillet 2014, la *Douma*, chambre parlementaire russe, vote une loi sur la localisation des données obligeant les diffuseurs web à stocker sur le territoire russe toutes les données liées aux citoyens russes qui sont accessibles dans le pays. À partir de 2015, la Russie se lance dans la construction de centres de données de grande ampleur en Sibérie, complétant l'arsenal existant le long des voies du transsibérien, suivant la dorsale Internet terrestre *TEA (Transit Europe Asia)* qui relie Saint-Pétersbourg à Vladivostok, dans ce qui ressemble à une stratégie du « territoire disque dur » (Limonier, cité par Cattaruzza, 2019, p. 79). À défaut de valoriser commercialement ses données, la Russie les préserve de la captation par les GAFAM, et met en place une architecture qui pourra être mobilisée pour héberger les données de pays environnants (Caucase, Républiques d'Asie Centrales voire Chine), et prépare ainsi une possible extension de la zone d'influence russe.

En Europe, le règlement général sur la protection des données (RGPD) s'applique par principe à toutes les données stockées sur le territoire de l'UE et les

protège de l'extraterritorialisation, même si nous avons vu que des conflits de juridiction existent avec les étendues du *Cloud act* américain. Les notions de *Cloud souverain* ou *cloud de confiance* sont reprises par des hébergeurs dans leurs propositions commerciales, mentionnant l'hébergement des données sur le territoire et la garantie de sécurité juridique qui y est associée. *OVHcloud* valorise par exemple la certification *secNumCloud* comme atout pour choisir le lieu d'hébergement des données dans ses offres commerciales et sa stratégie de développement (*OVHcloud*, 6 octobre 2022). Des raisons plus techniques peuvent aussi expliquer la régionalisation des centres de données, avec par exemple la mobilisation d'un climat de région froide, comme en Amérique du Nord (Canada, Nord-Ouest des États-Unis), au Nord de l'Europe ou Sibérie, permettant de faire baisser la dépense énergétique liée au refroidissement des machines en mobilisant l'air extérieur dans le système de ventilation (Bakis, 2013). D'autres techniques de refroidissement existent, avec le refroidissement par eau (*water cooling* qui succède au *air cooling*), offrant de meilleures performances énergétiques et permettant de nouvelles opportunités d'implantation. Les géants du numérique comme *Google* semblent capables de développer des stratégies d'implantation propres et construisent des centres de données « *hyperscale* », avec par exemple des implantations en milieu chaud et sec, mobilisant l'énergie solaire et le refroidissement par eau pour faire fonctionner le centre. En 2006, *Google* crée son premier centre de données à *The Dalles* dans l'Oregon, dans le Nord-Ouest des États-Unis, et présente celui-ci comme la « combinaison adéquate en ce qui concerne les infrastructures énergétiques, les terrains aménageables et la main d'œuvre disponible dont le centre de données a besoin ». Le site est situé le long de la rivière Columbia, à proximité d'une centrale hydro-électrique mobilisée par le *data center* (Bakis, 2013, 23, 54-56). Ce centre de données « *hyperscale* » mobilisant l'énergie solaire et le refroidissement par eau, est annoncé comme « *carbon-free* », c'est-à-dire n'émettant pas de gaz à effet de serre (GES) dans ses opérations courantes. Ce site à l'architecture sécurisée bénéficie de six niveaux de protection pour accéder aux données, et emploie 200 personnes (*Google*, 2024a).

De la transversalité et la centralité des GAFAM

Plusieurs facteurs structurels bénéficiant aux GAFAM peuvent être invoqués pour expliquer leur extension spectaculaire dans l'économie des services numériques : la convergence technologique, la dérégulation des marchés, la financiarisation de l'économie et la mondialisation des espaces d'expansion ouverte par l'universalité du réseau Internet (Smyrniotis, 2016, p. 63-69). La convergence technologique est un processus de rapprochement entre secteurs autrefois distincts, théorisé dans les années 1970 par Nicholas Negroponte, informaticien professeur et chercheur au *MIT (Massachusetts Institute of Technology)*, fondateur de l'Unité de recherche du *MIT Media Lab*. Cette convergence est à l'œuvre dans le secteur des technologies de l'information et de la communication, avec une concentration « horizontale » d'activités liées à l'informatique, les médias, la télécommunication et les industries culturelles. Elle se manifeste au début des années 2000 par d'importantes vagues de fusions et d'acquisitions, comme *AOL (America Online)*, pionnière des services en ligne, qui fusionne avec *Time Warner*, conglomérat américain dans le secteur des médias et divertissements⁸⁴. Elle se poursuit ensuite dans l'ensemble des segments d'activités liées aux services numériques. Ce

⁸⁴ *AOL* est aujourd'hui propriété de *Verizon*.

phénomène de convergence est accentué par le processus de déréglementation du secteur des télécommunications aux États-Unis, en Grande-Bretagne et dans l'Union Européenne, conduisant à la privatisation de structures publiques d'administration du réseau et faisant passer l'infrastructure technique aux mains d'un petit nombre d'opérateurs privés. Alors que le gouvernement américain a su réduire et même casser les situations de monopole qu'il estimait contraire à la liberté d'entreprendre dans le domaine du pétrole et de l'industrie à la fin du 19^e siècle, en s'appuyant sur le *Sherman Anti-trust act* de 1890, les tribunaux ont depuis les années 1980 progressivement délaissé le secteur des télécommunications et affaibli les règles anti-monopolistiques. Si les premiers jugements rendus contre *AT&T* et *IBM* dans les années 1980 conduisent à certaines séparations structurelles, dégroupements de produits stratégiques ou concessions de licences brevetées à la concurrence, ils sont peu suivis de conséquences structurelles à mesure que l'influence des géants du numérique augmente. La défense du « *consumer welfare* » (bien-être du consommateur) et de l'innovation sont à l'origine les deux arguments principaux évoqués dans la loi anti-trust de 1890 pour justifier un interventionnisme étatique dans le domaine économique permettant de lutter contre les *trusts*. Ces deux principes visent à prévenir le développement d'éventuels tarifs « confiscatoires » mis en place par des entreprises en situation de monopole, et à favoriser la libre concurrence en permettant à des entrepreneurs de se lancer sur un marché grâce à leur inventivité. Sous l'administration Reagan (1981-1989), le « *consumer welfare* » devient l'angle d'approche principale de la *Federal Trade Commission (FTC)*, commission fédérale du commerce, instance chargée de l'application de la lutte contre la concurrence et de l'application des lois anti-trust. La centralité de ce principe dans les prises de position de la FTC affaiblit la lutte contre les monopoles, car les plateformes d'intermédiations proposent des services gratuits pour le consommateur, qui ne sont donc pas interprétés a priori comme défavorables à celui-ci. *Microsoft*, accusé de monopoliser le marché des navigateurs Internet à son profit en intégrant son propre navigateur *Internet explorer* au sein de son système d'exploitation, mobilise cet argument comme élément de défense en 1990 (Coehlo, 2023, p. 60). La défense de l'innovation technologique, deuxième cheval de bataille du *Sherman Anti-trust act*, est également mise à mal par l'intégration technologique proposée par les géants du numérique. Celle-ci semble être une condition de l'innovation dans des domaines de haute technicité, et offre un argument de plus aux plateformes numériques pour s'opposer aux loi anti-trust. Le codéveloppement de programmes et applications par les géants du numérique, parfois en partenariat avec les services de la Défense américaine, comme ce fut le cas pour l'application *Google earth*, révèle également le poids stratégique pris par les géants du numérique, limitant les capacités d'action des partisans anti-trust, voire plaçant le gouvernement américain lui-même dans une situation de dépendance vis-à-vis des géants de la *Big tech* (Coehlo, 2023, p. 142, p. 229-246).

Du point de vue des réseaux de télécommunication, le *Telecommunication Act* de 1996 aux États-Unis instaure l'ouverture des marchés des infrastructures de télécommunication, sur un principe d'interopérabilité des réseaux et de libre concurrence. Il est ensuite imité dans de nombreux pays. Le nombre d'acteurs intervenant sur le secteur augmente, passant de 14 à 166 entre 1990 et 2018, mais la part des opérateurs publics dans le capital diminue, pour représenter moins de 1% en 2018 (Blanc, 2018, p. 35). La *Federal Communications Commission (FCC)*, agence de régulation américaine dans le secteur des télécommunications et communications numériques existant depuis les années 1930, est elle-même nettement sous contrôle et influence des intérêts privés, dans une logique de

« participation populaire » (*rep by pop*) propre aux États-Unis, dans laquelle la régulation se fait par une implication forte de la population et du secteur marchand (Joachim, 2014, 17, 18). Dans la gestion des réseaux comme dans l'économie, le principe de l'autorégulation s'applique, consistant à faire confiance aux acteurs industriels et aux instances de normalisation et régulation pour définir et appliquer les règles, sans être soumis à la seule réglementation externe imposée par le gouvernement. Les GAFAM acquièrent une puissance financière très importante. Le chiffre d'affaire de *Google* passe de 6 à 66 milliards de dollars en 10 ans, entre 2005 et 2014. La même année, les chiffres d'affaires des autres majors sont de 182 milliards pour *Apple*, 12,6 milliards pour *Facebook*, 90 milliards pour *Amazon*, 87 milliards pour *Microsoft*. Les marges bénéficiaires nettes sont de plus de 20 milliards dans les années 2015 pour chaque membre des GAFAM sauf *Amazon*, qui n'engendre pas de bénéfice sur ces années (Smyrnaio, 2016). La création de *holding*⁸⁵ rationalise la gestion des activités multi secteurs des plateformes. La *holding Alphabet* permet à *Google* de dépasser les 500 milliards de capitalisation boursière sur l'ensemble de ses activités en 2015. Les capitalisations boursières, représentant la valeur totale des actions d'une entreprise sur le marché, vont en 2015 de 295 milliards de dollars pour *Facebook* à 646 milliards pour *Apple* (Smyrnaio, 2016), puis en 2018 de 464 milliards pour *Facebook* à 851 pour *Apple*. Aujourd'hui, les capitalisations boursières des GAFAM vont de 800 à 3 000 milliards de dollars. Cette puissance financière renforce les capacités d'action et de projection des acteurs. Les géants du numérique acquièrent des situations à tendances monopolistiques et étendent leurs activités au niveau mondial. Ils développent des stratégies de concentration horizontale par le rachat de concurrents sur un même segment et de concentration verticale, en s'implantant sur la chaîne de valeur de la plupart des segments qui composent le marché de l'Internet. Les six segments de l'infrastructure matérielle et logicielle nécessaires à l'acheminement de contenus et de services numériques vers les internautes sont : les équipements informatiques, les systèmes d'exploitation, les logiciels applicatifs, les services en ligne (courrier électronique, messagerie instantanée, réseautage social, recherche en ligne et téléchargement de contenus payants, cœur de métier des GAFAM), les réseaux de télécommunications et les *data centers*. Chacun de ces secteurs fait l'objet de stratégies d'intégration par les grandes plateformes d'intermédiation, avec parfois quelques spécificités. *Apple*, par exemple, externalise les activités de production d'équipements pour se concentrer sur les activités de services jugées plus rentables. Concernant les équipements informatiques, des rapprochements sont opérés avec les firmes asiatiques ou états-uniennes dominantes telles que *Sony*, *Samsung*, *Lenovo*, *Huawei*, *LG*, *Xiaomi*, *HP*, *Asus*, *Acer* et *Dell*, conduisant à l'installation par défaut des systèmes d'exploitation *Windows* (*Microsoft*) sur de nombreuses machines. Le segment des systèmes d'exploitation est dominé par *Microsoft* et *Apple* pour les ordinateurs et *Google* et *Apple* pour la téléphonie mobile, avec le système d'exploitation *Android* (*Google*) représentant 57 % des parts de marché en 2016 contre 37 % pour le système *iOS* (*Apple*). Sur le segment des équipements mobiles, en progression par rapport aux ordinateurs, face à la domination d'*Apple*, *Google* achète *Motorola* en 2011, *Microsoft* acquiert la division téléphones de *Nokia* en 2014 et *Amazon* est leader du marché des liseuses avec *Kindle*. Si les opérations de rachat d'équipementiers ne sont pas toujours couronnées de succès, l'implantation des GAFAM est globalement forte dans le segment (Smyrnaio, 2016, p. 74-75).

⁸⁵ Dans une *holding*, les activités sont réparties en filiales selon les secteurs d'activités, permettant des stratégies plus ciblées.

Concernant les centres de données, ceux-ci sont la condition *sine qua non* pour faire fonctionner l'ensemble des activités des groupes. Des centres de données géants sont construits, notamment par *Google*, *Microsoft* et *Amazon*, qui détiennent environ un million de serveurs actifs en 2016. *Facebook* et *Apple* en détiennent plus de deux cent mille chacun cette même année. La mobilisation des centres de calcul est nécessaire pour faire tourner les applications et héberger les données, et *Amazon Web Services* se positionne comme premier acteur mondial en tant que prestataire sur le secteur auprès des entreprises en 2016, détenant des clients comme *Netflix* ou l'administration des États-Unis. Concernant les réseaux de télécommunication et fournitures d'accès, un petit nombre d'opérateurs américains (*AT&T*, *Verizon*, *Sprint*, *T-Mobile* et *America Movil*), européens (*Vodafone*, *Orange*, *BT*, *Deutsche Telekom*, *Telefonica*) et asiatiques (*China Mobile*, *NTT*, *Softbank*, *China Telecom*) sont bien établis à l'échelle mondiale. *Google* participe à la mise en place du réseau de fibre optique terrestre aux États-Unis. L'entreprise dispose également d'une licence lui permettant d'exploiter le réseau mobile virtuel de *Sprint* et *T-Mobile*, et de proposer des offres d'accès mobile Internet à ses clients (Smyrnaio, 2016, p. 73-79). À une plus large échelle, nous l'avons vu, l'investissement massif des GAFAM, notamment *Google* et *Facebook*, dans les câbles sous-marins, prolongent ces dynamiques à une vaste échelle.

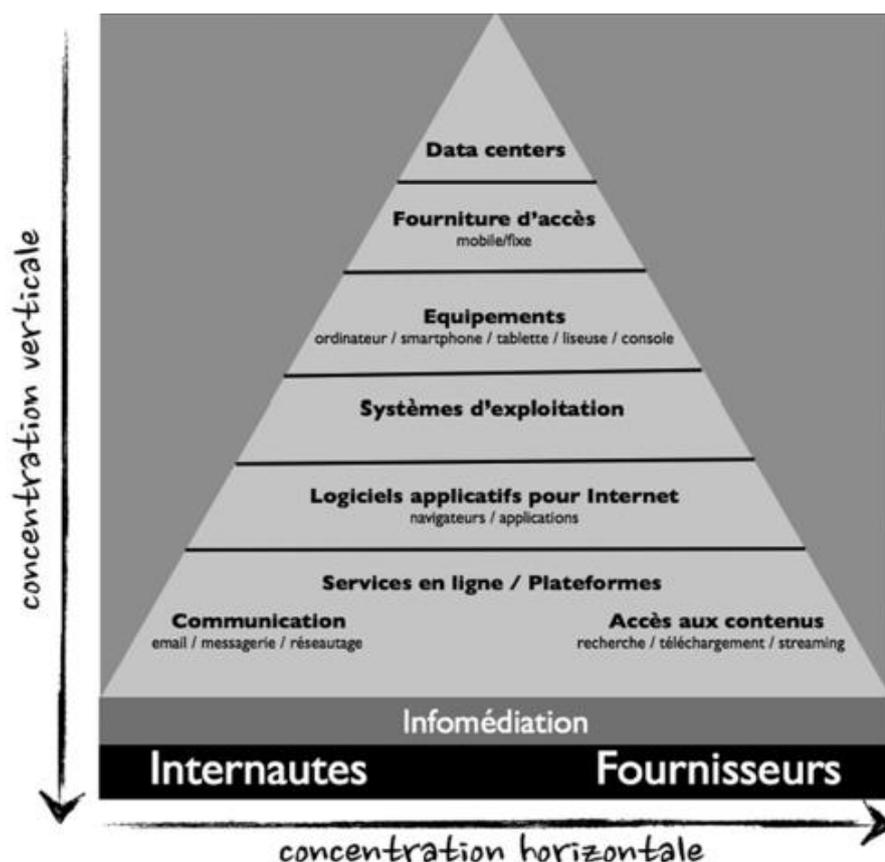


Figure 11 : Logique d'intégration et d'infomédiation de l'oligopole de l'internet (Smyrnaio, 2016, p. 74).

PARTIE III : LES ENJEUX DE LA TRANSITION NUMERIQUE

A. LE NUMERIQUE, PROBLEME OU SOLUTION DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ?

A1 – Evaluer les impacts du numérique

Eléments généraux

Les impacts écologiques du numérique peuvent être considérés et évalués au regard de plusieurs critères. Les plus couramment abordés au niveau global sont la production chiffrée sur les gaz à effet de serre émis sur l'ensemble du cycle de vie des équipements et la consommation d'électricité liée à l'utilisation du numérique (Cellard & Marquet, 2023, 61), même si cet élément ne constitue pas à proprement parler un indicateur écologique (*Green-IT*, 2024). C'est également sur ces éléments que communiquent le plus les opérateurs de l'hébergement de données et acteurs *hyperscale* du *cloud computing* dans leurs rapports RSE⁸⁶ (*Google*, 2024b ; *Digital Realty*, 2024d). D'autres impacts sont également évoqués à l'échelle globale, comme les effets environnementaux liés à l'extraction de ressources, et en particulier les minerais, nécessaires au fonctionnement des terminaux et infrastructures du numérique, ou la consommation d'eau pour produire les équipements informatiques et faire fonctionner les centres de données (*Green-IT*, 2024). En termes d'aménagement du territoire, il existe également des contraintes plus spécifiques sur l'artificialisation des sols, l'intégration sociale des centres de données (Cellard & Marquet, 2018) et des risques de pollution ou nuisance lié à l'implantation de ceux-ci, comme par exemple la création d'îlots de chaleur urbains, qu'il convient d'intégrer dans les problématiques de développement locales (APR, 2023, p. 68). Le numérique peut également avoir d'autres impacts, sur les interrelations humaines et le développement social, psychique ou cognitif des individus, que nous n'aborderons pas ici.

Une difficulté couramment évoquée pour aborder les impacts environnementaux du numérique est l'effet « invisible » ou déportés des conséquences de celui-ci, les effets générés étant souvent éloignés des utilisateurs et par conséquent loin de leurs représentations. De plus, les gains d'efficacité énergétique bruts dans la production et la gestion des équipements et infrastructures de télécommunication, ainsi que l'augmentation des fonctionnalités et capacités de stockage et de traitement tendent parfois à masquer les effets de la massification de leur utilisation. Un « effet rebond », même s'il complique les modélisations, est désormais identifié et intégré dans les analyses (Parasie & Shulz, 2024, p. 23) et études (France stratégie, juillet 2024). Ce phénomène consiste à mobiliser les gains d'efficacité issus de l'amélioration des capacités de traitement et de stockage des données pour générer en retour des usages « inflationnistes » aux forts impacts environnementaux. Ce type de mécanisme est bien connu dans le domaine de l'industrie, avec de nombreux exemples qui se succèdent depuis le début de l'ère

⁸⁶ Le rapport RSE est une publication officielle retranscrivant les engagements et les résultats de l'entreprise en matière de responsabilité sociale des entreprises.

industrielle⁸⁷. Dans le domaine du numérique, deux autres exemples d'effet rebond peuvent être cités. Les écrans plats ont avantageusement remplacé les écrans cathodiques en termes d'intensités matière et énergie. Pourtant, les écrans plats ont envahi de nombreux espaces où n'existaient pas d'écran cathodique auparavant (dans les voitures, sur les téléphones, à la place des panneaux publicitaires etc.) contribuant à augmenter l'impact environnemental global de ce type d'équipement (Vidal, 2018, 15). Un autre exemple d'effet rebond est celui de l'efficacité des batteries de téléphones, dont la puissance a augmenté d'environ 50 % en cinq ans dans les années 2010. Pourtant la fréquence de rechargement est restée globalement constante, à cause de l'utilisation d'applications et de programmes plus nombreux et plus énergivores. On a donc une augmentation de la dépense énergétique, invisible pour l'utilisateur, qui résulte de l'inflation des usages et illustre les paradoxes de l'effet rebond (*The shift project*, 2021, p. 20). Il existe ainsi un constat et un sentiment globalement partagé que « l'efficacité énergétique issue du progrès technologique ne parvient pas à compenser l'augmentation des usages » (*The shift project*, mars 2021). C'est à ce titre que le *Shift project* alerte sur le déploiement d'un réseau de connectivité 5G non maîtrisé sur le territoire. Alors que cette technologie est plus efficiente énergétiquement que la technologie 4G, l'inflation des usages qu'elle sous-tendrait, si ceux-ci ne sont pas encadrés ou rationalisés, aboutirait à alimenter un « effet rebond » et à une augmentation des impacts environnementaux.

Concernant les impacts du numérique, considérés à l'échelle mondiale, c'est bien l'augmentation du nombre de terminaux, au premier rang desquels les objets connectés et les téléviseurs, qui porte les principales augmentations des impacts du numérique entre 2010 et 2024 (*Green-IT*, 2024). Les nouveaux usages (vidéos en ligne, intelligence artificielle, minage de cryptomonnaie⁸⁸, objets connectés, généralisation du *cloud computing* chez les entreprises et les particuliers, Internet des objets industriels⁸⁹), souvent favorisés par les nouvelles connectivités, engendrent également une augmentation forte du volume de stockage des données, vis-à-vis de laquelle il est permis de s'interroger, même si la fabrication et le fonctionnement des réseaux et *datas centers* ne comptent pas pour l'instant, loin s'en faut, parmi les acteurs les plus consommateurs en ressources de l'écosystème numérique.

Une prise de conscience des impacts du numérique sur l'environnement

Les promesses du numérique dans les années 1980 portent sur une réduction de l'utilisation de matières premières comme le papier et la baisse des déplacements. Ces prédictions ne se sont pas toujours matérialisées. Le commerce électronique

⁸⁷ Le « paradoxe de Stanley Jevons » fait le constat que moins une machine est consommatrice d'énergie, plus son usage augmente, entraînant non pas une diminution globale du combustible consommé mais une augmentation. Ce phénomène est constaté dans l'usage des machines à vapeur et automobiles tout au long des 19^e et 20^e siècles, avec des gains d'efficacité permanents depuis l'invention du moteur à explosion mais une augmentation continue des émissions globales de CO₂ dus à l'automobile pendant les 150 ans qui suivent, avec la massification du parc automobile mondial (Gomart, 2021).

⁸⁸ Le cryptominage mobilise des techniques de calcul haute performance pour vérifier et ajouter des enregistrements de transactions (blocs) dans un registre public appelé « blockchain », socle de monnaies virtuelles appelées cryptomonnaies.

⁸⁹ L'« Internet des objets industriels » (*IIoT- Industrial Internet of Things*), est l'application de l'Internet des objets à des fins de pilotage industriel. La mobilisation de technologies embarquées au sein des différents maillons d'une chaîne logistique permet une connectivité des objets entre eux et une gestion « agile » du système globale, assistée par la puissance de calcul des ordinateurs.

engendre par exemple une augmentation massive de l'utilisation du carton et le trafic routier continue d'augmenter. Des prises de conscience émergent à partir des années 2000 sur les pressions exercées par le numérique sur les ressources. Des groupes comme Eco-Info du CNRS ou le collectif *Green-IT*⁹⁰ appliquent aux produits et services numériques l'approche globale proposée en 2002 par la norme internationale ISO 14062 relative à l'écoconception des produits et services. L'approche globale, pour un service considéré, consiste à intégrer l'ensemble des équipements mobilisés dans celui-ci et le cycle de vie de chacun de ces équipements, avec les phases de production, de transport, d'utilisation et de fin de vie. Une pluralité d'impacts environnementaux peuvent être étudiés, comme la production de gaz à effet de serre, identifiée comme le principal moteur des changements climatiques en cours, ou encore l'épuisement des ressources abiotiques⁹¹ et la consommation d'eau (APR, p. 70). Le groupe de réflexion sur la transition énergétique *The Shift project*, soutenu par l'Agence française de développement et la Caisse des dépôts, publie en 2018 une étude intitulée « *Lean ICT - pour une sobriété numérique* », actualisée en mars 2021 par une note d'analyse intitulée « *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G* ». Ces rapports du *Shift project* alertent sur l'impact énergétique croissant du numérique à l'échelle mondiale et établissent des prospections tenant compte de scénarios d'usages, tout en promouvant la sobriété comme clé de limitation de l'augmentation de l'impact carbone du numérique.

Face à l'aspect énergivore et à la progression constante des problématiques environnementales liées au numérique, le législateur s'intéresse au marché de l'audiovisuel à travers deux agences : l'ARCEP, Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, et l'ARCOM, Autorité de régulation des communications audiovisuelles et numériques. La « fragmentation organique » du cyberspace, évoquée en première partie en raison de sa dualité matérielle et virtuelle, se retrouve ici. L'ARCEP a la charge de réguler le marché des communications électroniques, qui comprend la gestion des infrastructures matérielles du numérique. L'ARCOM est compétent dans la régulation des communications audiovisuelles numériques. Depuis 2021, l'ARCEP et l'ARCOM disposent de prérogatives nouvelles pour promouvoir la protection de l'environnement dans le numérique, qui se limitent essentiellement à de l'évaluation environnementale visant à la sensibilisation des acteurs. Ces prérogatives sont établies à travers deux lois : la loi n° 2021-1485 du 15 novembre 2021 visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France (loi REENF), qui est la première à introduire en France la notion « d'empreinte environnementale », et la loi n° 2021-1775 du 23 décembre 2021 visant à renforcer la régulation environnementale du numérique par l'ARCEP. Il s'agit de mobiliser la société civile dans une dynamique de « co-création » de la norme environnementale, suivant les orientations de l'Union Européenne qui s'inscrit dans la promotion d'une « croissance verte » (Taïar, 2024, 3, 9). Ainsi, c'est le principe de la « régulation » plus que de la réglementation qui se dessine. L'empreinte environnementale est un outil d'aide à la décision, visant à mesurer l'impact général des activités humaines

⁹⁰ Fondé par le développeur et consultant Frédéric Bordage en 2004 et porté par un collectif d'experts indépendants, le *Green-IT*, ou *greenit.fr*, est une association engagée dans les démarches de sobriété numérique et du numérique responsable. Le *Green-IT* publie une étude sur l'empreinte environnementale du numérique mondial en octobre 2019, dont la version en ligne est mentionnée dans ce mémoire (*Green-IT*, 2024), et une étude sur le numérique en France le 17 janvier 2021. Le *Green-IT* publie également un ensemble d'ouvrage sur l'éco-conception des services numériques et la sobriété.

⁹¹ Une ressource ou milieu abiotique est une ressource naturelle non transformée par l'homme, impropre à la vie. Il existe des ressources abiotiques fossiles (gaz, pétrole), ou non-fossiles, comme les minerais.

sur l'environnement sur la base d'indicateurs déterminés. Le renforcement de la connaissance est une des missions confiées à l'ARCEP, à travers la collecte de données. C'est une première étape avant une éventuelle régulation, qui reste hypothétique. Par la décision n° 2022-2149 en date du 22 novembre 2022 relative à la collecte annuelle des données environnementales, les opérateurs de communications électroniques, les centres de données et les fabricants d'équipements terminaux sont tenus de fournir des informations environnementales à l'ARCEP, passé un seuil de chiffre d'affaire fixé à 10 millions d'euros ou un nombre d'abonnements supérieur à 3 millions. La communication des informations est une obligation, passible de sanction en cas de refus, qui s'applique uniquement aux activités exercées sur le territoire français (Taïar, 2024, 23, 26, 27). Si ces mesures excluent de fait une large part des activités des grandes plateformes numériques, et n'intègrent pas les usages qui sont faits des terminaux par les utilisateurs, elles constituent une première étape dans l'évaluation des impacts du numérique. Les mesures de l'ARCEP peuvent être prolongées par l'ADEME, Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie, qui intervient pour des analyses de plus large échelle. La collaboration des deux agences est institutionnalisée dans la loi REENF avec la création de l'Observatoire des impacts environnementaux du numérique, et aboutit à la publication d'une évaluation de l'impact environnemental du numérique en France en mars 2022 intégrant douze critères écologiques⁹². Cette étude est complétée en janvier 2023 par une analyse prospective à l'échelle 2023 et 2050 proposant quatre scénarios d'évolutions s'inscrivant dans les objectifs de neutralité carbone. La publicité des données collectées et l'information du public sur ces sujets visent à responsabiliser les usages de consommateurs éclairés et inciter les acteurs du numérique à optimiser leurs performances environnementales. La loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire aboutit également à la publication de guides, comme le référentiel général de l'écoconception des services numériques à destination des fournisseurs de services numériques, à la mise en place d'indices de réparabilité visant à favoriser l'allongement de la durée de vie des appareils, à l'incitation des diffuseurs de contenus à sensibiliser sur les impacts de la vidéo en ligne et à des obligations d'information sur les caractéristiques environnementales de certains produits (Taïar, 2024, 39). Cette approche est une réduction des objectifs initiaux de la loi REENF, qui se voulait à l'origine contraignante. Ce recul illustre la difficulté de s'extraire du contexte international. Les législateurs considèrent en effet que l'échelon le plus adapté pour appliquer des normes est celui du marché européen, à la fois parce le droit français ne peut contraindre des fournisseurs de services numériques établis hors de France à respecter des règles qui ne s'intègrent pas dans leur pays d'origine, et parce qu'ils craignent de pénaliser les acteurs français sur le territoire national pour des gains environnementaux considérés comme faibles (Taïar, 2024, 56).

Evaluer les impacts du numérique

L'empreinte environnementale du secteur du numérique est difficilement quantifiable, tant à l'échelle nationale que mondiale (Taïar, 2024, 21). Les modèles

⁹² Changement climatique (en émission de gaz à effet de serre, mesuré en kg équivalent CO₂), émissions de particules fines, acidification des sols et de l'environnement, émission de rayonnements ionisants, formation d'ozone photochimique, épuisement des ressources abiotique fossiles, épuisement des ressources abiotique non-fossiles (minéraux et métaux), écotoxicité des eaux douces, Empreinte matériau (MIPS) sur les matières premières, production de déchets, consommation d'énergie primaire, consommation d'énergie finale (ADEME – ARCEP, janvier 2022, p. 28).

d'analyses utilisés dans les études sont basés sur des projections « ascendantes » (*bottom-up*), s'appuyant sur un recensement des appareils et une estimation de leur empreinte environnementale globale obtenue par extrapolation d'après les caractéristiques techniques unitaires. Pour les éléments « structurants », tels que les centres de données et les réseaux, c'est la méthode inverse qui est appliquée, basée sur des variables mesurables caractéristiques de l'activité (volume de données stockées, nombre de requêtes exécutées) et des indicateurs d'intensité environnementaux propres à chaque structure (*the Shift project*, mars 2021, p. 9). Les études sur l'impact du numérique en France de l'ADEME – ARCEP intègrent les quatre étapes du cycle de vie des appareils de la fabrication, du transport, de l'utilisation et de la fin de vie dans l'analyse. Les études de *Green-IT* et du *shift project*, établies à l'échelle mondiale puis nationale pour le *Green-IT*, excluent les phases de transport et de fin de vie, considérées comme marginales en termes d'impact ou difficilement évaluables.

Les études du *Green-IT* et du *Shift project* intègrent l'ensemble du parc numérique mondial (équipements et infrastructures), séparé en trois tiers, avec d'un côté les terminaux utilisés par les utilisateurs, comptant 34 milliards d'appareils en 2019⁹³, les réseaux de distribution de l'information, soit environ 1 milliards de box DSL ou fibre, 10 millions d'antennes relais 2G à 5G et environ 200 millions d'autres équipements actifs réseaux en 2019, et les centres informatiques, représentant quelques milliers de centres d'hébergement de données à l'échelle de la planète, hébergeant environ 67 millions de serveurs en 2019 (*Green-IT*, 2024). L'étude de *Green-IT* de 2019 intègre quatre critères environnementaux principaux, que sont : les émissions de gaz à effet de serre (GES), mesurées en kg équivalent CO₂, l'énergie primaire⁹⁴ (EP), mesurée en wattheure⁹⁵ (Wh) par unité de temps, l'épuisement des ressources abiotiques fossiles et non-fossiles, mesuré en kg équivalent antimoine, et la tension sur l'eau douce, mesurée en litre ou m³. La consommation électrique des équipements, qui n'est pas un indicateur écologique pertinent pour *Green-IT* car dépendant du mix énergétique utilisé pour l'approvisionnement dans l'impact environnemental⁹⁶, est intégré comme cinquième critère pour des raisons de pédagogie. Le site en ligne de *Green-IT* reprend les éléments principaux de l'étude de 2019 (*Green-IT*, 2024), dont une synthèse est proposée en Figure 12. Globalement, les estimations attribuent au numérique entre 2 et 4,3 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre⁹⁷, et tablent sur une possible augmentation de 60 % d'ici à 2060, sur la base des courbes actuelles (Taïar, 2024, 6, 21). Le taux de

⁹³ Globalement répartis comme suit : smartphones (3,5 milliards), autres téléphones (3,8 milliards), dispositifs d'affichages tels que télévisions, écrans d'ordinateur et vidéo-projecteurs (3,1 milliards), objets connectés tels que enceinte Bluetooth, montre, thermostat, éclairage (environ 19 milliards, les chiffres allant de 8 à 30 milliards selon les études). (*Green-IT*, 2024).

⁹⁴ L'Énergie primaire est l'énergie nécessaire pour la fabrication et l'usage du produit intégrant toutes les phases de son cycle de vie (fabrication, transport, utilisation, recyclage).

⁹⁵ Un wattheure (Wh) est l'énergie consommée en une heure par un appareil de 1 watt. 1 Wh équivaut à 3600 joules.

⁹⁶ « La production de l'électricité consommée par les infrastructures induit différents impacts en fonction de la nature de l'énergie primaire utilisée (rayonnement solaire, vent, charbon, uranium, etc.) et du processus de transformation (combustion, réaction nucléaire, etc.). À l'échelle planétaire elle est principalement responsable de l'épuisement des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz, uranium, etc.) et de l'émission de gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement global. » (*Green-IT*, 2024).

⁹⁷ Les estimations du *Shift project* sont de 1,84 Gt eq CO₂ émis par le numérique en 2019 au niveau mondial, ce qui représente 3,5 % des émissions mondiales de GES (*The shift project*, mars 2021). L'étude de *Green-IT* de 2019 avance 1,4 Gt eq CO₂ émis, représentant 3,8 % des émissions mondiales (*Green-IT*, 2024).

croissance des émissions de GES dues au numérique augmente d'environ 6 % par an, avec un risque important de passer à 7 voire 9 % par an à court terme (*The shift project*, mars 2021, p. 14).

Indicateur environnemental	Evaluation mondiale <i>Green-IT</i> 2019
Gaz à effet de serre (GES) (en kg eq CO ₂)	1400 millions tonnes GES eq CO ₂ , soit 3,8 % des émissions mondiales. Tendance : de 738 millions de tonnes eq CO ₂ en 2010 à 2 278 millions tonnes eq CO ₂ estimés en 2025, soit une multiplication des émissions par 3. Passage de 2,2 % de l'empreinte carbone mondiale en 2010 à 5,5 % en 2025.
Energie primaire (EP) (en Wh)	6 800 TWh annuel en 2019 (6,8 millions de GWh), soit 4,2 % de l'EP mondiale. Tendance : de 3 400 TWh en 2010 à 10 000 TWh estimés en 2025, soit une multiplication par 2,9.
Epuisement des ressources abiotiques (en eq antimoine)	22 millions tonnes eq antimoine. Tendance 2010 – 2025 : multiplication par 2,1.
Consommation d'eau douce (en litres / m ³)	7,3 millions de litres d'eau douce, soit 0,2 % de la consommation mondiale Tendance 2010 – 2025 : multiplication par 2,4.
Consommation électrique (en Wh)	1 300 TWh (1,3 millions de GWh), soit 5,6 % de la consommation mondiale. Tendance : de 700 TWh en 2010 à 1900 TWh estimés en 2025, soit une multiplication par 2,1.

Figure 12 : évaluation de l'impact environnemental mondial du numérique en 2019, sur la base des 5 indicateurs environnementaux du *Green-IT*, avec scénarios prospectifs à l'échelle 2030. Chiffres basés sur l'enquête du *Green-IT* 2019 (*Green-IT*, 2024).

Dans la situation actuelle, et dans les scénarios tendanciels et prospectifs, les impacts des trois tiers (utilisateurs, réseaux et centres de données) sont inégalement répartis. Le tiers utilisateurs est le plus impactant dans chacun des indicateurs environnementaux retenus, avec la multiplication des terminaux à l'échelle planétaire. Les évaluations estiment le nombre de terminaux numériques en circulation en 2019 à 34 milliards, pour environ 4,1 milliards d'utilisateurs, soit en moyenne 8 terminaux par utilisateur. Les télévisions sont les premières sources d'impact dans les terminaux, devant les *smartphones* et les objets connectés. Les terminaux représentent 60 % de l'Energie primaire (EP) consommée pour le numérique à l'échelle mondiale, contre 23 % pour les réseaux et 17 % pour les centres de données (*Green-IT*, 2024). Une synthèse de la répartition des émissions est proposée en Figure 13.

	Terminaux	Réseaux	Centres de données
Empreinte carbone	63 %	22 %	15 %
Energie primaire	60 %	23 %	17 %
Conso eau	83 %	9 %	7 %
Ressources abiotiques	75 %	16 %	8 %
Consommation électrique	44 %	32 %	24 %

Figure 13 : répartition de l'empreinte environnementale mondiale du numérique en 2019 entre les terminaux utilisateurs, les réseaux et les centres de données (*Green-IT*, 2024).

Dans le cycle de vie des terminaux, la phase de fabrication est prépondérante en terme d'impacts écologiques. L'étape de fabrication consomme plus d'énergie primaire et émet plus de gaz à effet de serre que la phase d'utilisation. La quasi-totalité des ressources en eau et l'intégralité des minerais et ressources abiotiques extraites sont également utilisés en phase de fabrication. Seule la consommation d'électricité, qui n'est pas un critère environnemental, est équilibrée entre les phases de fabrication et d'utilisation pour les terminaux, estimée à environ 50 % pour chacune des deux phases. Au global, la seule phase de fabrication des terminaux a un impact décisif dans chacun des critères du *Green-IT*, assez loin devant les autres tiers est ainsi responsable de 30 % du bilan énergétique global (énergie primaire)⁹⁸ de l'environnement numérique, 39 % des émissions de GES, 74 % de la consommation d'eau et 76 % de la contribution à l'épuisement des ressources abiotiques.

En France, le poids global du numérique est évalué par l'étude du *Green-IT* de 2021 à 6,2 % de la consommation d'énergie primaire du pays, 3,2 % des émissions de GES françaises, 2,2 % de la consommation d'eau nationale, et responsable de l'excavation de 4 milliards de tonnes de terre. La consommation électrique du numérique en France est évaluée en 2019 à 40 TWh, soit 8,3 % de la consommation électrique nationale, évaluée à 473 TWh (*Green-it*, 17 janvier 2021, p.7). Cette estimation est légèrement inférieure à celle de l'étude de l'ADEME-ARCEP. L'étude du *Green-IT* de 2021 souligne le poids prépondérant de la fabrication des terminaux numériques, dont le nombre est estimé à 631 millions environ en France, dans l'empreinte du numérique français, avec 37 % de l'énergie primaire du numérique français servant à la fabrication des terminaux et générant 76 % des gaz à effet de serre (*Green-IT*, 17 janvier 2021, p. 10).

Selon l'étude de l'ADEME-ARCEP, l'empreinte carbone du numérique s'établit à 17,2 millions de tonnes équivalent CO₂ en 2020, soit environ 2,5 % de l'empreinte carbone nationale. Elle est estimée à 25 millions de tonnes eq CO₂ en 2030 et pourrait être de plus de 49 millions de tonnes eq CO₂ en 2050 selon le scénario tendanciel. La consommation électrique de l'ensemble du numérique en France est estimée à environ 52 TWh en 2020, 54 TWh en 2030 et pourrait atteindre 93 TWh à l'horizon 2050, connaissant une augmentation de près de 80% sur la période 2020-2050 dans le cadre du scénario tendanciel, c'est-à-dire d'après les utilisations actuelles (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 65). La consommation électrique des services numériques en France est estimée à environ 10 % de la consommation électrique totale française, évaluée à 475 TWh, soit l'équivalent de la consommation annuelle de 8 282 000 foyers français. Vingt millions de tonnes de déchets par an sont produits sur l'ensemble du cycle de vie, représentant l'équivalent de 299 kg par habitants (ADEME, 19 janvier 2022, p.3). L'ADEME et l'ARCEP établissent des scénarios prospectifs basés sur un mix énergétique devenu majoritairement renouvelable en 2050. Un scénario tendanciel est proposé comme « étalon », modulé dans le cadre de scénarios différenciés établis sur des options de gouvernance différents. Le premier scénario, « génération frugale », mise sur d'importantes transformations dans les modes de consommation basées sur un principe de sobriété, une systématisation de l'écoconception des outils numériques et une baisse de la consommation énergétique. Un risque de clivage fort voire violent

⁹⁸ Cette part forte de la fabrication des terminaux dans le bilan énergétique global et les émissions de gaz à effet de serre est notamment due à la très forte augmentation du nombre de terminaux numériques, dont le nombre est estimé à 14 milliards en 2010, 34 milliards en 2019, et 68 milliards en 2025, et au mix énergétique des pays producteurs (Asie et pays émergents) encore fortement émetteur de gaz à effets de serre (*Green-IT*, 2024).

au sein de la société, engendré par des mesures contraignantes en vue de la préservation de l'environnement, est identifié. Impact carbone estimé pour ce scénario en 2050 : 9,4 Mt eq CO₂. Le deuxième scénario, « coopérations territoriales », priorise les transformations dans les habitats et les pratiques de vie professionnelles et citoyennes, intégrant les acteurs de la société civile dans des pratiques de partage et de mutualisation, avec un risque envisagé d'effet rebond qui contribuerait à une inflation des usages. Impact carbone estimé en 2050 pour ce scénario : 22,8 Mt eq CO₂. Le troisième scénario, « technologies vertes », parie sur le développement technologique sans modifier fondamentalement les usages, avec une ouverture large d'outils numériques optimisés aux utilisateurs, engendrant possiblement là aussi un fort effet rebond. Dans ce scénario, le recours aux centres de données à forte efficacité énergétique est considéré comme la « pierre angulaire » du dispositif. Impact carbone estimé en 2050 : 48,7 Mt eq CO₂. Ces trois premiers scénarios sont ainsi inférieurs ou égaux au scénario tendanciel, modèle « étalon » en termes d'impact carbone. Le quatrième scénario, curieusement appelé « paris réparateur », fait (presque ?) office d'anti-modèle, et table sur une digitalisation totale de tous les aspects de la vie quotidienne et une virtualisation à l'extrême des interactions humaines, avec un développement des services numériques entraînant une multiplication des équipements et des centres de données imposant le développement d'un important parc d'alimentation photovoltaïque et la mobilisation de la chaleur fatale⁹⁹ des centres de données dans des réseaux de chaleur urbains. Les équipements et objets connectés conquièrent l'ensemble de l'espace public. La communication est massivement axée sur la sensibilisation à l'impact environnemental du numérique et au recyclage, tandis que la société est clivée entre des personnes ayant un accès physique et intellectuel au numérique, et les personnes n'y ayant pas accès. La société est régulièrement l'objet de cyberattaques massives et organisées. Impact carbone estimé en 2050 : 81,1 Mt eq CO₂ (ADEME, mars 2023, p. 98-127). Le rapport constate également les évolutions du marché du numérique. En 2019, les dépenses liées au numérique représentent un marché de 150 milliards d'euros en France, soit 6% du PIB français. C'est plus que les secteurs bancaire (105 milliards d'euros) ou aéronautique (65 milliards d'euros). Le secteur des logiciels et services numériques représente plus de 530 000 postes en France en 2019, articulés autour de cinq leviers de croissance qui semblent s'inscrire dans des tendances lourdes de l'évolution de l'économie française et mondiale : la transformation digitale, qui représente 10,8 % de croissance attendue en 2021, le développement du *Cloud* en conseil et intégration des systèmes d'information (28,1% de croissance attendue en 2021), le traitement *big Data* et services en *cloud computing* (+23,4% de croissance attendue en 2021), l'Internet des objets, mobilisant des antennes relais 5G et les centres de données de périphérie (+21,6% de croissance attendue en 2021), la cybersécurité (+9,2% de croissance attendue en 2021) (ADEME – ARCEP, janvier 2022, p. 14-15).

Face à ces tendances, la promotion des usages vertueux du numérique est encouragée par les agences, à travers un ensemble de campagnes d'information à destination du grand public¹⁰⁰ (ADEME, 19 janvier 2024). La promotion de

⁹⁹ La chaleur fatale est la chaleur excédentaire générée par les équipements informatique des centres de données, considéré comme un « déchet thermique » et qui peut être soit « perdue », c'est-à-dire rejetée dans l'environnement, soit « valorisée », c'est-à-dire mobilisée dans différents usages jugés plus durables comme le chauffage de bâtiments ou la production d'eau chaude.

¹⁰⁰ Exemples d'usages vertueux promus par les agences à destination des particuliers : allongement de la durée de vie des terminaux, promotion du reconditionnement, téléchargement et visionnage de vidéos en basse définition, utilisation du réseau wi-fi plutôt que les réseaux 4G ou 5G lorsque possible, extinction des équipements numérique non utilisés etc.

l'écoconception et l'interopérabilité des solutions s'intégrant dans l'écosystème numérique est faite auprès des professionnels visant le développement de pratiques touchant à l'interopérabilité et la durabilité des programmes et architectures mises en place dans le cadre de sites web, API, plateformes vidéo, logiciels à installer ou services en *SaaS* (ARCEP – ARCOM, mai 2024, p. 5). Ces éléments amènent les analystes, au premier rang desquels se trouvent les auteurs du *Shift project*, à promouvoir la sobriété des usages et une gouvernance du numérique pluri-acteurs, mobilisant les instances de régulation, la société civile et les institutions politiques pour parvenir à une intégration soutenable du numérique sur les territoires (*The Shift project*, mars 2021, p. 41). Le *Shift project* met notamment en garde contre un déploiement non maîtrisé des technologies de connectivités 5G et cible la croissance du parc de *smartphones* (5,5 milliards en 2020), la multiplication des objets connectés et de l'Internet des objets industriels et l'explosion de la consommation de données (26 % de données en plus échangées sur les réseaux par an et 35 % de données en plus stockées dans les centres de données) comme éléments moteurs de la croissance énergétique du numérique (*Shift project*, mars 2021, p. 18).

Nous avons vu en partie I et II les évolutions structurelles de l'Internet. La généralisation des pratiques de *cloud computing* et le développement de *l'edge computing*, pour sécuriser et optimiser la distribution de contenus, contribuent à centraliser le réseau autour de grands *hubs* de distribution de contenus. Au-delà des progrès espérés dans l'utilisation des terminaux numériques et la responsabilisation des usages, qui comptent pour une part importante dans la facture environnementale actuelle du numérique, quels impacts les réseaux et centres de données ont-ils dans un contexte où ils sont amenés à prendre une place de plus en plus centrale ? Les évolutions structurelles en cours peuvent-elles se révéler positives pour l'impact environnemental du numérique ?

Intégrer les changements structurels issus de la croissance de l'utilisation des données

Une étude de *Cisco* identifie en 2018 une augmentation du trafic de données de plus de 20 % sur les réseaux chaque année sur la période 2016-2018 au niveau mondial. Les mêmes projections sont établies par l'Agence Internationale de l'Energie. Les volumes de données stockées dans les centres de données, croissent plus rapidement encore, avec une augmentation de 35 à 40 % par an, ce qui représente environ 1 zettaoctet (10^{21} octets) en 2020. Les *GAFAM* semblent porter logiquement cette croissance, en tant que *leader* sur les marchés des services numériques en *cloud computing*, représentant jusqu'à 80 % du trafic écoulé sur le réseau de certains opérateurs (*The shift project*, mars 2021, p. 18). Un rapport de l'*EDNA (Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks)* prolonge l'étude de *Cisco* en 2019, estimant que 72% des données échangées en 2022 transiteront par des *CDN (Content Delivery Network)* (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 20), confirmant l'importance prise par les réseaux d'optimisation de distribution de contenus. Le rapport prospectif de l'ADEME – ARCEP, tout en promouvant la sobriété dans les usages, acte l'augmentation du trafic des données à venir, porté par des usages en expansion (vidéo en ligne, jeux vidéo, Internet des objets, réalité virtuelle augmentée). L'intelligence artificielle, en développement dans les stratégies d'entreprise, est un marché estimé à 31,2 milliards de dollars, avec 70 % des entreprises prêtes à adopter l'IA d'ici 2023. L'usage de la *blockchain* continue de croître (+48 % par an en moyenne entre 2019 et 2025), avec une valeur

estimée en 2050 à 17 milliards de dollars¹⁰¹. Le marché de l'*Edge computing* (Internet de périphérie) estimé à 2,5 milliards d'euros en 2019, devrait atteindre 13,8 milliards EUR en 2024 soit 41% de croissance par an (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 24-25).

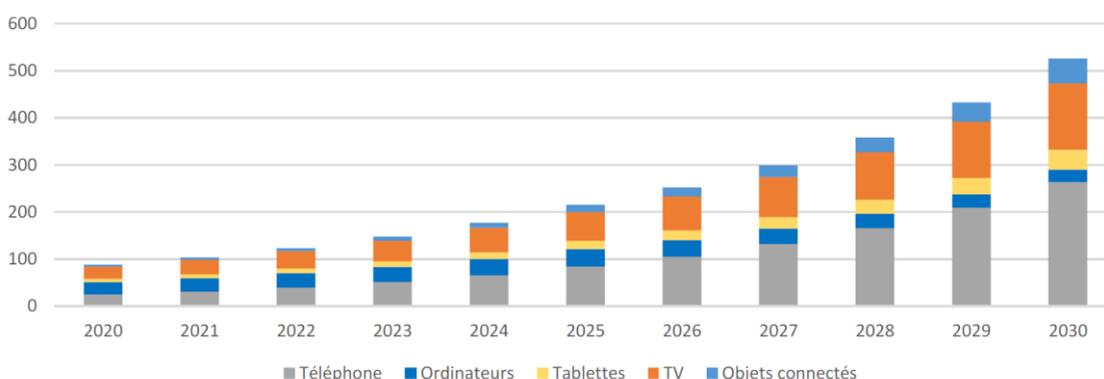


Figure 14 : évolution du trafic IP en France entre 2020 et 2030 par types d'équipement, en exaocet (10^{18} octets). Étude établie par l'ADEME – ARCEP sur la base des projections de l'Agence internationale de l'énergie (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 30).

Sur la base d'une croissance du trafic IP de 20 % par an, une extrapolation à l'échelle française donne 87,86 Eo (10^{18} octets) de données échangées sur les réseaux en 2020 et 526 Eo en 2030, soit une multiplication par six, comme le montre la Figure 14. En 2020, les données passent par les réseaux fixes pour 92,1 % et par les réseaux mobiles pour 7,9 %. En 2030, les données passent par les réseaux fixe pour 72,4 % et par les réseaux mobiles pour 27,6 %, comme indiqué en Figure 15 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 30). Quelles conséquence cette augmentation du trafic des données aura-t-elle sur les répartitions énergétiques entre les trois tiers (utilisateurs, réseaux et centres de données) ?

	2020	2030
Réseaux fixe	80,92 Eo	380,88 Eo
Réseaux mobile	6,94 Eo	145,21 Eo

Figure 15 : circulation des données sur le réseau français en 2020 et 2030 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 29).

Concernant les réseaux. Les modélisations de l'ADEME-ARCEP établies pour la partie fixe des réseaux (câbles et *box* Internet) sont basées sur une connexion fibre, offrant un débit de l'ordre de 1 Gbit/s. Le réseau cuivre (xDSL), basé sur les lignes téléphoniques, est amené à disparaître. Les consommations énergétiques du réseau fixe (boîtiers *Box* et réseau fibre) sont estimées à 4,9 TWh en 2030, et 5,6 TWh en 2050. Les *box* représentent environ 60 % de la consommation du réseau fixe. Pour les connexions mobiles, la connexion 5G est intégrée à partir des projections 2030, en complément des connexions 2G, 3G et 4G qui restent actives. Le nombre d'antennes relais et d'équipements mobiles croît de façon relativement linéaire entre 1995 et 2020, passant sans à-coup de moins de 2 000 à plus 55 000. La tendance est prolongée, avec des estimations à 68 000 supports en 2030 et 108 000 en 2050. Une nouvelle génération de connectivité mobile émergeant tous les dix ans en moyenne, l'hypothèse de la 6G est intégrée à l'horizon 2050, et l'arrêt de l'émission sur fréquences 2G et 3G est envisagée en 2030, et 4G en 2050, rationalisant l'usage du

¹⁰¹ La consommation électrique lié au minage de cryptomonnaie est évalué à environ 130 TWh en mars 2021 (*The shift project*, mars 2021, p. 19).

réseau. La consommation électrique pour le réseau mobile est de 1,64 TWh en 2020, 2,32 TWh en 2030 et 3,92 TWh en 2050 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 55-57).

Concernant les centres de données, les estimations tablent sur une externalisation totale des systèmes d'information des entreprises non liées au marché du digital dès 2030 (0 m² de surface estimée), et des organismes publics locaux et nationaux en 2050 (0 m² de surface estimé pour cette typologie de centre de données). Le type « *cloud* » établi par l'ADEME – ARCEP, regroupant les hébergeurs de données mobilisées dans le cadre de prestation de service de type *cloud*, augmente fortement en superficie, passant de 414 175 m² en 2020 à 894 17 m² en 2030, puis 1 465 206 m² en 2050. Le type *HPC* (calcul haute fréquence) progresse, de 10 800 m² en 2020 à 35 029 m² en 2050. La catégorie « *edge computing* » (Internet en périphérie), mal définie, apparaît en 2030 avec 11 365 m² en 2030 et passe à 509 375 m² en 2050. La consommation électrique globale estimée intègre les progrès environnementaux attendus, établis notamment à travers l'indice du *PUE* (*Power Usage Effectiveness*¹⁰²). Le total des consommations électriques pour les centres de données situés sur le territoire français est évalué à 11,59 TWh en 2020, 16,38 TWh en 2030 et 38,96 TWh en 2050 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 63).

Dans un scénario tendanciel d'évolution, sans modification des usages, l'impact des terminaux utilisateurs reste prédominant à l'horizon 2050. Le poids des centres de données augmente, passant en France de 17% de l'empreinte carbone en 2030 à 22% en 2050. L'impact des réseaux pour sa part, se stabilise en terme d'impact carbone, et diminue en part relative, du fait de la disparition des réseaux cuivre et de la rationalisation de l'usage des réseaux mobiles avec les arrêts progressifs des technologies 2G, 3G et 4G, cumulant deux technologies au maximum en 2050 (5G et 6G). En termes de consommation électrique, ce sont les centres de données qui connaissent la plus forte hausse, passant de 23% de la consommation en 2020 à plus de 42% en 2050. Les réseaux augmentent également leur consommation électrique, avec une différence nette entre la fibre, qui n'engendre pas de surplus global de consommation sur la période mais reste plus élevée que les réseaux mobiles, et les réseaux mobiles, qui multiplient leur consommation par 2,4 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 51-83).

	Terminaux	Réseaux	Centres de données
2020	79 %	5,2 %	15,7 %
2030	79,8 %	3,6 %	16,8 %
2050	75,2 %	2,1 %	22,1%

Figure 16 : comparaison des empreintes carbone des trois tiers en France entre 2020 et 2050 sur la base du scénario tendanciel actualisé de l'ADEME-ARCEP (ADEME – ARCEP, synthèse, janvier 2022, p. 5 ; ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 71, 76).

En ouverture, le scénario qui se dessine, basé sur une optimisation des réseaux et une généralisation des pratiques de *cloud computing* permet, ou non, un usage rationnel de l'Internet. Il est à interpréter différemment selon nos sensibilités. L'hypothèse du « paris réparateur », basé sur une forte augmentation des usages du numérique, se répercute dans les impacts carbone à l'échéance 2050 et l'ensemble des indicateurs environnementaux. Le scénario « génération frugale », à l'inverse,

¹⁰² Le PUE est standardisé par la norme ISO 30134-2 de 2016. Il est défini comme le ratio entre les consommations d'énergie de l'ensemble du centre de données et la consommation d'énergie des équipements informatiques, exprimés sur une période de 12 mois afin de s'abstraire des variations climatiques. (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 62).

tablant sur une sobriété des usages du numérique et une généralisation des pratiques d'écoconception, semble difficilement atteignable sans mesures contraignantes. Il peut toutefois devenir plus familier à mesure que les représentations évoluent à ce sujet, et qu'il est intégré par les aménageurs et décideurs politiques locaux. Le scénario « technologie verte », misant sur les *smart grid* et outils de pilotage intelligents de réseaux pour mobiliser le numérique dans la transition écologique est à débattre, ce que nous ferons plus loin. La solution de la coopération territoriale, réintégrant le numérique dans les représentations des utilisateurs et des décideurs, avec des politiques locales d'intégration de centres de données et la fourniture de services locaux hébergés sur le territoire, semble également une opportunité.

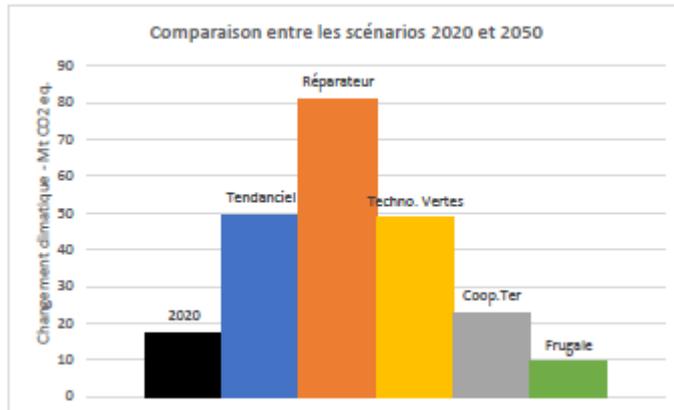


Figure 17 : impacts carbone (en Mt eq CO₂) produit par les scénarios tendanciel et prospectifs de l'ADEME – ARCEP à l'horizon 2050. En noir, la situation actuelle. En bleu le scénario « tendanciel », qui sera atteint sur la base des courbes de croissances actuelles (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 123).

Un autre sujet, moins présent dans nos représentations du numérique, est également appelé à prendre une part croissante dans les scénarios de gestion durable. Il s'agit de la collecte des déchets numériques et le développement des circuits de recyclage. Cette thématique est intégrée dans les scénarios 3 et 4 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 127).

L'extraction de minerais

L'extraction de minerais, nécessaire au fonctionnement des équipements informatiques, engendre des désordres et pollutions lointains, peu intégrées dans les représentations des utilisateurs finaux. C'est une question oubliée de la problématique numérique, même si elle connaît une médiatisation récente (Pitron, 2021), et qu'elle est intégrée dans les préoccupations de l'Union Européenne à travers les politiques d'approvisionnement en minerais stratégiques et les objectifs de normalisation des conditions d'extraction. Cette partie propose un changement d'échelle géographique et de temporalité, et un bref retour sur l'évolution des extractions à l'ère industrielle. L'intégration de la problématique de l'extraction des minerais dans les réflexions sur les impacts du numérique s'inscrit dans une démarche géopolitique et citoyenne du « penser global », qui se gardera toutefois ici d'établir des éléments prospectifs tant le sujet est dépendant de paramètres multiples et interconnectés. Aborder la question de l'extraction des ressources permet également d'aborder le sujet plus diffus de la finitude des ressources, et de prendre de la distance avec l'idée d'un hypothétique « effondrement » du système de production à venir, engendré par un épuisement des ressources. Ce genre de prédiction, plusieurs fois établi, ne s'est pour l'instant jamais vérifié à l'échelle macro-économique¹⁰³ (Vidal, 2018, 2, 8). Cette approche, loin d'inviter à l'innocence, semble être au contraire un appel à la responsabilisation des usages, premiers moteurs d'un cycle d'extraction de ressources en très forte augmentation et dont les conséquences sociales et environnementales sont connues et documentées, entraînant des pressions sur des écosystèmes vulnérables à forte biodiversité comme les milieux tropicaux ou en stress hydrique (Luckeneder, 2021), et générant des impacts résiduels difficiles à traiter (Le Berre et al., 2023). Selon le scénario tendanciel de l'ADEME - ARCEP :

« La consommation de ressources va également croître de manière importante passant par exemple pour l'indicateur MIPS de 63,7 millions de tonnes en 2020 à 88 millions de tonnes en 2030 et 178 millions de tonnes en 2050. L'indicateur épuisement des ressources abiotiques minérales, marqueur notamment de la dépendance du numérique aux métaux stratégiques suit également une progression croissante qui s'accélère (cf. tableau ci-dessous) accentuant la pression sur les ressources et ainsi augmentant les risques de pénurie dans les années à venir. »

(ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 66).

¹⁰³ La théorie du « pic de Hubbert » établit l'hypothèse d'un effondrement de l'offre (c'est-à-dire des matières premières disponibles), par l'épuisement des ressources. Ces études, croisant une estimation des stocks de matières disponibles et des projections établies sur des courbes linéaires d'exploitation de ladite ressource, arrivent à un stade fatal d'épuisement du stock de réserves disponibles provoquant un effondrement du marché. Ce type d'analyse, porté dans les années 1950 par le club de Rome, évacue les mécanismes d'interactions entre l'offre et la demande qui conduisent le marché à évoluer vers de nouvelles technologies et ressources lorsque les coûts d'extractions deviennent trop prohibitifs. Les progrès technologiques de l'industrie permettent également l'exploitation de nouveaux gisements, auparavant non répertoriés ou inexploitable, renouvelant ou prolongeant les cycles d'exploitation de ressources (Vidal, 2018, 8). Une approche plurielle et non linéaire n'évacue pas la question des stocks et la « finitude » des ressources disponibles, mais intègre les mécanismes à l'œuvre dans les dynamiques du marché, basés sur plusieurs paramètres interconnectés tels que le développement technologique dans les modes d'extraction, l'innovation dans la conception des produits finaux faisant évoluer la demande sur le marché, l'évolution de la réglementation, l'intégration des pratiques de recyclage dans le cycle de vie des matières premières, la prise en compte des impacts environnementaux etc. (Vidal, 2018, 2).

Parmi les indicateurs environnementaux retenus par l'ADEME, trois peuvent être reliés directement à l'extraction des ressources minérales : l'épuisement des ressources abiotiques minérales, l'indicateur *MIPS* (*Material Input per Service unit*), qui indique le poids total de matériaux utilisés pendant l'entièreté du cycle de vie du produit, production comprise, et le poids des déchets produits. Chacun de ces trois indicateurs connaît des augmentations massives dans le scénario tendanciel.

	Épuisement des ressources abiotiques minérales (en kg eq antimoine)	Indicateur MIPS (en kg)	Production de déchets numériques (en kg)
2020	952 000	63 700 000 000	20 200 000 000
2030	1 080 000	88 000 000 000	25 200 000 000
2050	1 510 000	178 000 000 000	48 900 000 000
Augmentation	63 %	358 %	43 %

Figure 18 : évolution des indicateurs de consommation annuelle de numérique en France (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 66).

Dans l'histoire de l'homme, les extractions minières se limitent jusqu'au 19^e siècle aux éléments suivants : fer (Fe), cuivre (Cu), plomb (Pb), étain (Sn), argent (Ag) et or (Au), qui présentent les propriétés physiques et chimiques de base souhaitées. Elles se concentrent jusqu'au milieu du 20^e siècle sur une vingtaine de métaux seulement (Vidal, 2018, 5), et augmentent fortement après la seconde guerre mondiale. En 2018, portée depuis deux décennies par une accélération de l'industrialisation mondiale, le volume mondial de matières extraites du sous-sol atteint 70 milliards de tonnes (Vidal, 2018, 2). Ces extractions sont majoritairement des matières premières « structurelles », mobilisées en grand volume lors des premières phases d'un cycle d'industrialisation porté sur l'industrie lourde, les logements, les transports et l'utilisation de l'énergie. Le sable et les granulats comptent pour 50 000 millions de tonnes par an (Mt/an), le béton 4 600 Mt/an, l'acier et le fer 1 600 Mt/an, l'aluminium (Al) 45 Mt/an, le cuivre 20 Mt/an, suivis par le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le chrome (Cr), le plomb (Pb), le titane (Ti) et le nickel (Ni) (Vidal, 2018, 4). L'augmentation de l'exploitation de ces ressources, ou leur maintien à un niveau haut, est engagé pour les années à venir avec de nombreux pays mondiaux n'ayant pas achevé leur première phase d'industrialisation (Chine, Indonésie, Inde, Pakistan, pays africains notamment). Un premier paradoxe émerge ici : il n'y a jamais eu autant de réserves de minerais connues et disponibles sur terre, malgré les extractions massives réalisées. De nouvelles réserves émergent en effet à mesure que les moyens de prospection se perfectionnent. Les techniques d'extraction et de traitement elles-mêmes gagnent en performativité avec le temps, permettant l'exploitation de ressources autrefois inaccessibles ou de qualité trop médiocre car faiblement concentrées. Les projections de croissance « à taux constant » tablent ainsi sur des stocks et flux totaux de métaux à produire d'ici 2050 représentant cinq à dix fois les niveaux de production annuels, questionnant sur la capacité du secteur à soutenir de tels volumes d'extraction¹⁰⁴ (Vidal, 2018, 2, 6-8). Toutefois, la seule approche par les stocks ne suffit pas à cerner les mécanismes à l'œuvre dans les dynamiques d'extraction des matières premières. Les minerais extraits actuellement représentent une part relativement mince de la croûte terrestre,

¹⁰⁴ Pour soutenir la consommation en fer et acier dans les pays actuellement dans les premières phases de leur industrialisation, les modélisations « *bottom-up* » (multiplication du taux de fer estimé par habitant par le nombre d'habitants à fournir) tablent sur une production de fer nécessaire en 2050 estimée à 71 milliards de tonnes, soit 85% des réserves actuellement connues (Vidal, 2018, 4).

et des moyens d'extraction et de transformation de plus en plus poussés permettent d'augmenter régulièrement les stocks de matériaux envisageables pour l'extraction. Les possibilités d'extraction ont longtemps été permises par la mobilisation d'une énergie fossile bon marché et l'exploitation de minerais bruts fortement concentrés en éléments fossiles ou minéraux, relativement avantageux à exploiter. Avec la diminution du stock de minerais bruts concentrés, les industriels se tournent vers de nouvelles sources moins concentrées en éléments fossiles ou minéraux, autrefois inaccessibles ou trop peu rentables à exploiter, et mobilisent les progrès technologiques importants dans les procédés d'extraction et de raffinement pour compenser les surcoûts énergétiques liés à la moindre qualité des gisements. Cette tendance génère d'importantes nouvelles réserves « exploitables » qui s'ajoutent aux anciennes et donnent une impression trompeuse d'infinitude des ressources. Un exemple est celui des sables bitumineux de l'Alabama aux États-Unis, dont le raffinement après extraction permet aux États-Unis d'être aujourd'hui les premiers producteurs mondiaux de pétrole. Or la baisse observée dans le temps des teneurs des gisements exploités implique une augmentation croissante des ressources énergétiques nécessaires à leur traitement. La « loi de dilution » indique ainsi que moins un gisement est concentré, plus il faut dépenser d'énergie pour le raffiner. L'extraction de minerais est une activité énergivore, représentant 12% de la consommation mondiale d'énergie en 2013 et 35% de l'énergie consommée par l'industrie dans le monde. Pour l'instant, l'amélioration technologique et les gains de productivité ont permis d'exploiter des minerais de moins en moins concentrés et de compenser les coûts énergétiques de production, mais cette tendance pourrait ralentir avec la raréfaction de l'énergie fossile et les limites thermodynamiques auxquelles se heurte l'innovation, entraînant une augmentation des coûts de production. Passé un certain seuil, les coûts de production deviennent trop importants et les prix s'envolent, entraînant une baisse de la demande. Dans ce modèle dynamique d'interactions entre l'offre et la demande, le ralentissement voire l'effondrement d'un marché n'est pas dû à l'épuisement d'un stock monolithique de matières premières, mais à des coûts d'exploitation de gisements de moins en moins concentrés entraînant un prix devenant prohibitif pour le marché (Vidal, 2018, 2, 9).

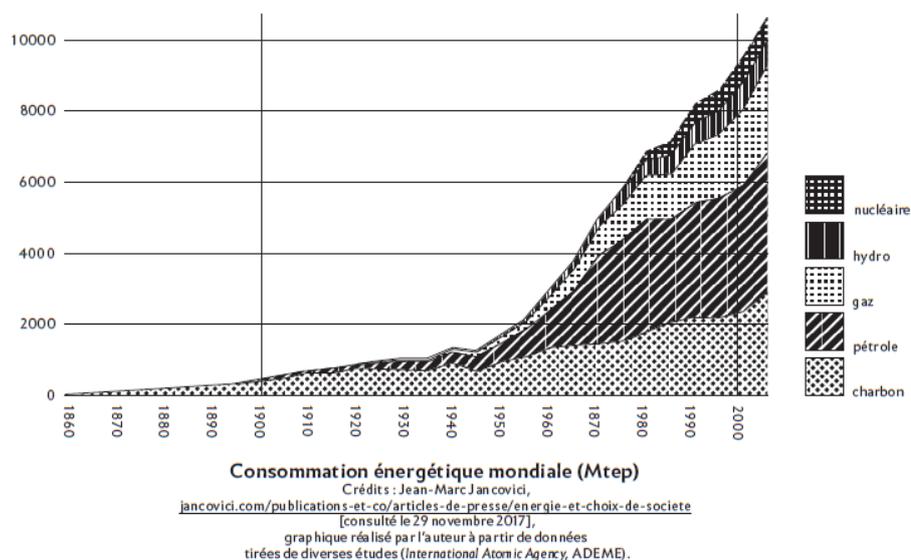


Figure 19 : évolution de la consommation énergétique mondiale de 1860 à 2005, en million de tonnes équivalent pétrole (Mtep). Une tonne équivalent pétrole est l'équivalent du pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole. Depuis le début de l'ère industrielle, les extractions de matières premières s'accumulent et ne substituent pas (Carnino & Marquet, 2018, p.57).

Un regard sur la courbe des croissances d'énergie depuis le début de l'âge industriel vient à nouveau bousculer des représentations parfois établies. Les courbes de productions de sources d'énergie mobilisées depuis le 19^e siècle ne se remplacent pas mais s'additionnent pour l'instant, avec de nouveaux pays ou régions prenant la suite de précédentes dans les exploitations de charbon, pétrole, puis gaz ou uranium. Le pétrole n'a pas remplacé le charbon, ni été détrôné par le nucléaire ou les énergies renouvelables. Les fluctuations et hausses de prix des énergies carbonées, les tensions géopolitiques qui menacent les approvisionnements en énergie fossile et l'intégration, réelle ou opportune, des conséquences du changement climatique par les grands acteurs économiques et politiques amènent les industriels à envisager des solutions d'extraction dépendant d'énergie renouvelable (hydraulique ou éolien notamment) pour maintenir des coûts d'extraction acceptables et sécuriser les approvisionnements (Vidal, 2018, 9, 11). Des projections d'intégration par l'industrie des dynamiques de recyclage pour les métaux, compensant la raréfaction de la matière première ou le renchérissement de ses coûts d'extraction, viennent également soutenir les projections de disponibilité de l'approvisionnement en minerais jusqu'en 2050, 2100 voire 2200, contredisant un modèle d'effondrement prochain par l'épuisement des stocks exploitables. Les extractions de matières premières ont pour l'instant évolué en suivant les dynamiques impulsées par la demande. Celle-ci peut se stabiliser lorsque des paliers de développement sont atteints, comme ce fut le cas pour les matériaux de base dans les sociétés occidentales entre les années 1970 et 2000, ou changer de nature selon les évolutions technologiques du marché. C'est donc bien via des leviers autres que l'épuisement des stocks de minerais qu'il semble falloir chercher les mécanismes d'évolution structurels concernant la consommation de minerais et, peut-être, une possible atténuation des conséquences néfastes de leur sur-exploitation. Ces leviers peuvent être l'atteinte d'un seuil de consommation mondiale à l'horizon des 11 milliards d'êtres humains, des évolutions technologiques orientant la demande vers d'autres types de ressources, l'évolution des pratiques et des mentalités vers plus de sobriété, possiblement en mobilisant des éléments de *reporting* sur les problématiques environnementales et les conditions d'extraction, l'évolution des réglementations internationales (Vidal, 2018, 12-14)...

À l'échelle du globe, la montée en puissance de l'exploitation minière des métaux entraîne une augmentation de la production de matières premières métalliques qui passe par la mise en place de nouveaux projets miniers, par l'expansion physique de sites existants et l'intensification et l'optimisation du processus d'extraction (Luckeneder et al., 2021, p. 1). Une étude sur les effets socio-environnementaux des extractions de minerais bruts (*ore*), portant sur près de trois mille mines exploitant de la bauxite¹⁰⁵, du cuivre, de l'or, du fer, du plomb, du manganèse, du nickel, de l'argent ou du zinc, révèle que les activités minières sont relativement concentrées à l'échelle de la planète. Celles-ci sont situées principalement à l'ouest de l'Australie, en Afrique australe (frontière Zambie-Congo notamment) et occidentale, le long de la Cordillère des Andes en Amérique du Sud et des Montagnes rocheuses en Amérique du Nord, en Inde, en Chine ainsi qu'en Asie du sud-Est. La taille des mines à travers la planète est variable, avec 95% des sites d'exploitation extrayant moins de 25 millions de tonnes (Mt) par an en 2019. Une petite portion seulement des 5% restants extrait plus de 279 Mt par mine. Les exploitations en Chine sont très nombreuses mais avec des volumes d'extraction

¹⁰⁵ La bauxite est une roche sédimentaire à la source de la production de l'aluminium.

inférieurs à la moyenne, situés en dessous de 2 Mt pour 80% d'entre elles. L'Australie concentre de plus grosses exploitations, en nombre inférieur.

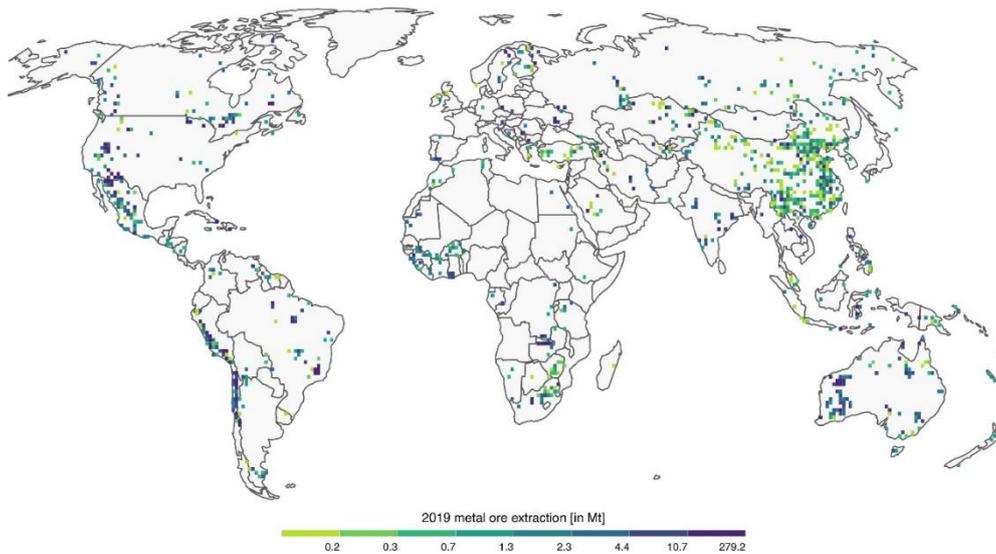


Figure 20 : volumes d'extractions minières à l'échelle planétaire en 2019 (Luckeneder et al., 2021, p.5). Les activités d'extraction minières représentent environ 57 300 km² à l'échelle de la planète, soit la superficie approximative de la Croatie.

Les volumes extraits pour produire des métaux raffinés dépendent de la concentration du minerai brut, qui peut représenter jusqu'à 100 fois le volume raffiné (2200 Mt de minerai extrait pour environ 24 Mt de cuivre en 2019). Les tendances établies sur les 19 années de l'étude (2000-2018) montrent une densification des activités minières, avec des taux d'extraction qui augmentent dans les mines existantes, au sein de régions elles-mêmes en expansion concernant l'extraction de matériaux. Les régions avec les plus hauts taux de croissance, entre 7% et 10% par an, sont situées au Pérou, au Congo, en Zambie, en Inde, en Chine et en Australie occidentale. À l'inverse, 1659 mines présentent des volumes en décroissance sur la période. Les minerais connaissant la croissance la plus importante sur la période sont la bauxite et le fer, par exemple dans l'État d'Odisha en Inde orientale. Des *clusters* régionaux fortement impactés apparaissent, avec d'importants filons de cuivre exploités à l'extrême sud du Congo, et 90 % du minerai de fer brésilien extrait dans une dizaine de sites miniers dans les États de *Pará* et de *Minas Gerais*. Les taux de croissance en termes d'extraction stagnent en Amérique du Nord (États-Unis, Canada), tandis qu'ils augmentent en Europe, même s'ils se situent à des niveaux d'extraction bas. Les principaux biomes concernés par les extractions en valeurs absolues sont les déserts arides et semi-arides, avec 2 241 Mt de minerais extraits dans 443 mines, suivi des forêts tropicales et subtropicales humides, qui voient leur volume d'extraction doubler en vingt ans avec 911 Mt d'extraction et 627 mines, suivi des forêts tempérées, avec 614 Mt de matière extraite et 594 mines (Luckeneder et al., 2021, p. 5). Environ 80 % de l'extraction mondiale de métaux en 2019 a lieu dans des écosystèmes à très forte biodiversité, et 90 % des sites miniers se trouvent implantés dans des milieux en situation de précarité hydrique (Luckeneder et al., 2021, p. 10). La principale cause de catastrophe identifiée est la rupture de digue. Les exploitations de cuivre au Congo et en Zambie, entraînant l'extraction de millions de tonnes de terre, dans des milieux de savanes arborées de *Miombo* à la riche faune de mammifères, provoquent également des dommages environnementaux tels que des défrichements de vaste ampleur, une pollution des milieux (sol, air, eau) et d'importants déplacements de population (Luckeneder et al., 2021, p. 9).

Les besoins à venir en extraction de minerais bruts sont appelés à augmenter significativement dans les prochaines décennies, notamment pour soutenir le développement des infrastructures à faible émission de carbone comme les panneaux solaires, équipements éoliens ou les batteries (Luckeneder et al., 2021, p. 10 ; Vidal, 2018, 6). L'augmentation des extractions minières se fait dans des écosystèmes vulnérables qui doivent être mieux protégés, quitte à montrer le cas échéant que le mode d'expansion actuel n'est pas soutenable. Déplacer les extractions ne suffit pas. À l'exception de l'Australie, tous les pays connaissant les plus fort taux d'extraction sont des pays ayant un revenu moyen par habitant bas à moyen, et sont reconnus par l'OCDE comme ayant de moins bons résultats dans l'indice de rigueur des politiques environnementales que les pays industrialisés. L'industrie minière a toutefois entamé et réalisé d'importants progrès dans l'intégration de problématiques environnementales, avec des systèmes d'atténuation d'impact et la réhabilitation progressive des mines tout au long de leur cycle de vie, impliquant une gestion de l'érosion et des déchets, ainsi qu'une réhabilitation des zones inactives. Elle peine toutefois à mettre ces principes en application sur site et à suivre les recommandations de l'*International Council on Mining and Metals (ICMM)* qui demandent d'aller plus loin dans l'application des normes environnementales internationales. Le *reporting* et l'amélioration des connaissances sur les activités d'extractions minières semblent également nécessaires pour favoriser l'évolution des prises de conscience et des réglementations. Les normes environnementales des pays producteurs, comme la Chine et l'Inde, ont connu des améliorations assez significatives, tandis que ceux-ci restent bas dans des pays comme le Brésil et parfois théoriques dans les pays d'Afrique centrale, où des compagnies minières intensifient les excavations basées sur des « pratiques de domination économique et technocratique ». Ce modèle économique, basé sur le déplacement physique de vastes volumes de minerais issus de pays encore dans les premières phases du modèle de développement économique et sur la valorisation financière de ces minerais dans des produits finaux à haute valeur ajoutée, maintient les pays d'excavation dans des situations de dépendances économiques (Luckeneder et al., 2021, p. 11-12).

Les volumes extraits pour l'industrie du numérique ne représentent qu'une partie seulement des extractions de minerais à l'échelle de la planète, mais connaissent une croissance forte, qui triple entre 1980 et 2010 (Vidal, 2018, 15). Cette croissance est notamment due à l'augmentation très forte du nombre de terminaux numériques en circulation, et à leur sophistication. Ceux-ci exigent plus de ressources à mesure qu'ils se complexifient. Comme indiqué en figure 21, le nombre d'éléments nécessaires à la construction d'un téléphone passe d'une dizaine dans les années 1960 à vingt-neuf pour un téléphone mobile de première génération dans les années 1990 puis à plus d'une cinquantaine en 2021 pour un *smartphone* (Pitron, 2021, p. 59-60). Une soixantaine de métaux différents, d'une grande pureté, tels que le cuivre (Cu), l'indium (In), le gallium (Ga), le germanium (Ge), le tantale (Ta), le niobium (Nb), l'or (Au), l'argent (Ag) et les terres rares sont aujourd'hui exploités pour les propriétés résultant de leur structure électronique, des propriétés catalytiques, quantiques ou semi-conductrices spécifiques. Certains métaux comme l'antimoine (Sb), le béryllium (Be), le cobalt (Co), le gallium (Ga), le germanium (Ge), le lithium (Li), le molybdène (Mo) et certaines terres rares atteignent des croissances de production pouvant aller jusqu'à 10 % (Vidal, 2018, 5).

1960	<i>aluminium, azote, carbone, chrome, cuivre, hydrogène, nickel, oxygène, plomb, zinc</i>
1990	<i>aluminium, antimoine, azote, baryum, béryllium, bore, brome, cadmium, carbone, chlore, chrome, cobalt, cuivre, étain, fer, fluor, hélium, hydrogène, manganèse, molybdène, nickel, or, oxygène, phosphore, plomb, silicium, tantale, titane, tungstène</i>
2021	<i>chrome, cobalt, cuivre, erbium, fer, fluor, gadolinium, gallium, germanium, hafnium, hydrogène, indium, iode, iridium, lithium, magnésium, manganèse, néodyme, néon, nickel, or, oxygène, palladium, phosphore, platine, plomb, potassium, rubidium, scandium, silicium, sodium, soufre, strontium, tellure, thallium, thulium, titane, tungstène, vanadium, yttrium, zinc, zirconium</i>

Figure 21 : matériaux entrant dans la composition d'un téléphone en 1960, 1990 et 2021 (Pitron, 2021, p. 330).

La grande diversité des éléments recherchés, les nombreux cycles de traitement nécessaires à leur purification fortement consommateurs en eau, les pollutions chimiques et émissions carbone liées aux cycles de traitement distinguent l'industrie minière liée au numérique du reste du secteur. Assemblés en des composants de taille infime, les métaux connaissent un usage dispersif et sont dilués dans de multiples appareils à la durée de vie courte. Les circuits de recyclage pour ce type d'élément sont faibles voire inexistantes. Dans les secteurs de haute technologie comme le numérique, il existe un lien fort entre les évolutions de la demande et les capacités mobilisées dans la production, avec des boucles de rétroaction et des mécanismes d'adaptation relativement rapides de part et d'autre, rendant les prévisions difficiles. En 2012, face à la difficulté de s'approvisionner en terres rares, l'entreprise de matériel électronique japonaise *Hitachi* communique sur des moteurs à aimants dépourvus de terres rares, dont le développement futur pourrait dépendre de l'augmentation du cours des matières premières (Vidal, 2018, 5). L'augmentation du prix du *cobalt* (Co), qui passe de 55 000 à 83 000 \$ par tonne entre 2017 et 2018 du fait d'une forte augmentation de la demande, pousse également les industriels à développer la recherche vers des solutions de substitution, même si ce minerai connaît toujours une forte demande (Vidal, 2018, 14-15).

En conclusion, nous pouvons retenir que l'extrapolation de courbes linéaires, si elle permet d'établir des projections « de principe » alertant sur les dangers d'une surexploitation des ressources, ne peut être prédictive des évolutions à venir. Les projections annonçant un effondrement de l'offre par épuisement d'un stock disponible depuis les années 1950 se sont pour la plupart révélées inexactes. Ce sont les tensions sur l'énergie et les évolutions de la demande qui semblent conditionner les dynamiques du marché. Les impacts sociaux et environnementaux des politiques d'extraction, aux effets de plus en plus massifs pour les territoires, appellent à être régulés par les instances et questionnent nos usages du numérique.

A2 – La transition numérique comme horizon

Penser la transition numérique

La transition numérique consiste à mobiliser les outils du numérique (puissance de calcul notamment) pour servir la transition écologique à travers des dispositifs de pilotage intelligents des réseaux, la transformation des modes de production industrielle et des pratiques des utilisateurs, et d'une façon plus générale l'instrumentation de la connaissance sur les enjeux environnementaux (Parasie & Shulz, 2024). La transition écologique se fixe pour but d'atteindre la neutralité carbone¹⁰⁶ à l'échéance 2050. C'est un des objectifs affichés de l'Union Européenne, matérialisé par le pacte vert européen. À l'échelle globale, la transition écologique est un élément géopolitique majeur et structurant des rapports de puissance entre acteurs internationaux. Si la donne géopolitique du 20^e siècle fut en grande partie façonnée par les enjeux liés à la maîtrise des ressources abiotiques fossiles et non fossiles (charbon, fer, pétrole, gaz, uranium), le 21^e siècle est annoncé comme celui de la décarbonation, et donc de la transformation, basée notamment sur une décentralisation des modes de production d'énergie et une numérisation de pans entiers de la vie économique et sociale des groupes humains. Une sorte de fusion de l'énergie et de l'information par les réseaux. Depuis 1750, les États-Unis ont émis environ 25 % de la totalité des gaz à effet de serre produits par l'activité humaine. Les pays membres de l'Union Européenne en ont émis 22 % et la Chine 12 %. Actuellement, la Chine est le premier émetteur mondial de gaz à effet de serre, avec 29 % des émissions, devant les États-Unis (16 %) et l'Europe (12 %). Chacun de ces acteurs dominants du 21^e siècle s'engage en faveur de la transition écologique, avec des stratégies différentes. Chine et États-Unis sont signataires de l'accord de Paris en avril 2016, dès la conclusion de celui-ci. Si les États-Unis se retirent à grand bruit de l'accord sous Donald Trump, ils le réintègrent sitôt l'élection de Joe Biden effective, le 19 février 2021 (Gomart, 2021, p. 80). Bien que les États-Unis aient relancé massivement l'exploitation de pétrole et de gaz de schiste sur leur territoire¹⁰⁷, pour des raisons d'autonomie énergétique, ils engagent des mesures conduisant à une baisse progressive des émissions (diminution des centrales à charbon, développement de l'hydrogène vert, régulations sur les émissions industrielles, efficacité énergétique, véhicules électriques). La Chine, premier producteur de gaz à effet de serre au niveau mondial depuis 2007, s'engage elle-aussi à l'horizon 2060 vers une pleine décarbonation, en se présentant comme une « civilisation écologique » dans les discours officiels depuis 2012, maîtrisant les systèmes de surveillance, de pilotage et de communication, et apte à gérer les écosystèmes naturels sur la base d'indicateurs comme le PIB vert 2.0 basé sur des méthodes de calcul *big data* de données environnementales (René, 2019, p. 91 ; Gomart, 2021, p. 90). La Chine se positionne également sur toute la chaîne de valeur des circuits photovoltaïques, de l'extraction et du raffinement des minerais à la production de cellules photovoltaïques et de panneaux solaires. Elle investit

¹⁰⁶ La neutralité carbone vise un équilibre entre la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) émise dans l'atmosphère par les activités humaines et la quantité de CO₂ retirée de l'atmosphère par le biais des captations de carbone, naturelles (puits de carbone) ou artificielles. La neutralité carbone à l'échéance 2050 ou 2060 s'inscrit dans les grands objectifs stratégiques portés par les grandes puissances géopolitiques internationales (Europe, États-Unis, Chine).

¹⁰⁷ Les États-Unis produisent 13 millions de barils de pétrole par jour en 2019 et comptent parmi les plus gros producteurs d'hydrocarbures au monde avec l'Arabie Saoudite et la Russie. Une des particularités des États-Unis est d'aligner ses politiques étrangères et ses énergétiques, le moindre interventionnisme des États-Unis sur la scène internationale correspondant à une autosuffisance énergétique retrouvée (Gomart et al., 2018).

massivement dans la recherche et le développement et encourage une production portée par un marché intérieur fortement demandeur. Elle est également présente, comme à son habitude, sur les marchés internationaux, bénéficiant d'un fort avantage concurrentiel. Certains métaux intégrant cette chaîne de valeur, comme le *silicium* haute pureté, sont considérés comme critiques par les Européens et américains. C'est dans ce contexte de concurrence et d'évolutions structurelles profondes que s'inscrivent les orientations européennes de « croissance verte ».

Eu égard aux éléments exposés précédemment sur les impacts environnementaux du numérique, envisager le numérique comme un moyen de réduire les consommations d'énergie ne relève-t-il pas d'un paradoxe, que certains pourraient qualifier d'ontologique ? Tout d'abord, il semble permis d'indiquer en préambule que la prétention du numérique à gouverner des systèmes intelligents s'inscrit dans le cadre des ambitions originelles de la cybernétique, qui prône l'autocontrôle des réseaux en interaction avec l'environnement extérieur sur la base d'un mécanisme de rétroaction (Parasie & Shulz, 2024, p. 30). Ensuite, au-delà de son impact, le numérique est mobilisé depuis son origine dans un certain nombre d'instrumentations, de bases de connaissances et de médiations, qui participent à la connaissance sur les changements et impacts climatiques en cours, et permettent même de les penser. Sans instrumentation numérique, la perception du changement climatique par l'homme serait possiblement médiocre et pourrait échapper aux représentations, ou du moins ne pas être identifiée avec autant de précision. La computation et le numérique sont également mobilisés depuis les années 1960 pour assurer des régulations environnementales et informer le grand public sur la base de capteurs et d'éléments chiffrés, mis en forme pour être pensés¹⁰⁸ (Parasie & Shulz, 2024, p. 20). La question de la quantification des impacts environnementaux est également aujourd'hui devenue une problématique importante pour les entreprises, avec l'accès à certains financements encadrés par une taxonomie européenne définissant des investissements à privilégier et définis d'après des critères environnementaux (France stratégie, 2024, p. 3).

Pour considérer l'ensemble du problème, il peut être intéressant de comparer le poids du numérique (17,2 millions de tonnes eq CO₂ émis en 2020 selon l'estimation de l'ADEME-ARCEP) avec l'ensemble des autres secteurs de l'activité engendrant des émissions de gaz à effet de serre. Le transport représente en France le principal contributeur aux émissions de gaz à effet de serre avec 30 % des émissions de GES nationales (126 Mt eq CO₂ en 2023). Le transport routier notamment, est largement prédominant, devant les trafics aériens, maritimes et ferroviaires. Viennent ensuite l'industrie (production de biens, chimie, métallurgie, travaux publics), avec 72 Mt eq CO₂, l'agriculture avec 76 Mt eq CO₂, le résidentiel et les activités tertiaires avec 69 Mt eq CO₂, le secteur de la production et transformation d'énergie, rejetant environ 42 Mt eq CO₂, et la gestion des déchets, comptant pour 15 Mt eq CO₂. Le numérique est une technologie « diffuse », intégrée dans chacun de ces secteurs, qui n'est traditionnellement pas considérée comme une catégorie à part entière dans les études environnementales. En termes de tendance, en France, les émissions de GES diminuent régulièrement entre 2018 et 2023,

¹⁰⁸ L'Agence américaine de l'environnement (EPA) est par exemple chargée de faire appliquer et de sanctionner les dépassements de certains seuils de polluants autorisés aux États-Unis depuis les années 1960, se basant sur des mesures de pollution de l'air. Depuis les années 1980 et la catastrophe de Bhopal en Inde en 1984, lors de laquelle l'entreprise américaine *Union Carbide* déverse accidentellement 40 tonnes de gaz toxiques dans la ville et tue 10 000 personnes, l'obligation est imposée aux industriels américains de rendre publiques leurs émissions auprès du public, que des acteurs militants s'engagent ensuite à transcrire en données compréhensibles par le biais de modélisations (Parasie & Shulz, 2024, p. 20).

passant de 439 Mt eq CO₂ en 2018 à 380 Mt eq CO₂ en 2023. L'évolution du mix énergétique vers plus de production d'électricité bas-carbone, la dynamique de baisse de la consommation d'électricité dans le secteur de l'industrie, couplée à des pratiques de sobriété (rénovations thermiques des bâtiments, renouvellement du parc automobile) et des phénomènes conjoncturels (hausse du prix de l'électricité et de l'essence, hiver doux) impliquent des tendances à la baisse pour tous les secteurs d'activité concernés entre 2022 et 2023, avec - 7,7 Mt eq CO₂ pour l'industrie de l'énergie, - 6,1 Mt eq CO₂ pour l'industrie manufacturière, - 4,4 Mt eq CO₂ pour les transports, - 3,4 Mt eq CO₂ pour les bâtiments et - 1,2 Mt eq CO₂ pour l'agriculture (Citepa, 2024). Les dynamiques de cette baisse des émissions sont indiquées en Figure 22.

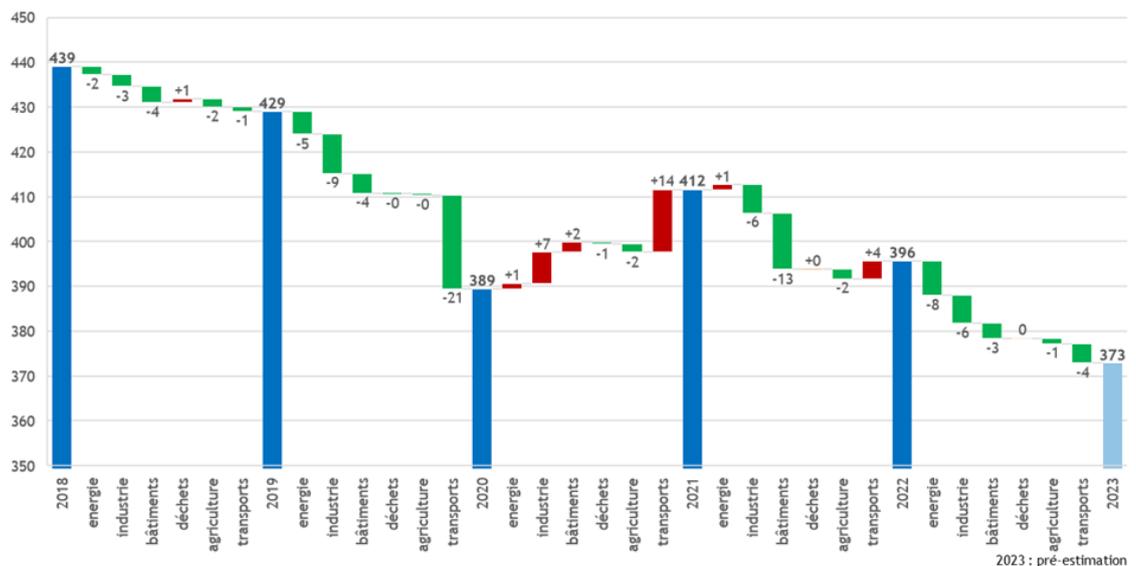


Figure 22 : évolutions des émissions de GES en France entre 2018 et 2023 (Mt eq CO₂) (Citepa, 2024, p.4).

Les dérives constatées dans l'usage actuel du numérique, ainsi que celles qui ne manqueront pas d'arriver en suivant un scénario tendanciel d'évolution, dispensent-elles de penser le numérique, sinon comme solution, du moins comme possible partie de la solution pour engager une transition écologique ? Depuis la fin des années 2010, de nouvelles promesses de rationalisation et d'optimisation des modes de production mobilisant le numérique apparaissent, avec notamment les réseaux « intelligents » (*smart grid*) (Parasie & Shulz, 2024, p. 30). La note d'analyse « Quelle contribution du numérique à la décarbonation ? » étudie quatre cas d'usages dans lesquels le numérique peut être mobilisé pour accompagner la transition énergétique : les pratiques de covoiturage, le télétravail, les *smart grids* (gestion « intelligente » des réseaux électriques via la collecte et l'analyse de données) et les *smart homes* (gestion intelligente des consommations d'énergie dans les bâtiments permettant d'ajuster les flux d'électricité aux usages en temps réel, qui permettrait d'économiser entre 2 et 10 % de la consommation énergétique sur les ménages européens) (France stratégie, juillet 2024). Ces quatre cas d'usages sont répartis au sein de types d'activités fortement génératrices de gaz à effet de serre que sont le trafic routier, l'industrie et le secteur tertiaire, et semblent donc possiblement à fort impact. Les effets rebonds sont intégrés dans les modélisations. L'intégration des effets rebond dans les études consiste, par exemple, à ne pas se baser uniquement sur les modélisations unitaires des coûts de transport économisés par une pratique de covoiturage, mais à intégrer le principe d'un report

modal induit par le développement des pratiques du covoiturage (les utilisateurs qui utilisent le co-voiturage le font souvent au détriment des transports en commun, parfois jusqu'à 69 % en lieu et place du train) et les pratiques de relocalisation induites par celui-ci. Grâce à la pratique du covoiturage, les usagers peuvent augmenter les distances de déplacement entre leur domicile et le travail et envisager des modes d'habitat par exemple loin du centre-ville. Une modélisation intégrant les « effets indirects » des solutions proposées sur l'impact carbone verrait ainsi une réduction de ses gains de l'ordre de 68 à 77 %, par rapport à une estimation basée uniquement sur les modélisations unitaires (France stratégie, juillet 2024, p. 13). Pour les *smart grids*, facilitant le pilotage des réseaux et la gestion des incidents, l'installation de compteur *Linky* sur les réseaux techniques nationaux a permis d'économiser les interventions sur site des techniciens d'Enedis de 70 % depuis leur installation, réduisant les coûts d'exploitation et permettant le redéploiement de certains investissements vers une décarbonation du réseau. Ces *smart grids* peuvent connaître un déploiement vers d'autres secteurs, comme la production éolienne, les secteurs de l'industrie ou du tertiaire voire dans l'urbanisme résidentiel, mais l'ampleur réelle de leur apport à la décarbonation ne fait pas encore consensus (France stratégie, juillet 2024, p. 6-8). Concernant les *smart home*, proposant une gestion intelligente du chauffage et de l'alimentation électrique des maisons, des résultats positifs semblent avérés dans les pays froids ou ayant un mix énergétique carboné (Finlande, Suède, Royaume-Unis), avec des gains d'énergie pouvant aller jusqu'à 30 %. Toutefois, la non-prise en compte de l'ensemble du cycle de vie de la solution proposée dans les modélisations¹⁰⁹, et la possible médiocre sensibilisation des usagers à l'utilisation de ces dispositifs rendent ses effets réels incertains (p. 8-10). Concernant le télétravail, les facteurs d'éloignement de l'habitat vis-à-vis du lieu de travail, l'accroissement d'autres loisirs carbonés dû à un gain de pouvoir d'achat et l'augmentation de la consommation énergétique des logements pondèrent les gains espérés, mais ses effets sont tout de même estimés impactant positivement l'empreinte carbone. Au global, les résultats affichés par l'étude montrent des gains modestes, de l'ordre de 1 à 6 Mt eq CO₂ économisés, ne proposant pas de réponse miracle mais des progrès attendus, basés sur l'implication du numérique.

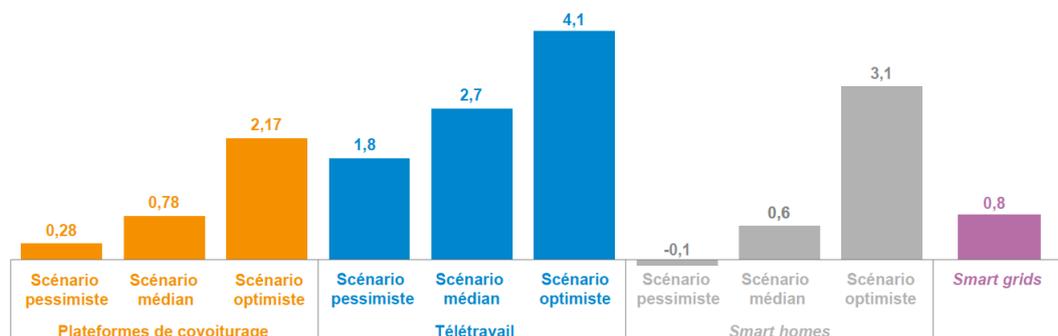


Figure 23 : potentiels d'émissions annuelles évitées pour quatre types d'usage, en Mt eq CO₂, avec prise en compte des effets rebond dans le cadre de scénarios différenciés (France stratégie, 2024, p. 14). Dans ces modélisations, trois solutions sur quatre ont un impact estimé comme positif sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2030.

Les limites évoquées du numérique pour mener à bien une transition écologique, souvent négligées voire ignorées, sont les suivantes : ampleur des effets rebond qu'il peut générer, coûts environnementaux structurels des solutions

¹⁰⁹ L'intégration des impacts de la phase de conception, à côté des gains d'énergie espérés en phase d'usage, avec une durée de vie moyenne de la solution estimée à cinq ans, réduit les gains environnementaux estimés.

proposées et rapidité de leur obsolescence (France stratégie, 2024, p. 3). Ces phénomènes, ajoutés à d'autres biais, amènent les chercheurs en sciences humaines à être par nature pour le moins méfiants vis-à-vis des promesses « techno-solutionnistes » (Parasie & Shulz, 2024, p. 31-33). Des tentatives de mise en œuvre de projets de *smart grids* à vaste échelle par des politiques publiques (captations de mesures d'air, gestion soutenable des réseaux de mobilité, des eaux, électricité ou déchets) au sein de villes comme Londres ou New York à partir des années 2010, encouragés par les discours de grandes firmes industrielles promouvant une gestion intelligente et écologique de systèmes, ont montré des résultats décevants. La réalité, faite de « bricolage, d'ajustements et de maintenance », peinant à intégrer la complexité d'un monde urbain en mouvement (Parasie & Shulz, 2024, p. 31). Des contre-modèles, plus extrêmes voire caricaturaux, font pour l'instant offices de repoussoirs avec des fourvoiements à vaste échelle, comme la ville de Masdar aux Émirats arabes unis qui peine à concrétiser ses ambitions, pour un coût de 17 milliards d'euros. Loin de l'ambition d'être la plus grande ville écologique et intelligente du monde, Masdar n'est pour l'instant qu'un « mirage » dans le désert, à 40 km d'Abou Dhabi (Pitron, 2021, p. 29-32). Dans le domaine agricole, les nouvelles technologies sont présentées depuis la fin des années 1980 comme aptes à rationaliser les modes de production dans l'agriculture et sont aujourd'hui mobilisées pour adapter l'usage des intrants chimiques aux besoins des parcelles d'après des données algorithmiques issues de GPS, de capteurs ou d'images satellitaires. À travers ces exemples, c'est d'une façon plus large le modèle dans lequel est employé le numérique, autant que la technologie elle-même, qui semble à interroger. S'agit-il de mobiliser le numérique pour optimiser un flux d'énergie et de matière dans la « longue histoire de la rationalisation de l'économie par les technologies de calcul, de mémoire, de classification ou encore de gestion », qui s'inscrit notamment dans un cadre de production capitaliste depuis le début de la révolution industrielle, ou bien de mobiliser le numérique pour développer de nouveaux modes d'organisation, de production et de consommation ?

Modestement, on peut tenter de considérer le numérique pour ce qu'on en fait, en l'évaluant d'après les applications et cas d'usage qu'il est appelé à servir. Il est également permis de souligner le paradoxe du numérique, engoncé dans sa représentation immatérielle originelle, y compris chez les défenseurs de l'Internet libre ou les promoteurs de modes de productions alternatifs. Des communautés d'acteurs, parfois issues du modèle contre-culturel de l'Internet des origines, utilisent le numérique pour dépasser les modes de productions traditionnels dans une logique coopérative, sur la base de systèmes d'exploitation *open source* comme *Linux* ou de bases de données collaboratives (*OpenStreetMap*, *Wikipédia*). Ces communautés contredisent les aspirations monopolistiques des géants de l'Internet par leurs pratiques, mais restent pour la plupart inscrites dans une vision d'un réseau « du virtuel et de l'illimité », ne questionnant pas toujours la réalité de leur empreinte matérielle. Des communautés de *makers*, produisant, partageant et potentiellement commercialisant des productions (plans 3D par exemple) réalisées sur la base de modèles et programmes *open source* et imprimantes 3D parfois gourmands en énergie, pour le compte des secteurs de l'industrie ou l'agriculture. D'autres réseaux de partage à plus large échelle existent, avec pour motivation principale l'innovation et les opportunités économiques plus que les préoccupations écologiques. Lorsque cet intérêt est évoqué, comme dans 25 % des cas selon une enquête de 2017 auprès d'une communauté de *makers*, c'est la réduction de l'énergie et des matériaux utilisés qui est citée. Enfin, des plateformes coopératives, reposant sur des logiques de gouvernance partagée et de protection des salariés, mettent à

profit le réseau ouvert d'Internet pour promouvoir des usages soutenables dans des domaines comme le tourisme, la mobilité ou la distribution alimentaire et intègrent des préoccupations de développement durable, via des licences juridiques semi-ouvertes. Leur action s'inscrit dans un cadre plus large que la transition écologique, avec des impacts réels non évalués (Parasie & Shulz, 2024, p. 33-38).

Si les promesses semblent souvent dépasser la réalité concernant la gestion de « villes intelligentes », la mobilisation du numérique dans la réduction de l'empreinte carbone, identifiée par les instances politiques européennes comme réponse prioritaire à apporter au problème environnemental, peut apparaître aujourd'hui naturelle tant celui-ci est intégré dans les aspects les plus divers des activités humaines. L'usage du numérique questionne toutefois les usages qui en sont faits et le modèle dans lequel il est intégré. D'autres questions environnementales et sociales « déportées » et peu visibles, comme les impacts induits par l'extraction des minerais ou la gestion des déchets électroniques, dont le volume est estimé à 50 millions de tonnes au niveau mondial dans les années 2010¹¹⁰, restent également à résoudre.

L'écologie des data centers, réelle ou fantasmée ?

Avec l'augmentation du volume de données échangées sur le réseau et les restructurations de l'architecture Internet en cours¹¹¹, les centres de données connaissent une croissance importante en nombre et en taille, qui s'inscrit dans une tendance structurelle profonde. L'énergie consommée par les *data centers* se divise en deux catégories principales, répartie *grosso modo* en deux parts avoisinant les 50 % : l'alimentation des équipements « IT » (serveurs et équipements réseaux) et la gestion des infrastructures connexes, comprenant notamment le refroidissement via la climatisation et les systèmes de ventilation et la gestion de la stabilité de l'alimentation électrique. L'optimisation de la gestion énergétique des infrastructures, et notamment la gestion de la climatisation, est au cœur des gains énergétiques recherchés. Elle vient en parallèle de l'amélioration régulière des puissances de calcul et stockage des équipements « IT », permettant de stocker de plus en plus de données à énergie constante¹¹². Les éléments de performance technique (sécurité, confidentialité, disponibilité des données) et de performance énergétique sont au cœur des démarches de responsabilité sociale et environnementale (RSE) des entreprises, et de leurs stratégies de communication. C'est notamment le cas pour les centres de colocation, opérateurs les plus aptes à communiquer sur leur activité (Carnino & Marquet, 2018, p. 29).

¹¹⁰ Les matériaux dangereux se concentrent parfois dans certaines régions du monde, à l'image de la ville de Agbogbloshie au Ghana, causant des dommages majeurs sur l'environnement et les populations locales (Madrigal, 2011, cité par Parasie & Shulz, 2024, p. 15).

¹¹¹ Passage du modèle *peer-to-peer* des origines, dans lequel chaque hôte est à la fois émetteur et receveur de données circulant sur Internet (modèle décentralisé) à un modèle mutualisé, dans lequel les données sont regroupées dans des centres d'hébergement de données.

¹¹² Citons ici la loi empirique de Koomey qui indique que le nombre de traitements par joule (unité d'énergie) double tous les deux ans (*Green-IT*, 2024), améliorant grandement les capacités de traitement d'information des équipements numériques. Google annonce en 2020 dans une communication délivrer sept fois plus de puissance de calcul pour la même puissance électrique ("compared with five years ago, we now deliver around seven times as much computing power with the same amount of electrical power") (Google, 27 février 2020). Ces gains d'efficacité dans le traitement des données ne sont toutefois pas une garantie pour l'avenir, l'atteinte d'un seuil technologique voire de limites physiques pouvant entraîner un ralentissement ou une stabilisation de l'amélioration de capacités de traitement (*The shift project*, mars 2021).

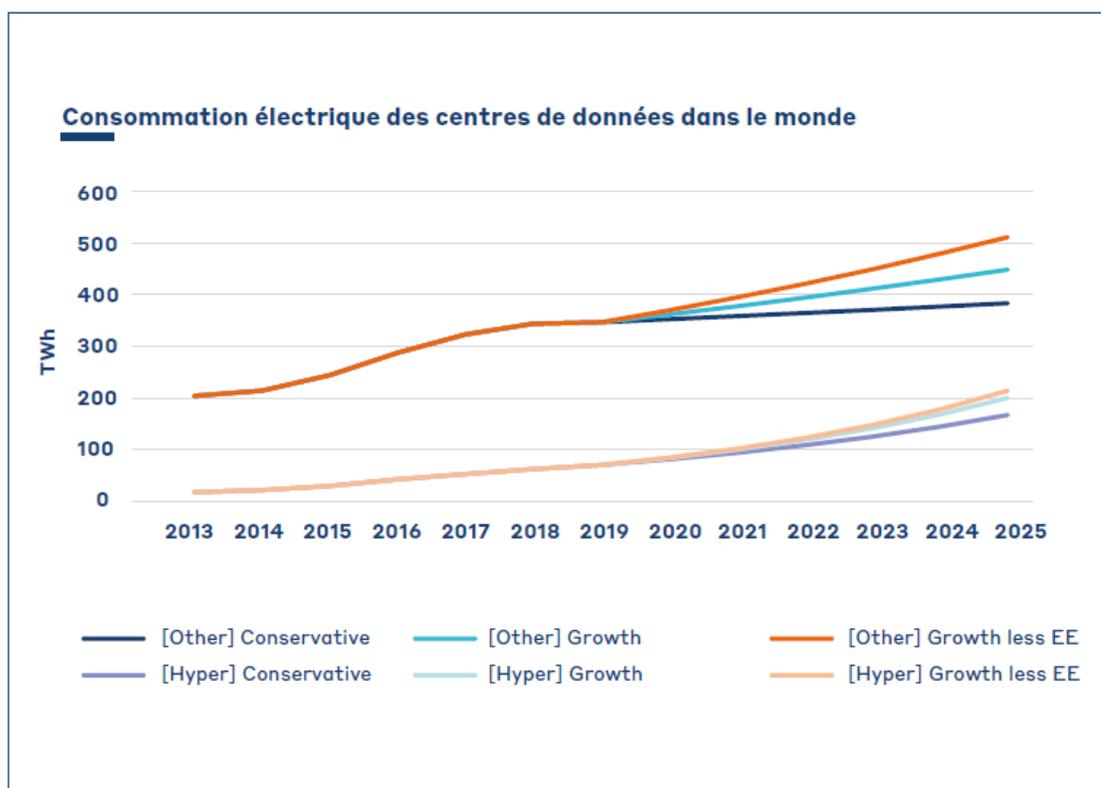


Figure 5 – Evolution 2013-2025 de la consommation électrique des centres de données dans le monde.
 Préfixes « [Hyper] » : scénarios de la consommation des centres de données « hyperscale »
 Préfixes « [Other] » : scénarios de la consommation des autres centres de données

Figure 24 : évolution 2013-2015 de la consommation électrique mondiale de centres de données (*The Shift project, 2021, p. 20*). Les courbes [hyper], en pastel, représentent les centres de données « hyperscale », et les courbes [other], le reste des centres de données. Les centres de données « hyperscale » sont actuellement supposés héberger jusqu'à 50 % des données mondiales.

L'impact énergétique des centres de données, qui augmente à mesure que les salles informatiques se densifient et que les surfaces des équipements s'étendent, est pris en compte par l'Union Européenne via la publication d'un code de conduite européen en 2008. Celui-ci propose aux opérateurs un ensemble de bonnes pratiques à intégrer pour diminuer leur consommation d'énergie ainsi que des modalités d'engagement « à la carte » et optionnelles rejoignant les logiques économiques et commerciales des acteurs du secteur. Un indicateur de performance énergétique, le *Power Usage Effectiveness (PUE)* est créé par un consortium d'acteurs privés du secteur en 2007, et proposé à la normalisation ISO en 2010. Cet indicateur indique à travers une valeur numérique la part de la consommation énergétique dédiée à l'alimentation du pôle « IT » par rapport à la consommation énergétique totale du centre. Plus le PUE est bas, plus le centre de données est considéré comme énergétiquement efficace (Carnino & Marquet, 2018, p. 58). Un PUE de 2 indique autant de dépense énergétique pour le pôle IT que pour le pôle infras. Un PUE de 1 signifie que la totalité de l'énergie du centre est consacrée à l'énergie IT, sans dépense nécessaire pour la partie « infras ». C'est une situation théorique, quasiment impossible à atteindre dans les faits. Les PUE se situent à l'origine de la création de l'indice entre 1,8 et 2,5. L'étude de l'ADEME-ARCEP de mars 2023 prend comme indice PUE de référence 1,93 pour les centres de données publics locaux et nationaux et d'entreprises en 2020, 1,55 pour les centres de données gérés par des opérateurs et 1,17 pour les centres de données HPC. Les opérateurs comme *Digital Realty*

communiquent sur des PUE de l'ordre de 1,3 pour leur futur centre d'hébergement de données MRS 5 à Marseille (*Digital Realty*, 2024), tandis que les GAFAM, et notamment *Google*, communiquent sur des PUE compris entre 1,10 et 1,20 pour leurs centres de données *hyperscale* (*Google*, 2024).

Traditionnellement, les systèmes de ventilation et de climatisation « classiques » des centres de données font circuler de l'air froid à travers un ensemble de racks contenant les serveurs, afin de refroidir les équipements *IT*. Une première rationalisation apparaît à la fin des années 1990, qui consiste à contenir les serveurs au sein d'unités plus resserrées, permettant une gestion plus efficace des flux d'air à travers des systèmes d'allées chaudes et d'allées froides (Carnino & Marquet, 2022, p. 317). Ce procédé de refroidissement est encore majoritaire aujourd'hui dans les centres de données (*Infranum*, 2019, p. 27) et explique la tendance constatée à la mobilisation de régions froides pour implanter des *clusters* de centres de données, mobilisant les conditions extérieures offertes par l'environnement pour tempérer les activités (Cattaruzza, 2019, p. 79-80). Dans le cadre de la rationalisation des processus liée à l'industrialisation des centres de données, le refroidissement par air (*air cooling*) est maintenu comme une option de gestion possible, parfois concurrencé par le refroidissement par eau (*water cooling*) dont les propriétés thermiques permettent un meilleur rendement. Ce système est déjà expérimenté en 2009 par *Google* à Hamina (Finlande), avec la réhabilitation d'une ancienne usine littorale de fabrication de papier achetée pour 40 millions d'euros par la firme américaine. Là où on fabriquait autrefois des rouleaux de papier destinés à porter de l'information imprimée, *Google* utilise les eaux froides d'un bras de la mer Baltique pour refroidir un *data center* d'envergure mondiale, situé au cœur de l'Europe et bien relié au reste de son réseau (Bakis, 2013, 57-59). Ces solutions nouvelles sont aujourd'hui utilisées par les grands gestionnaires de centres d'hébergement de données et massivement mis en scène dans les campagnes de communication. Une plongée dans la communication des opérateurs révèle une préoccupation massive et constante pour la mise en œuvre de solutions innovantes dans l'approvisionnement en énergies renouvelables des centres de données. Ces axes de communication sont renforcés dans le rapport RSE 2023 de *Digital Realty* par des prises de positions marquées en termes d'engagements sociétaux comme le soutien à l'éducation, aux politiques locales de développement ou à la gestion des catastrophes naturelles, et la promotion d'une gouvernance interne transparente et inclusive rayonnant sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Ces positionnements sont exposés dans des tonalités chromatiques pastel où le vert et le blanc dominent (*Digital Realty*, 2024, p. 14-23). Ce même rapport indique 1,4 GW, soit 1 400 MW, d'approvisionnement énergétique en énergie solaire et éolienne contracté depuis 2016 et 5,7 MW de puissance installée sur sites fournis par des panneaux solaires, couvrant en énergie renouvelable 66 % des besoins électriques du groupe à l'échelle mondiale. Le rapport annonce également la signature d'un contrat d'achat d'électricité avec *Engie* en février 2023, portant sur la provision à venir courant sur dix ans de 116 MW dans un parc solaire photovoltaïque en cours de construction dans le Brandebourg en Allemagne, et un contrat signé en décembre 2023 avec *Süwag Energie AG* garantissant 6000 MWh d'énergie issue des centrales hydrauliques de la rivière Main pour alimenter les centres de données de Francfort. D'autres contrats sont à venir en Australie, pour faire passer les centres de la région de Melbourne de 66 à 100 % d'approvisionnements électriques issus d'énergie renouvelable dans un horizon proche. Le rapport annonce une économie de 3,4 millions de tonnes d'émission équivalent CO₂ en 2023, soit l'équivalent de l'émission carbone de 665 300 foyers américains par an. En parallèle, le rapport annonce une

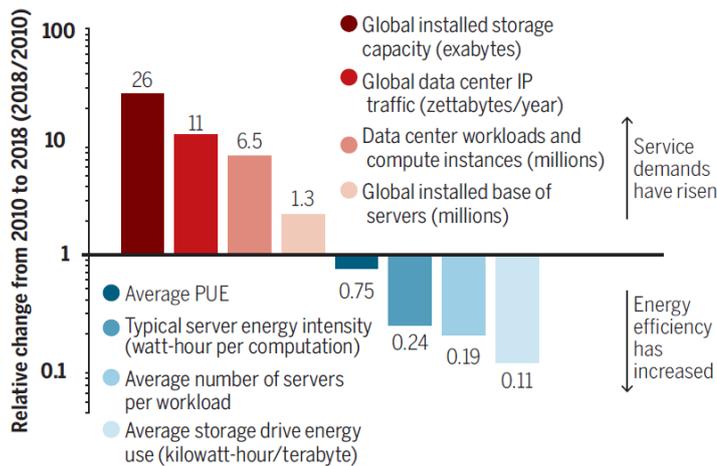
réduction de la dépense en eau de 14 % par rapport à 2022 et affiche diverses certifications dans les domaines environnementaux (*Digital Realty*, 2024, p. 7-11). *OVHcloud* communique également sur l'efficacité de ses centres de données, comme celui de Beauharnois au Canada, qualifié d'un des « centres de données les plus écologiques de l'industrie, propulsé à la fois par l'hydroélectricité du Québec (l'une des plus faiblement émettrices de carbone au monde), et les innovations brevetées d'*OVHcloud*, au premier rang desquelles sa technologie de refroidissement par eau, qui capte la majorité de la chaleur émise par les serveurs et a permis d'abolir le recours à l'air conditionné. » (*OVHcloud*, 6 octobre 2022). Une immersion dans l'univers de *Google* fait franchir un cap supplémentaire, avec un texte concis présentant la firme comme administrant des centres de données « en moyenne, deux fois plus efficaces qu'un centre de données d'entreprise moyen¹¹³ », et se positionnant en « leader par l'exemple » (*leading by example*), avec un PUE moyen de 1,10 sur l'ensemble de ses centres, contre 1,67 pour le reste de l'industrie, grâce à des systèmes intelligents de refroidissement pilotés par intelligence artificielle (*Google*, 27 février 2020). *Google* annonce dans son rapport RSE 2019 avoir atteint la neutralité carbone depuis 2008 et couvrir 100 % des besoins énergétiques mondiaux de ses équipements en énergie renouvelable depuis 2017. Les progrès dans l'efficacité des centres de données sont également soulignés dans une publication dans la revue *Science*, promue par *Google* dans sa communication, mettant en regard l'amélioration des capacités de stockage des centres de données au niveau mondial (550 % d'augmentation des capacités de stockage entre 2010 et 2018) et l'augmentation de la consommation énergétique de ceux-ci, de l'ordre de 6 % sur la même période. L'article souligne également la stabilité en valeur relative de la part de la consommation énergétique des centres de données par rapport au reste de la consommation mondiale sur la période, de l'ordre de 1 % (*Google*, 27 février 2020). Malgré les biais de représentation que cette impression de stabilité dans la dépense énergétique promue par *Google* peut engendrer¹¹⁴, la consultation de l'article donne des éléments intéressants sur les évolutions techniques des centres de données sur la période, dont les progrès sont indéniables.

L'article de *Science* indique que les centres de données les plus efficaces en termes énergétiques atteignent actuellement un PUE de 1,1 voire en dessous, ce qui est proche de la valeur minimale atteignable. L'article indique également que la migration du parc mondial, actuellement dispersé et connaissant des performances énergétiques diverses, vers des centres de données *hyperscale* à haute efficacité énergétique dans un futur proche, permettra d'absorber un doublement des capacités de stockage sans augmentation sensible de l'énergie mondiale consommée par le parc des centres de données.

¹¹³ « On average, a Google data center is twice as energy efficient as a typical enterprise data center » (*Google*, 27 février 2020).

¹¹⁴ La stabilité relative de la part des centres de données dans de la consommation énergétique mondiale se fait dans le cadre d'une consommation énergétique mondiale qui augmente dans des proportions supérieures à celle des centres de données. La consommation énergétique mondiale passe d'environ 20000 TWh en 2010 à 25 ou 27000 TWh en 2023, connaissant une augmentation d'environ 30 %. L'article de *Google* situe la part des centres de données « autour de 1 % sur la période », tandis que l'article de *Science* la fait passer de 1,1 % en 2010 à 1,5 % en 2018, si on prend les estimations hautes de consommation évoquées dans l'article (*Science*, 28 février 2020, p. 984).

Trends in global data center energy-use drivers



PUE, power usage effectiveness; IP, internet protocol.

Figure 25 : évolutions techniques dans les centres de données sur la période 2010-2020 (Science, 28 février 2020, p. 985). Du rouge au bleu : à gauche, capacités de stockage, volumes de données échangées, puissance de calcul, nombre de serveurs, qui augmentent, et à droite PUE moyen, énergie moyenne par serveur, nombre de serveur moyen par charge de travail, consommation énergétique moyenne par téraoctet, qui diminuent. Le coefficient de changement sur la période, augmentation ou diminution, est indiqué sur les barres.

Le graphique n°2 de la figure 26 présente une évolution de la répartition de l'énergie au sein des *data centers*, évoluant vers une meilleure efficacité énergétique et consacrant plus d'énergie effective pour les serveurs. Dans le graphique n°3 de cette même figure, la typologie des *data centers* se concentre autour de la catégorie « *hyperscale* », sans connaître d'augmentation massive de la consommation énergétique malgré le quadruplement des données traitées sur la période. Dans le graphique n°4, la répartition mondiale des centres de données s'affine, avec trois blocs prédominants : Amérique du Nord (*North America*), Asie (*Asia Pacific*), Europe de l'Ouest (*Western Europe*). L'étude indique toutefois des données parcellaires pour les centres de données originaires d'Asie (Science, 28 février 2020, p. 985-986).

Historical energy usage and projected energy usage under doubled computing demand

Doubled demand (relative to 2018) reflects current efficiency trends continuing alongside predicted growth in compute instances.

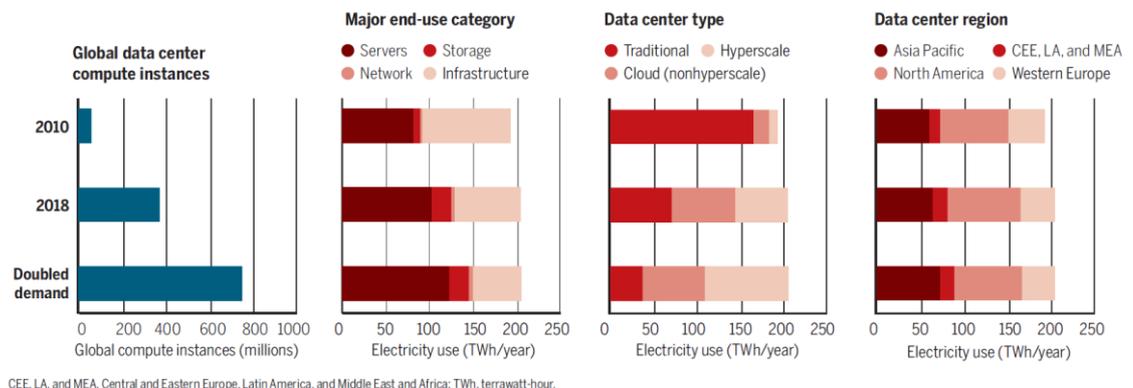


Figure 26 : éléments prospectifs sur les consommations énergétiques des centres de données (Science, 28 février 2020, p. 986). Les barres horizontales du haut indiquent la situation en 2010. Les barres du milieu, la situation en 2018. Les barres du bas sont des modélisations établies sur la base d'un doublement des données traitées par rapport à 2018.

On le voit, les enjeux environnementaux sont importants en termes d'image pour les hébergeurs, qui mettent en valeur le soin apporté aux performances écologiques de leurs établissements depuis déjà plusieurs décennies (Bakis, 2013, 79). Ce positionnement ne peut être assimilé qu'à du *marketing*, car il rejoint des préoccupations économiques évidentes et de haute technicité. Les *hyperdata centers*, à l'efficacité énergétique supérieure aux *data centers* traditionnels, captent une proportion croissante du trafic, d'environ 50 % en 2020 et de près des deux tiers en 2025 (*The shift project*, mars 2021, p. 19), dans une architecture web performante et très concurrentielle. Celle-ci présente le paradoxe de porter des efforts puissants et effectifs dans la gestion des flux numériques, permettant en retour des usages dérégulés aux conséquences sociales, environnementales et politiques préoccupantes. Les communications rassurantes des opérateurs et hébergeurs concernant leur effort environnemental et les opportunités réelles offertes par le numérique ne doivent ainsi, semble-t-il, pas servir de paravent aux questionnements originels et philosophiques sur l'usage du numérique et ses conséquences multi-niveaux.

Aménager le territoire, ou rematérialiser le cloud

Penser l'implémentation locale des centres de données dans le territoire revient à faire un saut d'échelle, rendant palpables et matériellement accessibles les problématiques mondiales évoquées précédemment. La prise en compte des centres de données dans les politiques d'aménagement territoriales permet d'intégrer les enjeux du numérique dans les représentations des aménageurs et des citoyens et dans les dynamiques économiques et écologiques réelles. Cette entreprise semble nécessaire pour répondre aux enjeux pluriels posés par l'immixtion du numérique dans la vie sociale de tout un chacun. La figure 27 présente des échelles d'appropriation des enjeux liés aux centres de données. À ce jour, il n'existe pas encore de stratégies d'implantations régionales définies à l'échelle du territoire régional parisien (Agence Paris Région, 2023, p. 68), premier centre d'implantation des centres de données en France, même si des dynamiques économiques réelles existent, comme nous l'avons vu. Les impacts sociaux et environnementaux générés par le système numérique sont souvent invisibilisés et peu pris en compte, et contrastent avec les services rendus par celui-ci, généralement considérés positifs notamment lorsqu'on les compare avec des services non numériques équivalents. Penser l'intégration de centres de données revient à ne pas éluder les problématiques des impacts du numériques, dans une logique de responsabilisation vis-à-vis de pratiques devenues centrales dans les enjeux citoyens, démocratiques, écologiques et économiques. Penser les stratégies locales d'intégration en regard d'une stratégie d'ensemble, régionale voire nationale, permet la mise en cohérence de différentes problématiques, notamment les questions de stratégies d'aménagement et de résilience des réseaux de distribution électrique, en partenariat avec les acteurs du secteur. L'objectif est ici d'éviter le développement de centres de données dans les secteurs géographiques sous pression, d'éviter un « double raccordement » entre les réseaux *Enedis* et RTE¹¹⁵, et de prévenir la sur-anticipation des opérateurs, qui surestiment la montée en charge de leur activité et demandent des raccordements électriques supérieurs à leurs besoins. Penser une intégration régionale des centres

¹¹⁵ Comme évoqué en partie II, l'opérateur *Data4* abandonne dans les années 2010 un projet d'implantation à Aubervilliers face au délai de raccordement au réseau électrique de RTE jugé trop long, et s'installe finalement au sud de la Région parisienne à Marcoussis. *Interxion* négocie pour sa part directement avec RTE pour construire les postes de raccordement sur son terrain et accélérer l'implantation de son centre (Carnino & Marquet, 2022, p. 325).

de données, plutôt que de la subir, amène également à considérer des problématiques d'aménité urbaine et de prise en compte des impacts sociaux et paysagers générés par l'implantation des centres de données. Ces questions sont éludées au niveau mondial par les géants du numérique, et peu accessibles aux aménageurs de proximité (maires), qui peuvent parfois être amenés à agir en réponse à des opportunités ponctuelles. Le choix d'une *clusterisation* à l'échelle régionale présente les avantages d'intégrer les problématiques numériques dans les plans locaux d'urbanisme, de planifier l'approvisionnement énergétique et de mieux répartir la charge entre les acteurs du secteur (Enedis et RTE) tout en respectant les critères de sobriété foncière. Elle propose un cadre de dialogue facilité avec les filières du marché, mais a le désavantage de créer des pôles spécifiques et monofonctionnels, avec une production de chaleur résiduelle concentrée. La dissémination des implantations permet de son côté de choisir à l'échelle du territoire les espaces stratégiques pour accueillir des centres de données en fonction des opportunités foncières ou de bâtiments à réhabiliter. Elle répartit également les risques et nuisances sur le territoire, tout en présentant le danger de limiter l'appropriation des dossiers par les acteurs locaux et de favoriser des projets sur de grands sites participant au phénomène d'extension urbaine. Disséminer les centres ne favorise à l'inverse pas nécessairement l'émergence d'une région spécialisée, comme peut l'être le pôle d'hyperconnectivité d'Amsterdam (IPR, 2023, p. 54-61).

Thèmes \ Échelles	1. Mondiale et nationale	2. Régionale	3. Territoriale	4. Locale (projet)
consommation d'esp.		*	*	*
urbanité			*	*
paysages			*	*
biodiversité			*	*
risques technologiques				*
risques naturels				*
pollutions				*
ondes				*
bruit				*
îlot de chaleur			*	*
GES	*	*	*	*
énergie	*	*	*	*
eau	*	*	*	*
matériaux	*	*	*	*

Les étoiles dans le tableau indiquent les composantes de l'environnement sur lesquelles il semble pertinent de s'intéresser à l'impact des data centers. En première intention, on n'a indiqué qu'une seule étoile par case, mais on pourra aussi indiquer de 1 à 3 étoiles, selon la pertinence, en distinguant par des couleurs différentes ce qui est habituellement évalué aujourd'hui (en noir) de ce qui devrait être évalué demain (en rouge).

Figure 27 : échelons d'appropriation des composantes environnementales touchant aux centres de données (IPR, 2023, p. 54).

Envisager l'implantation de centres d'hébergement de données sur un territoire revient à considérer des composantes et contraintes fonctionnelles, évaluables d'après des critères objectifs comme le coefficient d'emprise au sol (CES) ou le *Power Usage Effectiveness*¹¹⁶ (*PUE*) et intégrant des critères de durabilité dans la construction ou la rénovation du bâtiment. L'intégration urbaine, peut être travaillée via la requalification de bâtiments ou paysages dégradés ou favorisée par l'insertion des centres dans un tissu mixte d'activité et l'adoption d'un *design* architectural réfléchi dans le cadre d'une intégration urbaine (dit « effet-vitrine »), contrastant

¹¹⁶ D'autres critères existent, intégrant l'énergie valorisée (chaleur fatale recyclée) dans l'indice d'efficacité énergétique du *data center*, comme les *Energy Reuse Factor (ERF)* et *Energy Reuse Effectiveness (ERE)*.

avec la stratégie de *cluster*. La problématique des nuisances sonores, règlementée par un arrêté du 23 janvier 1997 sur la limitation des bruits émis dans l'environnement par les ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement), est à porter auprès des riverains. La limitation des émissions de gaz à effet de serre pour les centres de données tient notamment à la rationalisation des consommations de fioul des groupes électrogènes des bâtiments, régulièrement testés, générant un fort pouvoir de réchauffement¹¹⁷. Ceux-ci peuvent être remplacés par d'autres formes d'énergie, comme le gaz, et leur stock peut être limité à 72 ou 48 heures pour limiter les risques d'impact en cas d'accident. Des tests et suivis réguliers sont à mettre en place pour garantir la conformité des rejets d'air, d'eau et l'écoulement de fioul ou autres fluides, ainsi que de préventions des incendies et de vérification des raccordements aux poteaux incendies. La valorisation de la chaleur fatale émise par le centre de données, ainsi que son intégration dans les plans air climat régionaux, peuvent possiblement être soumises comme critères au titre de l'article 28 de la loi REENF (« réduire l'empreinte environnementale du numérique ») du 15 novembre 2021, et bénéficier du taux réduit de la taxe intérieure sur la consommation finale. La sobriété énergétique est également à porter à travers des mesures d'efficacité dans la conception des systèmes de ventilation et de pilotage, avec une possible diminution des besoins de climatisation par un passage de 26 à 28° C dans les locaux techniques.

Ces enjeux, loin d'être triviaux, sont en cours d'intégration par les acteurs publics, et des initiatives sont prises sur l'ensemble du territoire par les acteurs publics dans le cadre des centres d'hébergement de proximité, comme nous l'avons vu au Mans (Banque des territoires, 7 mai 2024). Les départements de la Gironde (33), des Landes (40), de la Manche (50), de l'Oise (60), des Yvelines (78) et de la Somme (80) se dotent également de centres de données publics mutualisés, pour héberger les données des communes et EPCI du territoire, avec de bonnes garanties de disponibilité et résilience des données, intégrant les normes du *cloud* de confiance *SecNumCloud* (Banque des territoires, 4 juillet 2024). L'équipement des territoires en structures d'hébergement à large échelle fiables et résilientes, dans un mode de gestion public ou de colocation mixte, qui contrevient aux mutations englobantes en cours à l'échelle mondiale dans lesquelles les données sont largement captées par les plateformes d'intermédiation américaines semble une première étape primordiale pour intégrer de façon proactive les enjeux démocratiques et écologiques intenses posés par l'extension du numérique. À ce titre, le scénario prospectif tendanciel de l'ADEME-ARCEP, qui prévoit une disparition des centres de données publics nationaux et locaux à l'échelle 2050 dans le scénario tendanciel, au profit de centres d'hébergement génériques de type « *cloud* » interroge. Il ne semble en accord ni avec les ambitions ni avec les réalisations des acteurs publics locaux et nationaux, qui s'engagent dans la construction de centres de données locaux publics résilients et de confiance. Cette approche de la part de l'ADEME est sans doute à considérer comme un positionnement technique, visant à simplifier la typologie dans les modélisations. Cette simplification acte que le panel des centres de données publics locaux, actuellement hétérogène, est amené à évoluer en centres de données de type *cloud*, mais opéré par des acteurs publics ou sur le mode de partenariats public-privé (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 58-64).

¹¹⁷ Hydrofluorocarbones (HFC), entrant dans la composition des fluides frigorigènes et pouvant générer un pouvoir réchauffant jusqu'à 10 000 fois supérieur au CO₂ (IPR, 2023, p. 58).

B. POLITIQUES NUMERIQUES ET CITOYENNETE EN FRANCE ET EN EUROPE

B1 – Stratégie européenne

Croissance verte et innovation technologique

La notion de croissance verte représente un axe de développement stratégique pour l'Europe, visant à faire converger transition écologique et transition numérique (Taïar, 2024, 7). Cette stratégie donne à l'Europe l'objectif d'être le premier continent « climatiquement neutre » d'ici à 2050, et est formalisée par Ursula Von den Layen, Présidente de la Commission européenne, en décembre 2019 sous la forme d'un « pacte vert européen » visant à atteindre zéro émission nette de gaz à effet de serre d'ici 2050 (Defard, 2023, p. 59). Le Conseil européen, institution de l'UE composée des chefs d'État ou de gouvernement des États membres, ainsi que du président du Conseil européen et du président de la Commission européenne, définit un programme stratégique 2019-2024 s'articulant autour de quatre axes : la protection des citoyens et libertés, incluant un volet de cybersécurité, le développement d'une base économique forte et dynamique, mobilisant fortement le numérique, la construction d'une Europe « verte, juste et sociale » mettant en œuvre l'accord de Paris sur le climat, et la promotion du rôle et des valeurs de l'Europe dans le monde (Conseil de l'Europe, 20 juin 2019). Ce document-cadre guide les travaux des différentes institutions européennes, notamment la Commission à l'initiative des propositions de loi, de la représentation extérieure de l'UE et de l'exécution des politiques de l'UE, et du Parlement européen en charge de l'élaboration et du vote des lois (règlements, directives, décisions ou résolutions). Il donne lieu à un important plan de relance nommé « *NextGenerationUE* », de 750 milliards d'euros, intégrant les principes de transition numérique et de transition verte, avec un minimum de 37 % de ces fonds alloués à la transition verte, doublant quasiment les fonds européens alloués à l'action climatique (Defard, 2023, p. 61).

La communication de la Commission européenne présentant le pacte vert promeut une « économie circulaire et propre » qui valorise la durabilité des produits, et lutte contre les microplastiques et emballages éphémères. Elle annonce une accélération de la collaboration avec les acteurs industriels, au premier rang desquels ceux de la sidérurgie, l'industrie chimique et l'industrie du ciment, considérés comme piliers de l'industrie européenne, pour engager une transition vers la décarbonation. Les rénovations économes des bâtiments ainsi que les mobilités durables et intelligentes sont également définies comme axes prioritaires, visant à une réduction de l'impact carbone des transports de 90 % d'ici à 2050. Les technologies numériques sont considérées comme cruciales pour opérer ce changement, et « l'intelligence artificielle, la 5G, l'informatique en nuage, le traitement des données à la périphérie (« *edge computing* ») et l'Internet des objets » sont possiblement à mobiliser pour accélérer et optimiser l'impact des politiques liées aux technologies numériques. Cela passe par exemple par la mise en place de « réseaux électriques intelligents, de réseaux de distribution d'hydrogène ou le captage, le stockage et l'utilisation du carbone, le stockage de l'énergie », visant à une convergence des acteurs au niveau européen. Les problématiques d'approvisionnement en minerais, considérées comme stratégiques, sont envisagées sous l'angle d'une chaîne de valeur à sécuriser, en partenariat avec les grands acteurs du secteur. Le circuit des batteries électriques est notamment identifié comme

prioritaire, avec des mesures législatives attendues sur le sujet. La communication acte la faiblesse du développement des circuits de recyclage concernant les minerais, avec seulement 12 % des matériaux utilisés qui proviennent de ces circuits :

« Entre 1970 et 2017, l'extraction annuelle mondiale de matériaux dans le monde a triplé et continue de croître, ce qui représente un risque majeur à l'échelle mondiale. Près de la moitié de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre et plus de 90 % de la perte de biodiversité et des conséquences du stress hydrique sont dus à l'extraction des ressources et à la transformation des matériaux, des combustibles et des denrées alimentaires. »

(Commission européenne, 11 décembre 2019).

Dans une communication du 10 mars 2020 intitulée « une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe », la Commission européenne appuie les orientations du pacte vert, et confirme l'ambition Européenne d'être une puissance industrielle s'inscrivant dans une histoire ancienne. L'écosystème des petites et moyennes entreprises, qui représentent 99% des entreprises européennes, est considéré comme une assise sociale et économique à protéger et à valoriser. Les technologies numériques sont mentionnées comme outils pour la création de nouveaux modèles commerciaux et comme sources de technologies propres. La Commission souhaite capitaliser sur l'implantation du réseau 5G, et ambitionne d'être pionnière sur le déploiement de la 6G (Commission européenne, 10 mars 2020). La stratégie industrielle renvoie vers une stratégie plus spécifique pour le numérique, intitulée « Façonner l'avenir numérique de l'Europe », annonçant une accélération des investissements dans le secteur et un soutien aux différentes formes du numérique (capital humain, connectivités, innovations « *deep tech* »), ainsi que dans des infrastructures d'énergie et de transport intelligentes (Commission européenne, 19 février 2020b).

Concernant l'approvisionnement en matières premières critiques, l'Union Européenne définit et actualise régulièrement une liste des matières premières critiques, incluant des éléments comme le *lithium*, le *cobalt*, le *graphite* et certaines terres rares. Ces matières premières sont jugées critiques en raison de leur importance économique ou des risques associés à leur approvisionnement. Les critères pour définir une matière comme étant critique incluent la dépendance élevée vis-à-vis de sources d'approvisionnement non européennes, la difficulté d'accès et la potentialité de perturbation de l'approvisionnement. Avec le Règlement 2024/1252 sur l'approvisionnement en matières premières critiques (*Critical Raw Materials*), le Parlement définit un cadre général pour harmoniser et coordonner les initiatives au niveau Européen, allant dans le sens d'un renforcement de la résilience de la chaîne d'approvisionnement et la définition d'axes de soutien prioritaires. L'objectif de ce règlement est de concilier la hausse de la demande en matières premières critiques dans un contexte de montée des tensions géopolitiques et de concurrence autour de l'accès aux ressources, tout en limitant les impacts sociaux et environnementaux qu'entraînerait une exploitation dérégulée et non coordonnée. Les projets de partenariats avec des pays tiers et pays ou territoires d'outre-mer (PTOM), intégrant le cadre de partenariats stratégiques, sont soumis à accord de la Commission Européenne, qui évalue les critères de durabilité sociale et environnementale à l'aulne des standards Européens. Les projets sont soumis à des évaluations et autorisations environnementales concernant l'eau, les sols, les habitats et les oiseaux, définis à l'article 12 du Règlement. Par rapport au volume

général de matières premières stratégiques consommées, l'Union Européenne vise à atteindre à l'horizon 2030 les niveaux de référence suivant : 10 % pour les capacités d'extraction interne à l'UE, 40 % pour les capacités de transformation et 25 % pour les capacités de recyclage, comme défini à l'article 5 (Journal officiel de l'Union européenne, 3 mai 2024). Les notions de sobriété ne sont pas abordées dans ce règlement visant à sécuriser les approvisionnements.

Souveraineté des données et stratégie numérique

Flottant au-dessus de la partie peu visible des infrastructures terrestres, l'espace sémantique du cyberspace est lui aussi en proie à de forts enjeux de gouvernance et de citoyenneté. Il est le lieu d'expression des rapports d'influence sur la gouvernance du net entre acteurs étatiques internationaux, mais également entre acteurs privés et publics, notamment autour de la question de l'intégration des GAFAM dans le cadre de gestion des données personnelles et des problématiques de modération de l'espace relationnel. La Directive européenne 2013/37/UE sur la réutilisation des informations du secteur public pose un cadre pour la stratégie numérique européenne, valorisant l'ouverture et la mise à disposition des données par les administrations publiques (*open data*) dans une logique de transparence de l'action publique, du secteur de la recherche et des entreprises, au sein d'un marché partageant les mêmes standards et dans le but de permettre leur mobilisation par les citoyens (Journal officiel de l'Union européenne, 27 juin 2013). La directive 2013/37/UE est remplacée par la Directive 2019/1024/UE, qui met l'accent sur les données à forte valeur ajoutée, notamment issues de secteurs spécifiques dans lesquels opèrent des entreprises publiques comme l'eau, l'énergie, les transports ou la météorologie et dont la description porte mention de données précises pouvant être réutilisées en formats ouverts et accessibles via des *API* (Journal officiel de l'Union européenne, 26 juin 2019). Le Règlement général sur la protection des données (RGPD), adopté par le 27 avril 2016, garantit pour sa part un ensemble de droits appliqués aux données à caractère personnel stockées sur le territoire et de l'Union Européenne, et sur les données à caractère personnel de tous les citoyens Européens. Avec le RGPD, la directive sur l'ouverture des données constitue l'ossature de la stratégie Européenne en matière de stratégie numérique. En 2020, la Commission Européenne entend définir les contours d'une « stratégie européenne pour les données », s'appuyant sur le cadre législatif existant, et annonce les règlements sur la gouvernance et l'usage commercial des données dans l'espace numérique à venir (Commission européenne, 19 février 2020a). Trois règlements déclinent les orientations stratégiques de la Commission :

- Concernant la gouvernance des données au sein de l'UE, un Règlement (UE) 2022/868, adopté le 30 mai 2022,
- Concernant la régulation du marché numérique et l'application de la libre concurrence, le Règlement 2022/1925/UE, ou *Digital Markets Act (DMA)*, impose notamment aux entreprises dominantes sur le marché¹¹⁸ l'interdiction de pratiques anti-concurrentielles, qui consisteraient à privilégier leurs services par rapport à d'autres et l'ouverture des API. La Commission se réserve pouvoir d'enquête et de sanction. Le retrait par *Google* de la suggestion automatique de ses produits *Google maps* (outil de cartographie) ou *Google flight* (comparateur

¹¹⁸ Sont notamment visées : *Alphabet, Amazon, Apple, Meta, Microsoft et ByteDance*, ainsi que vingt-deux plates-formes leur appartenant : *TikTok, Instagram, Facebook, LinkedIn, WhatsApp, Messenger, Android, iOS, Windows, Google, Chrome, Safari, YouTube* (Le monde, 6 mars 2024).

de vol) comme programmes par défaut en résultats sur son moteur de recherche est une des premières applications de ce règlement par un géant du numérique (Le Monde, 6 mars 2024).

- Concernant la régulation de la sphère informationnelle, un règlement (UE) 2022/2065, ou *Digital Service Act (DSA)*, vise à renforcer la responsabilisation des plateformes en ligne en matière de contenus, à protéger les utilisateurs de contenus illicites et à affirmer la transparence concernant la politique de modération et les algorithmes de recommandation de contenus et de publicités ciblées. Ce règlement s'applique à tous les prestataires de services en ligne (biens, contenus ou services), dont le contenu est accessible sur le marché Européen, quel que soit le lieu d'établissement des acteurs. Sont ainsi visés les fournisseurs d'accès à Internet, les services de prestations *cloud*, les plateformes de commerce en ligne et de diffusion de contenus et les grandes plateformes d'intermédiation¹¹⁹. La surveillance et les analyses sont menées au niveau européen par un Comité européen des services numériques, et déclinées dans chacun des vingt-sept pays de l'Union par un Coordinateur des services numériques (DSC), autorité indépendante désignée par chaque État membre. En France, le coordinateur national est l'ARCOM, désigné par la loi du 21 mai 2024 visant à sécuriser et réguler l'espace numérique. L'ARCOM agit en collaboration, le cas échéant, avec la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) et la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF) (Vie publique, 11 juillet 2024). Cette démarche forte de défense de la souveraineté Européenne dans l'espace sémantique, basée sur le soutien aux valeurs politiques et démocratiques de l'Union Européenne, se heurte à l'opposition parfois virulente des responsables de plateformes, comme l'illustre les réactions récentes d'Elon Musk, dirigeant de la plateforme de partage de contenus X, visé par une procédure formelle de la Commission européenne, au titre du DSA (Les Echos, 25 août 2024).

Les enjeux touchant aux données numériques ne se manifestent pas uniquement dans l'encadrement de l'espace sémantique du cyberspace. Ils touchent également à la sécurité des données hébergées sur le territoire Européen. Si des certifications protectrices contre l'extraterritorialité existent en France, via la qualification *SecNumCloud*, ce n'est pas le cas au niveau Européen, et les discussions autour de la protection des données sensibles sont toujours en cours, via des débats autour du projet de certification européenne *EUCS (European Union Cybersecurity Certification Scheme)*, piloté par l'Agence de l'Union européenne pour la cybersécurité (ENISA). Le projet de certification *EUCS* vise notamment à fournir un cadre de protection général harmonisé aux données hébergées sur le territoire européen, et suscite des débats entre partisans de critères de sécurisation stricts et partisans d'une approche plus technique, basée sur les acteurs du marché (CNIL, 19 juillet 2024 ; *Next.ink*, 18 avril 2024). La réponse au *Cloud act* américain, qui permet aux instances judiciaires américaines de mobiliser sans accord bilatéral des données personnelles européennes dans le cadre d'enquêtes criminelles, se heurte aux prérogatives du RGPD, et n'a pour l'instant pas encore trouvé de solution d'encadrement (Davis & Gunka, 2021, p. 63-66).

¹¹⁹ Sont notamment visés : *AliExpress, Amazon Store, Apple AppStore, Bing, Booking, Facebook, Google Maps, Google Play, Google Search, Google Shopping, Instagram, LinkedIn, Pinterest, Snapchat, TikTok, Wikipedia, X (anciennement Twitter), YouTube et Zalando* (Vie publique, 11 juillet 2024).

B2 – Feuille de route pour la France

Stratégie numérique

La loi pour une République numérique, votée en octobre 2016, s'inscrit dans la logique d'*open data*, et vise à la promotion d'une politique d'ouverture et de connaissance bâtie autour de trois axes : la circulation des données, la protection des individus et l'accès au numérique pour tous (Gomart et al., 2018, p. 12). En mars 2024, le Ministère de l'économie et des finances publie une feuille de route définissant les objectifs numériques de la France pour la décennie 2024-2030 (Ministère de l'économie, des finances, et de la souveraineté industrielle et numérique, 2024). Celle-ci comporte quatre points cardinaux, portant sur les compétences numériques des français, le déploiement des infrastructures numériques sur le territoire, l'intégration du numérique dans les entreprises et la qualité des services publics numériques. La publication par la France d'une stratégie numérique est une déclinaison des grandes orientations proposées par la Commission européenne, et rejoint les stratégies de déploiement du réseau haute connectivité déjà en cours sur le territoire avec les plans « France Très Haut débit » (FTHD) puis *Fiber to the Home (FttH)*, visant à généraliser les connexions fibre sur le territoire français. Cette stratégie dresse un bilan de l'état des avancées, les compare aux objectifs européens, et établit des projections à l'échelle 2030. Les compétences numériques s'acquièrent par exemple aux sein de la société via les « Maisons France services » pour les adultes et personnes âgées et lors du cycle secondaire pour les scolaires. Un renforcement de l'inclusion dans l'accès aux métiers des technologies de l'information et du numérique est proposé via le programme « TechPourToutes », visant à l'accompagnement de 10 000 jeunes femmes d'ici 2027. Concernant les connectivités, le rapport positionne la France au premier rang européen concernant le déploiement du réseau fibre (40% de la population connecté à 1 Gbits/s), et au onzième rang concernant le déploiement des réseaux 4G – 5G. La stratégie vise également à positionner la France en carrefour européen (*hub*) des données, mettant à profit sa situation géographique et la présence de grands acteurs sur le territoire reconnus pour leur expertise comme *Orange marine* ou *ASN*. Un soutien à la politique de production de semi-conducteurs sur le sol français est également annoncé dans le cadre de la politique d'accompagnement à la réindustrialisation, mobilisant 154 milliards d'euros d'investissement depuis 2020 sur les plans cumulés « France Relance » et « France 2030 », dont 40 milliards issus du Plan européen *NextGenerationUE* (Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique, 2024, p. 33). Concernant la numérisation des entreprises, le rapport acte un retard dans le déploiement de l'informatique en nuage et de l'intelligence artificielle dans les entreprises françaises. La France est en revanche bien classée concernant les services publics en ligne et l'ouverture des données. La logique de simplification des procédures administratives, dont les services sont accessibles via le portefeuille d'offres d'identité numérique « France Identité » est encouragée, inscrite dans le cadre du règlement Européen eIDAS sur l'identification électronique. Le rapport acte également l'intégration du numérique comme soutien à la politique de transition environnementale, dans le cadre des orientations définies par l'Europe, matérialisé par le soutien aux actions de connaissances menées par les instances de régulation (ADEME, ARCEP, ADEME), la promotion des pratiques d'écoconception et de l'économie circulaire, évoquée avec les loi REENF sur la Réduction de l'Empreinte Environnementale du Numérique en France de 2021 et la loi AGECE Relatives à la

lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire de 2020, à portée plus générale (Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique, 2024, p. 22).

L'adaptation aux réalités de l'informatique en nuage

Au-delà des enjeux d'intégration du numérique par les entreprises et les particuliers, et en attendant une possible harmonisation européenne sur le sujet des certifications de sécurité, la large diffusion des pratiques de *cloud computing* chez de nombreux utilisateurs (particuliers, entreprises, structures publiques) impose le sujet de l'informatique en nuage comme objet politique et stratégique en France dans la décennie 2009-2019 (Bômont & Cattaruzza, 2020, p. 149). Le *cloud* apparaît d'abord dans les représentations comme un enjeu industriel à promouvoir, dans un contexte de compétition internationale autour des nouvelles technologies et de politique de relance suivant la crise de 2008. Le gouvernement Fillon porte en 2009 l'idée d'un « *cloud* souverain », qui évolue finalement en projet de « *cloud* national » français. Le projet Andromède, lancé en 2011, associe des entreprises privées et publiques non spécialistes du domaine (*Thalès*, *Dassault Systèmes* et *Orange*) et des financements publics et aboutit aux éphémères offres de *cloud computing* *Cloudwatts* et *Numergy*, respectivement portées par Orange et SFR. Celles-ci se concentrent sur des offres d'hébergement (Bômont & Cattaruzza, 2020, p. 151-152). Ce projet, dans lequel l'État investit près de 75 millions d'euros, ne fait finalement pas long feu face à la concurrence des acteurs privés et la non prise en compte des entreprises françaises du secteur comme *Gandi*, *Ikoula* ou *OVHcloud*, leader européen du secteur de l'hébergement de données (Cattaruzza, 2019, p. 77). En 2013, le *cloud computing* figure dans un des trente-quatre plans de la Nouvelle France Industrielle portés par le Ministère Montebourg, mobilise des acteurs nationaux reconnus dans le domaine comme *OVHcloud* et *Atos* et prévoit la création d'un label européen de sécurité dispensé au niveau français par l'ANSSI, Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information. Le projet vise à « dynamiser la compétitivité des entreprises françaises » et « renforcer la souveraineté numérique sur les données personnelles », dans un contexte où l'affaire Snowden met en lumière les enjeux liés à la sécurité des données. Parallèlement, de nombreuses infrastructures de réseaux locaux (extranet et intranet) connectés ou non au réseau Internet via des dispositifs de routage, existent pour héberger les données de l'État, et faire fonctionner ses services. Ces services, accessibles aux agents des différentes administrations existent depuis les années 2000 et sont cloisonnés en « silos ». Un travail de mutualisation de ces réseaux locaux est entrepris dans les années 2010, dans le cadre du réseau *Ader/Sigma* qui vise à offrir une architecture résiliente administrée par les services de l'État apte soutenir le développement et mettre en conformité les hébergements de divers services et bases de données de l'état, comme la base *Légifrance*, des bases en gestion de ressources humaines (*OSIRH*, *ONP* ou *SICD*), documentaires (*SAPHIR*), gestion financière (*CHORUS*, *DIAPASON*) ou publication des textes (*ACTES*, *LEGHO*, *SOLON*) (Cottin, 2013, p. 316). Le réseau *Ader/Sigma* devient Réseau Interministériel de l'État (RIE) en 2013, service à compétence nationale consistant en un réseau privé virtuel ouvert uniquement aux administrations centrales et déconcentrées. L'ensemble de ces transformations intervient dans un contexte répondant aux orientations et directives européennes émises depuis les années 2000 qui visent à développer les offres des services publics sur internet et l'administration en ligne (Bradier, 2004).

Au niveau sécuritaire, le cloud est absent du *livre blanc sur la défense et la sécurité nationale* de 2013 et de la *Revue stratégique de défense et de sécurité nationale* de 2017, mais identifié comme technologie stratégique par la Direction Générale des Entreprises (DGE) en 2016 pour les dix ans à venir (Bômont & Cattaruzza, 2020, p. 155). Alors que les affaires de divulgation et d'utilisation de données numériques à l'international se multiplient (Affaire *Snowden* en 2013, *Clinton leaks* et *Macron leaks*, procès entre *Microsoft* et le gouvernement américain, cybercriminalité, lutte contre le terrorisme, *Cambridge Analytica...*), la notion de *cloud* réapparaît sous l'angle de la sécurisation, comme pilier de la transformation numérique à venir de l'administration publique. L'ANSSI élabore en 2016 une qualification de référence pour la France, *SecNumCloud*, pour qualifier les prestataires *cloud* quels que soient leurs types de prestations : *SaaS (Software-as-a-Service)*, *PaaS (Platform-as-a-Service)* et *IaaS (Infrastructure-as-a-Service)*. Cette qualification est attribuée à des prestataires après audit par l'ANSSI. Elle s'inscrit dans un contexte européen post-RGPD, dans lequel la mise en sécurité des données est encouragée, notamment via le *Cybersecurity Act*, ou « Règlement relatif à l'ENISA et à la certification de cybersécurité des technologies de l'information et des communications », adopté par le Parlement européen le 12 mars puis par le Conseil de l'Union européenne le 17 avril 2019 (Journal officiel de l'Union européenne, 7 juin 2019). Le *cloud* est acté comme « évolution structurelle » des systèmes d'informations, et le besoin pour l'État de s'appuyer sur un *cloud* « de confiance » et « sécurisé » pour soutenir l'ensemble de ses activités économiques et stratégiques est affirmé dans la « doctrine d'utilisation de l'informatique en nuage par l'État » formalisée dans la circulaire du 8 novembre 2018 relative à la doctrine d'utilisation de l'informatique en nuage par l'État, suivie par le décret n°2019-1088 du 25 octobre 2019. Les trois enjeux sous-jacents évoqués y sont la transformation numérique des activités de l'État, pour lequel les atouts du *cloud* (*scalabilité*, agilité, itinérance des services) sont mis à contribution, la souveraineté et la sécurité. Ces deux dernières notions sont envisagées dans un même ensemble, l'état devant rester autonome dans ses prises de décision et son développement industriel, avec des retombées sur l'écosystème français et européen, dans un marché dominé par les acteurs non-européens. Plusieurs types de *cloud* sont distingués (*cloud* privé, *cloud* public, *cloud* hybride, *cloud* mixte), pouvant chacun faire l'objet d'une certification¹²⁰. La circulaire de 2018 acte le développement massif de l'usage du *cloud* au sein des administrations, composant avec les offres existant sur le marché dans une optique de *cloud hybride*, adapté aux besoins et aux ambitions de l'état. Un premier niveau de « *cloud* interne », dit « 1^{er} cercle », administré par les services de l'État, permet le développement d'une offre *IaaS* et *PaaS* (infrastructure et plateforme en tant que service), permettant aux ministères de soutenir leur besoins Internet et de développer leurs offres de services. Un 2^{ème} cercle de *cloud*, dit « *cloud*

¹²⁰ Un *cloud* public est un *cloud* dans lequel un hébergeur, prestataire de service, ouvre son offre à tout utilisateur, individuel ou entreprise, contre inscription, sur la base d'une game de services génériques et déclinables. Ce marché est dominé par les GAFAM et comporte beaucoup d'acteurs, dont plusieurs grosses entreprises bien implantées comme *Microsoft Azure*, *Google cloud* ou *Ovhcloud*. Des questions de confidentialité importantes se posent, notamment dans un contexte d'opacité maintenu par certains acteurs américains. Le *cloud* privé à l'inverse dédie les ressources (processeur et puissance de calcul, stockage) à un seul utilisateur. *Ovhcloud* propose par exemple des serveurs réservés à un client. Ce service est facturé plus cher. Le *cloud* hybride est un mix entre les deux premiers types de *cloud*, et est un choix possible pour des structures souhaitant héberger des données en gros volumes, et par exemple utiliser un traitement différencié en *cloud* privé pour les données sensibles. Certaines plateformes sont dédiées à la gestion d'environnements *cloud* multiples, comme par exemple *Microsoft Azure ARC*. Enfin, le *multicloud* s'appuie sur un panel de plusieurs fournisseurs de services *cloud* (*AWS*, *Microsoft Azure...*), afin de diversifier les hébergements de ressources et gérer les communications entre données et services. Cette solution est possiblement pertinente en terme de résilience et d'évolutivité mais complexifie l'infrastructure.

dédié », s'appuie sur des offres sécurisées de *cloud computing* personnalisées pour les usages de l'État, sous supervision de l'ANSSI et de *France connect plateforme*¹²¹. Les deux premiers niveaux de *cloud* sont conformes au référentiel sécurité « *SecNumCloud Essentiel* » dispensé par l'ANSSI. Enfin, un 3^{ème} cercle de *cloud*, dit « *cloud externe* », permet de sélectionner des offres disponibles, notamment en mode *SaaS*, via la centrale d'achat publique UGAP, pour permettre à l'État une souplesse dans les usages et traitement de données et fonctionnalités peu sensibles. La circulaire n° 6282-SG du 5 juillet 2021, dite « *cloud au centre* », mise à jour le 25 mai 2023, confirme les orientations de 2018 et permet de mesurer le chemin parcouru (Cabinet de la Première Ministre, 2023). Le « *cloud interne* », correspondant au cercle 1 de la circulaire de 2018, est effectif au sein des ministères de l'Intérieur (*cloud Pi π*) et des finances (*cloud Nubo*), sous déploiement technique vertical par le biais du réseau Interministériel de l'État (RIE). Il permet une maîtrise étatique sur la chaîne allant de l'hébergement à l'exploitation et à la surveillance des infrastructures. Ces systèmes, gérés par les services de l'État, sont annoncés résilients, « même en cas de défaillance majeure d'Internet », et permettent l'hébergement de données sensibles dans des centres de données localisés en France et maintenus hors du giron du droit extra-européen. Un « *cloud commercial* » interne aux services de l'État, correspondant à l'ancien cercle 3, est également utilisé et accessible aux services de l'État sur la plateforme UGAP, avec ou sans certification ANSSI *SecNumCloud*, pour le développement d'outils métiers hébergeant des données moins sensibles. Le développement d'offres *cloud* « côté utilisateurs » et d'une « culture *cloud* » est encouragé par la directive 2023, via une formalisation des besoins dans le cadre de démarches projets, et le choix du niveau de sécurité adapté en fonction de la sensibilité des données traitées et des besoins de portabilité. Sous pilotage de la DINUM, ces évolutions consacrent l'avènement de la notion « d'État-plateforme » (numerique.gouv.fr, s.d.).

¹²¹ *France connect plateforme* est un dispositif de fédérations d'identités numériques utilisé pour sécuriser et faciliter l'accès aux services publics en ligne opéré par la direction interministérielle du numérique (DINUM). Le dispositif accueille des données, traitements et applications nécessitant un certain niveau de pérennité.

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous voyons se dessiner une nouvelle architecture de l'Internet, héritière des réseaux de télécommunication du 19^e siècle, très solidement ancrée dans des dynamiques économiques de vaste ampleur et revêtant de multiples aspects stratégiques et philosophiques. Initialement déployée par les États et mobilisée dans le cadre des relations internationales, l'architecture des réseaux est aujourd'hui administrée en grande partie par des acteurs privés, agissant comme autant d'opérateurs œuvrant pour une cause commune, reposant sur les lois du marché et évoluant dans un contexte de gouvernance institutionnelle multiacteurs. Cette « œuvre commune », issue d'un réseau américain, s'est progressivement étendue à tous les acteurs mondiaux et réussit le défi pour l'instant remarquable de rester universelle, ouverte et gratuite, pour qui parvient à s'y connecter.

Le développement des offres de *cloud computing* bouleverse en profondeur l'architecture des systèmes d'information mondiaux, et aborde des questions géopolitiques aux incidences transversales touchant à l'extraterritorialité du droit des données hébergées, à des enjeux de souveraineté et de puissance nouveaux liées aux usages de l' « Internet des objets (*IoT*), *big data*, *machine learning* » et autre « intelligence artificielle » (Bômont & Cattaruzza, 2020), laissant entrevoir un « monde d'après » dont on peine à imaginer les limites. Si les impacts et possibilités de ces innovations sont immenses, il reste toutefois hasardeux d'en pronostiquer l'usage réel.

Les grands acteurs du numérique, nouveaux géants du pétrole, déploient des stratégies de concentration verticale consistant à s'implanter sur chaque étape de la chaîne logistique menant à la distribution de contenus et se positionnent en acteurs incontournables des espaces physiques et sémantiques du cyberspace. Face à ces dynamiques, le jeu des États n'a pas disparu. Sans nécessairement reconfigurer le cadre profond de leurs interactions, Internet ouvre un cap nouveau et incontournable qui accélère les temporalités et démultiplie les terrains d'expression. Pendant que les rivaux américains et chinois se lancent dans une forte compétition pour la domination physique du cyberspace et une course à la technologie, les Européens se positionnent en puissance d'influence capable, peut-être, de tenir tête aux acteurs privés du numérique via leur cadre législatif. Dans ce contexte, les dynamiques d'aménagement du territoire à l'échelon régional et local ne doivent pas être oubliées, car elles permettent une appropriation du sujet par des acteurs locaux, et des questionnements citoyens proposant d'autres angles de réflexion. Les centres de données publics de proximité offrent également une alternative salutaire à la main mise annoncée des géants du numérique sur l'hébergement des données.

Face à ces problématiques d'envergure, les questionnements écologiques sont, sinon mis de côté, essentiellement limités à des actions de connaissance et recommandations d'usages par les instances publiques, dont les prévisions sont modelées sur la dynamique de la croissance. La constitution d'une nouvelle infrastructure de l'Internet, résiliente, basée sur des infrastructures de transport et de stockage haute performance et sobres en dépenses énergétiques, permettent une extraordinaire inflation de la production des données échangées et un foisonnement d'usages qui démultiplie l'impact environnemental et social grandissant du numérique. Cet impact est matérialisé par une folle croissance des terminaux et objets connectés, engendrant des émissions de carbone, des consommations de

matières premières et d'eau en augmentation forte. Le numérique, englobant, mobilisé tantôt dans des solutions de pilotage intelligent de réseau au service de la sobriété, tantôt au service de logiques productivistes, peine à émerger comme un coupable désigné, tant il est victime des usages qui en sont fait. Ce constat appelle possiblement à des systèmes économiques alternatifs, passant par des prises de conscience à large échelle, dans le cadre de représentations amenées à évoluer.

« Ni ici, ni ailleurs », les militants du collectif *Stop Micro* ont raison lorsqu'ils appellent à penser le global pour agir sur le local, et penser le local pour agir sur le global. La dénonciation de l'impact environnemental du numérique passe inévitablement par une mise en cohérence des actions individuelles, appelant chaque acteur à se responsabiliser. « Ici et ailleurs », pourraient répondre les partisans d'un monde connecté, ouvert dans des temporalités qui nous dépassent, et qui rassurent l'homme en le faisant tendre vers une mémoire augmentée et prédictive.

« *Carbone & Silicium* », ouvrage de science-fiction paru en 2020, met en scène les questionnements existentiels de deux robots dans des époques allant du 21^e au 28^e siècles (Bablet, 2020). Les deux héros survivent à plusieurs générations d'humains, migrant régulièrement leur mémoire dans de nouveaux terminaux physiques à mesure que ceux-ci s'usent. À chaque cycle, ils hésitent entre la migration vers une nouvelle interface physique préservant leur relation interpersonnelle et exclusive, et la fusion au sein du réseau global composé de la mémoire partagée de tous les utilisateurs, qui leur permettrait d'abandonner leur enveloppe corporelle. L'augmentation du volume des données stockées et les usages « intelligents » qui peuvent en être faits apparaissent aujourd'hui comme participant à la construction d'une « mémoire accélérée », que l'auteur Alain Damasio évoque en postface de l'ouvrage. Ce regard déporté, traitant d'un univers fictionnel dont on voit poindre certains prémices, permet de prolonger les questionnements :

« Il arrive que des œuvres obligent à inventer le mot qui pourra les décrire. Et en restituer cette empreinte organique qu'elles laissent dans nos fibres, comme le rouge d'un sang pris dans une trame de chanvre.

Ce mot, se serait la *solstalgie*. La nostalgie d'une solitude qui ne serait pas totale, d'un lien entre humains qui ne serait pas coupé, d'un tissage collectif qui pourrait être autre chose qu'un *cluster* d'atomes interconnectés par le réseau. Un sentiment situé quelque part entre la solastalgie pré-traumatique d'un monde familier qu'on ne reconnaît plus et la nostalgie d'un retour au pays natal qui n'a jamais existé. »

(Damasio, dans Bablet, 2020)

SOURCES OU CONSTITUTION DU CORPUS

Corpus juridique et réglementaire

Conseil de l'Europe. (2024). *La Convention de Budapest et ses protocoles*. <https://www.coe.int/fr/web/cybercrime/the-budapest-convention> (consulté le 3 août 2024)

Cabinet de la Première Ministre. (2023). *Actualisation de la doctrine d'utilisation de l'informatique en nuage par l'État (« cloud au centre »)*. <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf/circ?id=45446>

Journal officiel de l'Union européenne. (2013, 27 juin). *Directive 2013/37/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 juin 2013 modifiant la directive 2003/98/ce concernant la réutilisation des informations du secteur public*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:175:0001:0008:FR:PDF>

Journal officiel de l'Union européenne. (2016, 4 mai). *Règlement 2016/679/UE du Parlement Européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679>

Journal officiel de l'Union européen. (2019, 7 juin). *Règlement 2019/881/UE du Parlement européen et du Conseil du 17 avril 2019 relatif à l'ENISA (Agence de l'Union européenne pour la cybersécurité) et à la certification de cybersécurité des technologies de l'information et des communications, et abrogeant le règlement (UE) no 526/2013 (règlement sur la cybersécurité)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fr/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0881&from=EN>

Journal officiel de l'Union européenne. (2019, 26 juin). *Directive 2019/1024/UE du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les données ouvertes et la réutilisation des informations du secteur public (refonte)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1024>

Journal officiel de l'Union européenne. (2024, 3 mai). *Règlement (UE) 2024/1252 du Parlement européen et du Conseil du 11 avril 2024 établissant un cadre visant à garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières critiques et modifiant les règlements (UE) no 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 et (UE) 2019/1020*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401252

Legifrance. (2024). *Code des postes et des communications électroniques. Chapitre V : Protection des câbles sous-marins (Articles L72 à L86). Version en vigueur au 21 août 2024*. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006070987/LEGISCTA000006150690/#LEGISCTA000006150690 (consulté le 28 février 2024).

Ministère des affaires étrangères. (1884). *Procès-verbal de la conférence internationale pour la protection des câbles sous-marins*. Imprimerie nationale. <https://bibliotheque-numerique.diplomatie.gouv.fr/ark:/12148/bpt6k5812564g>

Rapports et études publics

Conseil de l'Europe. (2019, 20 juin). *Un nouveau programme stratégique 2019-2024*. Communiqué de presse. <https://www.consilium.europa.eu/fr/press/press-releases/2019/06/20/a-new-strategic-agenda-2019-2024/>

Commission des affaires étrangères de l'Assemblée nationale. (2019). *Rapport d'information n° 2042, déposé en application de l'article 145 du Règlement : « Mer et océans : quelle stratégie pour la France ? »*. https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cion_afetr/115b2042_rapport-information#

Commission Européenne. (2019, décembre 11). COM/2019/640. *Communication de la commission. Le pacte vert pour l'Europe*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>

Commission Européenne. (2020a, 19 février). COM/2020/66. *Communication de la commission. Une stratégie européenne pour les données*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0066>

Commission Européenne. (2020b, 19 février). COM/2020/67. *Communication de la commission. Façonner l'avenir numérique de l'Europe*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=COM:2020:67:FIN>

Commission Européenne. (2020, mars 10). COM/2020/102. *Communication de la commission. Une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0102>

Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique (2024). *Feuille de route de la France. La décennie numérique 2024-2030*. https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/secteurs-d-activite/numerique/politique-numerique/feuille_route-numerique-la-decennie-numerique-2024-2030.pdf

Ministère des armées. (2022, février). *Stratégie ministérielle de maîtrise des fonds marins, dossier de presse*. https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/ministere-armees/20220211_GT%20MAITRISE%20FONDS%20MARINS_dossier%20de%20presse.pdf

Parlement Européen. (2013). *Les programmes de surveillance des États-Unis et leurs effets sur les droits fondamentaux des citoyens de l'UE. Etude*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2013/474405/IPOL-LIBE_NT\(2013\)474405_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2013/474405/IPOL-LIBE_NT(2013)474405_FR.pdf)

Préfecture de la Région Alsace. (2011). *Etude diagnostique et perspective des usages et services TIC en Alsace. Rapport Phase 2. Diagnostic et propositions d'orientations*. http://www.e-alsace.net/documents/fck/file/documents_pdf/Etude%20TIC%20usages%20et%20services%20Alsace.pdf

Infranum. (2021). *Le data center de proximité, Une opportunité pour le développement économique des territoires et la souveraineté numérique des collectivités*. <https://infranum.fr/wp-content/uploads/2021/06/INFRANUM-Guide-data-CZ-interactif-v1.pdf>

Internet society. (2019). *Global Internet report. Consolidation in the Internet Economy*. <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2022/12/2019->

[Internet-Society-Global-Internet-Report-Consolidation-in-the-Internet-Economy.pdf](#)

Institut Paris Région. (2023). *Le développement des data centers en Île-de-France. Eléments pour une stratégie régionale et territoriale.* https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/000pack4/Etude_2973/Etu-de-DataCenter-2023_VF.pdf

Présidence de la République. (2022). *Les lumières à l'ère numérique. Rapport de la commission janvier 2022.* <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/283201.pdf>

Sénat. (2014). *Note de synthèse. L'Europe au secours de l'Internet : démocratiser la gouvernance de l'Internet en s'appuyant sur une ambition politique et industrielle européenne.* <https://www.senat.fr/notice-rapport/2013/r13-696-1-notice.html>

Veille économique, environnementale et institutionnelle

Aménagement des territoires

Banque des territoires. (2024, 7 mai). *Nouveau data center public de proximité au Mans.* <https://www.banquedesterritoires.fr/nouveau-datacenter-public-de-proximite-au-mans>

Banque des territoires. (2024, 4 juillet). *Les data centers, catalyseur des nouveaux enjeux du numérique.* <https://www.banquedesterritoires.fr/les-datacenters-catalyseur-des-nouveaux-enjeux-du-numerique>

Veille économique

CBRE. (2023). *Europe Data Centres: Frankfurt, London, Amsterdam, Paris and Dublin. Q4 2022.* <https://www.cbre.de/-/media/cbre/countrygermany/data-centre/2022-q4-cbre-europe-data-centres.pdf>

CBRE. (2024). *Data Centres overview. Europe data centres.* <https://www.cbre.com/-/media/project/cbre/shared-site/insights/reports/european-data-centres-overview/european-data-centres-overview-final.pdf>

Cloudflare. (2024). *Connectez, protégez et développez sur tous les fronts.* <https://www.cloudflare.com/fr-fr/> (consulté le 18 juillet 2024)

Courrier international. (2023, 2 décembre). *Global Gateway, le pari de l'UE pour contrer la Chine.* <https://www.courrierinternational.com/article/geopolitique-global-gateway-le-pari-de-l-ue-pour-contrer-la-chine> (consulté le 10/09/24)

Digital Realty. (2024a). *Là où les possibilités prennent forme.* <https://www.digitalrealty.fr/> (consulté le 17 août 2024)

Digital Realty. (2024b). *Marseille Data Centers.* <https://www.digitalrealty.fr/data-centers/emea/marseille> (consulté le 17 août 2024)

Digital Realty. (2024c). *Digital Realty MRS5, vaisseau amiral de Marseille en tant que capitale européenne du numérique.* https://go2.digitalrealty.com/rs/087-YZJ-646/images/Infographic_Digital_Realty_2403_%20MRS5_FR.pdf

Digital Realty. (2024d). *Environmental, social and governance report 2023.* https://go2.digitalrealty.com/rs/087-YZJ-646/images/Report_Digital_Realty_2406_2023_ESG_Report.pdf

Fibre.guide. (s.d.). *Sartel THD, le réseau public RIP fibre de la Sarthe*. <https://fibre.guide/deploiement/rip/sartel-thd> (consulté le 8 août 2024)

Google. (2024a). *The Dalles, Oregon*. <https://www.google.com/about/datacenters/locations/the-dalles/> (consulté le 19 juillet 2024)

Google. (2024b). *Google Environmental Report*. <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>

Google. (2020, 27 février). *Data centers are more energy efficient than ever*. <https://blog.google/outreach-initiatives/sustainability/data-centers-energy-efficient/> (consulté le 25/08/24)

Internet society. (2020, 30 novembre). *L'Internet Society et l'IETF annoncent un nouvel accord stratégique pour favoriser les travaux en cours sur les normes ouvertes*. <https://www.internetsociety.org/fr/news/communiqués-de-presse/2020/linternet-society-et-lietf-annoncent-un-nouvel-accord-strategique-pour-favoriser-les-travaux-en-cours-sur-les-normes-ouvertes/> (consulté le 1er juillet 2024)

Investir au Cameroun. (2018, 7 septembre). *Long de 6 000 km, le câble sous-marin à fibre optique SAIL relie désormais le Cameroun au Brésil*. <https://www.investiraucameroun.com/telecom/0709-11326-long-de-6-000-km-le-cable-sous-marin-a-fibre-optique-sail-relie-desormais-le-cameroun-au-bresil> (consulté le 15 février 2024)

Investir Les Echos. (2023, 13 septembre). *Dominé par trois géants technologiques, le marché du cloud a encore de beaux jours devant lui*. <https://investir.lesechos.fr/marchés-indices/enquêtes/domine-par-trois-geants-technologiques-le-marche-du-cloud-a-encore-de-beaux-jours-devant-lui-1977808> (consulté le 15 juin 2024)

Investir Les Echos. 2023, 25 septembre. *À Toulon, Orange défend sa place dans la géopolitique des câbles*. <https://www.lesechos.fr/tech-medias/hightech/a-toulon-orange-defend-sa-place-dans-la-geopolitique-des-cables-1981013> (consulté le 15 juillet 2024)

Journal Saint-François. (2022, 2 mars). *OVHcloud : un nuage informatique de plusieurs centaines de millions de dollars à Beauharnois*. <https://www.journalsaint-francois.ca/ovhcloud-un-nuage-informatique-de-plusieurs-centaines-de-millions-a-beauharnois/>. (consulté le 28 juillet 2024)

L'essentiel. (30 avril 2024). *Fusion SES-Intelsat « Une excellente nouvelle pour l'économie luxembourgeoise »*. <https://www.lesessentiel.lu/fr/story/fusion-ses-intelsat-une-excellente-nouvelle-pour-leconomie-luxembourgeoise-103095076>. (consulté le 15 mai 2024)

La Tribune. (2024, 27 juin). *Câbles sous-marins : l'État rachète Alcatel Submarine Networks à Nokia*. <https://www.latribune.fr/techno-medias/telecoms/cables-sous-marins-l-etat-rachete-alcatel-submarine-networks-a-nokia-1000871.html> (consulté le 12 juillet 2024)

Le Monde. (2023b, 1er janvier). *Les GAFAM mettent la main sur les câbles sous-marins pour mieux contrôler Internet*. <https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/01/01/les-GAFAM-mettent-la>

[main-sur-les-cables-sous-marins-pour-mieux-controler-internet_6156258_3234.html](#) (consulté le 25 juillet 2024)

Le Monde. (2024, 6 mars). *DMA : ce qui change pour l'utilisation de Google Maps ou Messenger*. https://www.lemonde.fr/pixels/article/2024/03/06/digital-markets-act-ce-qui-change-pour-les-internautes-de-google-maps-a-messenger_6220402_4408996.html (consulté le 30/08/2024)

Les Echos. (2022, 14 novembre). *Marseille, en passe de devenir le cinquième hub mondial du trafic Internet*. <https://www.lesechos.fr/tech-medias/hightech/marseille-point-strategique-pour-les-autoroutes-numeriques-1878749>

Les Echos. (2023, 12 juin). *Utiliser les données pour voir plus loin : La boule de cristal moderne*. <https://www.lesechos.fr/partenaires/alteryx/utiliser-les-donnees-pour-voir-plus-loin-la-boule-de-cristal-moderne-1951428> (consulté le 12 juillet 2024)

Les Echos. (2024, 25 août). *Elon Musk, meilleur ennemi du DSA*. <https://www.lesechos.fr/tech-medias/hightech/elon-musk-meilleur-ennemi-du-dsa-2115020> (consulté le 30/08/2024)

Louis Dreyfus armateurs. (2023). *Sustainability report – Rapport RSE 2023*. https://www.lda.fr/wp-content/uploads/2024/05/LOUIS-DREYFUS-ARMATEURS_Rapport-RSE-2023.pdf

Marseille Fos. (2024a). *Marseille Fos, acteur de la transition numérique*. <https://www.marseille-port.fr/filieres/numerique> (consulté le 3août 2024)

Marseille Fos. (2024b). *Post LinkedIn sur l'atterrage du câble 2Africa*. https://www.linkedin.com/posts/grand-port-maritime-de-marseille_premi%C3%A8re-numerique-2africa-activity-6995765904936464385-qY_m/ (consulté le 1^{er} août 2024)

McKinsey. (2022, 28 janvier). *The data-driven enterprise of 2025*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-data-driven-enterprise-of-2025#/> (consulté le 12 juillet 2024)

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. (2019, 26 août). *La charte SAILS de bonnes pratiques du transport maritime pour la protection du milieu marin et du littoral*. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/charte-sails-bonnes-pratiques-du-transport-maritime-protection-du-milieu-marin> (consulté le 17 août 2024)

numerique.gouv.fr (s.d.). *Le Cloud pour les administrations*. <https://www.numerique.gouv.fr/services/cloud/> (consulté le 29 juin 2024)

Orange Marine. (2019). *Dossier de presse 2019*. <https://newsroom.orange.com/wp-content/uploads/2022/01/79a189f990540d72beba80a06eaf47c4.pdf>

Orange marine. (s.d.). *Maintenance de câbles*. <https://marine.orange.com/fr/nos-metiers/maintenance-de-cables> (consulté le 17 mars 2023)

Orange. (2023). *Rapport annuel intégré 2023-2024. On track to Lead the future*. <https://gallery.orange.com/h/c81HCI>

OVHcloud. (2022, 6 octobre). *OVHcloud célèbre son 10e anniversaire au Canada et annonce un nouveau centre de données à Toronto pour 2023*.

<https://corporate.ovhcloud.com/fr-ca/newsroom/news/ovhcloud-10-year-anniversary-canada/>

OVHcloud. (2024a). *Découvrir nos offres conçues pour votre activité.* <https://www.ovhcloud.com/fr> (consulté le 19/08/24)

OVHcloud. (2024b). *Comment la localisation d'un serveur améliore-t-elle les performances d'un site web ?* <https://www.ovhcloud.com/fr/bare-metal/location/> (consulté le 19/08/24)

OVHcloud. (2024c). *On vous héberge.* <https://www.ovhcloud.com/fr/web-hosting/> (consulté le 11/09/2024)

OVHcloud. (2024d). *emailing.* <https://marketplace.ovhcloud.com/c/emailing> (consulté le 11/09/2024)

Pitron, Guillaume. (2021). *L'enfer numérique : voyage au bout d'un Like.* Éditions les Liens qui libèrent.

W3C. (2024). *Current Members & Testimonials.* <https://www.w3.org/membership/list/> (consulté le 8 juillet 2024)

Veille environnementale

ADEME – ARCEP. (2022, janvier). *Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Volets 1 et 2.* <https://librairie.ADEME.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>

ADEME – ARCEP. (2023, mars). *Etude sur l'empreinte environnementale du numérique en 2020, 2030 et 2050. Volet 3.* <https://www.ARCEP.fr/la-regulation/grands-dossiers-thematiques-transverses/lempreinte-environnementale-du-numerique/etude-ADEME-ARCEP-empreinte-environnemental-numerique-2020-2030-2050.html>

ADEME. (2024, 19 janvier). *Numérique responsable : et si nous adoptions les bons réflexes ?* https://presse.ADEME.fr/wp-content/uploads/2022/01/DP_Numerique-responsable-190122.pdf

AGIT Alliance Green-IT. (2017). *Livre blanc. L'éco-conception des services numériques.* <https://alliancegreenit.org/media/position-paper-ecoconception-vf-v5-2.pdf>

ARCEP – ARCOM. (2002). *Référentiel des usages numériques.* https://www.ARCEP.fr/fileadmin/user_upload/pole-numerique-ARCEP-ARCOM/referentiel-usages-numeriques-ARCEP-ARCOM_mars2022.pdf

ARCEP – ARCOM. (2024, mai). *Référentiel général de l'écoconception des services numériques.* https://www.ARCEP.fr/uploads/tx_gspublication/referentiel_general_ecoconception_des_services_numeriques_version_2024.pdf

Citepa. (2024). *Rapport Secten - Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France 1990-2023.* https://ressources.citepa.org/Comm_Divers/Secten/Citepa_Secten%202024.pdf

France stratégie. (2024). *Quelle contribution du numérique à la décarbonation ?* https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2024-na_141_note_danalyse_juillet.pdf

Green-IT. (2021, 17 janvier). *Impacts environnementaux du numérique en France*. <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/02/2021-01-iNum-etude-impacts-numerique-France-rapport-0.8.pdf>

Green-IT. (2024). *Empreinte environnementale du numérique mondial* publiée en octobre 2019. <https://www.greenit.fr/etude-empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/> (consulté le 10/08/24)

Librairie de l'ADEME. (2024). *En route vers la sobriété numérique (et autres)*. <https://librairie.ADEME.fr/consommer-autrement/5086-en-route-vers-la-sobriete-numerique-9791029718755.html>

The Shift Project. (2019). *Lean ICT - Pour une sobriété numérique*. <https://theshiftproject.org/lean-ict/>

The Shift Project. (2021, mars). *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Note-danalyse-Numerique-et-5G-30-mars-2021.pdf>

Veille juridique et institutionnelle

CNIL. (2023, 8 novembre). *Ce qu'il faut savoir sur les règles d'entreprise contraignantes (BCR)*. <https://www.cnil.fr/fr/ce-quit-faut-savoir-sur-les-regles-dentreprise-contraignantes-bcr> (consulté le 25 juin 2024)

CNIL. (2024, 19 juillet). *Cloud : les risques d'une certification européenne permettant l'accès des autorités étrangères aux données sensibles*. <https://www.cnil.fr/fr/cloud-les-risques-dune-certification-europeenne-permettant-lacces-des-autorites-etrangeres>

Vie publique. (2024, 11 juillet). *Le règlement européen sur les services numériques (DSA) vise une responsabilisation des plateformes*. <https://www.vie-publique.fr/eclairage/285115-dsa-le-reglement-sur-les-services-numeriques-ou-digital-services-act>

Vie publique. (2024, 25 juillet). *Protection des données personnelles : un an d'application de l'accord UE-États-unis*. <https://www.vie-publique.fr/en-bref/294969-protection-des-donnees-personnelles-1-apres-laccord-ue-États-Unis>

Veille stratégique

ANSSI. (2024). *Panorama de la cybermenace 2023*. <https://www.cert.ssi.gouv.fr/uploads/CERTFR-2024-CTI-001.pdf>

Centre d'études stratégiques de la marine. (2017). *Les câbles et les GAFAM*. Brèves marines, 205. <https://www.defense.gouv.fr/sites/default/files/cesm/bm205GAFAM.pdf>

Challenges. (2024, 16 juillet). *Quand les Russes et les Chinois s'attaquent aux câbles de l'Internet*. https://www.challenges.fr/monde/quand-les-russes-et-les-chinois-s-attaquent-aux-cables-de-l-internet_899662 (consulté le 25 juillet 2024)

Gomart, T., Nocetti, J., & Tonon, C. (2018). *Europe : sujet ou objet de la géopolitique des données ?* Études de l'Ifri. https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/gomart_nocetti_tonon_europe_géopolitique_des_donnees_2018.pdf

Comité pour les métaux stratégiques. (2018). *Note de position sur la criticité des métaux pour l'économie française*.

<https://www.brgm.fr/sites/default/files/documents/2021-01/actualite-transition-energetique-utilisation-sous-sol-note-comes.pdf>

Fondation méditerranéenne d'études stratégiques (FMES). (2022). *Atlas stratégique de la Méditerranée et du Moyen-Orient, édition 2022*. <https://fmes-france.org/wp-content/uploads/2023/12/atlas-strategique-anglais-web.pdf>

Fondation méditerranéenne d'études stratégiques (FMES). (2023). *RSMed Rencontres Stratégiques de la Méditerranée les actes 2023*. https://fmes-france.org/wp-content/uploads/2024/05/actes-des-rsmed_final_compresser-2.pdf

Fondation méditerranéenne d'études stratégiques (FMES). (21 septembre 2023). *Le jeune câblé (le Sophie Germain d'Orange Marine) et la vieille dame (la Convention de Paris de 1884)*. <https://fmes-france.org/le-jeune-cablier-le-sophie-germain-dorange-marine-et-la-vieille-dame-la-convention-de-paris-de-1884/> (consulté le 04/05/2024)

Fondation méditerranéenne d'études stratégiques (FMES). (16 janvier 2024). *Retour sur le 4ème séminaire des SMHEM*. <https://fmes-france.org/retour-sur-le-4eme-seminaire-des-smhem/> (consulté le 04/05/2024)

Géoconfluences. (2017, 23 mars). *Mesurer les Zones Économiques Exclusives*. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/oceans-et-mondialisation/geographie-appliquee/mesurer-les-zee> (consulté le 12 février 2024)

Géoconfluences. (2023, 25 septembre). *Le Sud global, un nouvel acteur de la géopolitique mondiale*. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/inegalites/articles/sud-global>

La Tribune. (2023, 13 février). *La Chine se désengage d'un câble sous-marin sur fond de tensions avec les États-Unis*. <https://www.latribune.fr/techno-medias/telecoms/la-chine-se-desengage-d-un-cable-sous-marin-sur-fond-de-tensions-avec-les-etats-unis-951598.html> (consulté le 15 mai 2024)

La Tribune. (2023, 29 juillet). *Comment la guerre en Ukraine transforme l'écosystème mondial des câbles Internet*. <https://www.latribune.fr/techno-medias/internet/comment-la-guerre-en-ukraine-transforme-l-ecosysteme-mondial-des-cables-internet-971389.html>

Le Monde. (2023, 26 novembre). *Pourquoi la quête de souveraineté numérique sur Internet menace l'hégémonie américaine*. https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/11/26/pourquoi-la-quete-de-souverainete-numerique-sur-internet-menace-l-hegemonie-americaine_6202476_3234.html

Le Monde. (2023a, 1er janvier). *La France, un acteur central de la souveraineté européenne des câbles sous-marins*. https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/01/01/la-france-un-acteur-central-de-la-souverainete-europeenne-des-cables-sous-marins_6156260_3234.html (consulté le 25 juillet 2024)

Le Nouvel observateur. (2015, 1^{er} juillet). *Comment la France écoute (aussi) le monde*. <https://www.nouvelobs.com/societe/20150625.OBS1569/exclusif-comment-la-france-ecoute-aussi-le-monde.html>

Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques. (2023). *Synthèse. Les stocks stratégiques de métaux critiques*. https://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2023/10/Synth%C3%A8se15_OSFME.pdf

Policy Exchange. (2017). *Undersea Cables. Indispensable, insecure.* <https://policyexchange.org.uk/wp-content/uploads/2017/11/Undersea-Cables.pdf>

Culture numérique et/ou sites militants

Bablet, M. (2020). *Carbone & Silicium.* Ankama.

Frameip.com. (s.d.). *Modèle OSI.* <https://www.frameip.com/osi/> (consulté le 6 mai 2024)

it-connect. (2023). *Le Cloud Computing pour les débutants : Cloud privé, public, hybride, etc.* <https://www.it-connect.fr/le-cloud-computing-pour-les-debutants/> (consulté le 6 mars 2024)

L'usine nouvelle. (2024, 3 mai). *SES rachète Intelsat, quatre questions sur la riposte des opérateurs de satellites face à Jeff Bezos et Elon Musk.* <https://www.usinenouvelle.com/article/ses-rachete-intelsat-quatre-questions-sur-la-riposte-des-operateurs-de-satellites-face-a-jeff-bezos-et-elon-musk.N2212621> (consulté le 15 mai 2024)

Le monde informatique. (2024, 22 avril). *FISA section 702 : Les US prolongent son permis de surveillance à l'étranger* <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-fisa-section-702-les-us-prolongent-son-permis-de-surveillance-a-l-etranger-93552.html> (consulté le 19 juillet 2024)

Le Monde informatique. (2024, 2 juillet). *Des DPO plus nombreux dans les TPE/PME.* <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-des-dpo-plus-nombreux-dans-les-tpe-pme-94172.html> (consulté le 25 août 2024)

La quadrature du net. (2024, 17 mai). *La Quadrature du Net attaque en justice le blocage de TikTok en Nouvelle-Calédonie.* <https://www.laquadrature.net/2024/05/17/la-quadrature-du-net-attaque-en-justice-le-blocage-de-tiktok-en-nouvelle-caledonie/> (consulté le 15 juin 2024)

La quadrature du net. (2024, 5 juin). *Blocage de TikTok en Nouvelle-Calédonie : retour sur un fiasco démocratique.* <https://www.laquadrature.net/2024/06/05/blocage-de-tiktok-en-nouvelle-caledonie-retour-sur-un-fiasco-democratique/> (consulté le 15 juin 2024)

Magazine InterGlobix. (2020). *World War-II Submarine Base Transforms Into Data Center.* <https://www.interglobixmagazine.com/world-war-ii-submarine-base-transforms-into-data-center/>

Next.ink. (2024, 18 avril). *EUCS : la certification cloud européenne sous le feu des critiques en France.* <https://next.ink/134606/eucs-la-certification-cloud-europeenne-sous-le-feu-des-critiques-en-france/>

Next.ink. (2024, 30 juillet). *Bilan du RGPD : 4,2 milliards d'euros d'amendes, des efforts à faire sur la coopération.* <https://next.ink/145319/bilan-du-rgpd-42-milliards-deuros-damendes-des-efforts-a-faire-sur-la-cooperation/>

Bases et données en ligne

Câbles et centres de données

Telegeography. (2024). *Cloud infrastructure map.* <https://www.cloudinfrastructuremap.com/> (consulté le 19 août 2024)

Telegeography. (2022). *Global Internet Map 2022*. <https://global-internet-map-2022.telegeography.com/> (consulté le 19 août 2024)

Telegeography. (2024). *Submarine cable map*. <https://www.submarinemap.com/> (consulté le 25 juin 2023)

Data center map. (2024). *Explore The Leading Global Data Center Database!* <https://www.datacentermap.com/> (consulté le 19 août 2024)

Global security Mag. (2023). *Carte dynamique des DC neutres*. <https://www.globalsecuritymag.fr/-Carte-des-DC-Neutres-.html> (consulté le 19 août 2024)

Estimation du trafic des sites Internet

Semrush. (2024). *Les sites web les plus visités en France*. <https://fr.semrush.com/website/top/france/all/> (consulté le 10 juillet 2024)

Similarweb. (2024). *Classement des sites les plus populaires*. <https://www.similarweb.com/fr/top-websites/france/> (consulté le 10 juillet 2024)

Localisation des centres de données des GAFAM (exemples)

DGTL infra. (2024). *Meta's Data Center Locations for Facebook and Instagram*. <https://dgtlinfra.com/meta-data-center-locations-facebook/> (consulté le 1^{er} août 2024)

Google. (2024). *Découvrez où sont implantés nos centres de données*. <https://www.google.com/about/datacenters/locations/> (consulté le 1^{er} août 2024)

Synergie research group. (2021). *Microsoft, Amazon and Google account for over half of today's 600 hyperscale data centers*. <https://www.srgresearch.com/articles/microsoft-amazon-and-google-account-for-over-half-of-todays-600-hyperscale-data-centers> (consulté le 1^{er} août 2024)

Régions Cloud et zones de disponibilités (exemples)

Google. (2024). *Emplacements Cloud*. <https://cloud.google.com/about/locations> (consulté le 20/08/24)

Amazon web services. (2024). *Régions et zones de disponibilité*. https://aws.amazon.com/fr/about-aws/global-infrastructure/regions_az/ (consulté le 20/08/24)

Oracle cloud infrastructure. (2024). *Régions de cloud public*. <https://www.oracle.com/fr/cloud/public-cloud-regions/> (consulté le 20/08/24)

Podcasts

France Culture (2018, 17 octobre). *Consommation numérique : la fabrique à CO2. La méthode scientifique*. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-methode-scientifique/consommation-numerique-la-fabrique-a-co2-0-3215470>

France Culture. (2024, 10 janvier). *Data centers, l'énergie n'est pas donnée. La science CQFD*. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/la-science-cqfd/datacenters-l-energie-n-est-pas-donnee-1063649>

BIBLIOGRAPHIE

Matières premières et industries de l'informatique

Matières premières

Le Berre, S., Goujon, V., & Banos, V. (2023). Des « boues rouges » à la Bauxaline. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 17(4). <https://doi.org/10.4000/rac.30938>

Luckeneder, S., Giljum, S., Schaffartzik, A., Maus, V., & Tost, M. (2021). *Surge in global metal mining threatens vulnerable ecosystems. Global Environmental Change*, 69, 102303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102303>

Vidal, O. (2018). Ressources minérales, progrès technologique et croissance. Temporalités. *Revue de sciences sociales et humaines*, 28. <https://doi.org/10.4000/temporalites.5677>

Histoire de l'informatique

Léopold, É., & Lhoste, S. (2007). *La sécurité informatique*. Presses Universitaires de France.

Infrastructures de calcul, stockage et réseau

Histoire des câbles

Chappez, J. (1986). Les câbles sous-marins de télécommunications. *Annuaire français de droit international*, 32(1), 760-778. <https://doi.org/10.3406/afdi.1986.2745>

Fouchard, G. (2010). Les câbles sous-marins (1890-1910). *Les Cahiers de la FNARH*, 115. https://www.fnarh.com/files/Cahiers_FNARH_115_Fouchard_cables-s-m.pdf

Headrick, D. (2013). Le rôle stratégique des câbles sous-marins intercontinentaux, 1854-1945. In P. Griset (Éd.), *Les ingénieurs des Télécommunications dans la France contemporaine : Réseaux, innovation et territoires (XIXe-XXe siècles)*. Colloque des 21 et 22 octobre 2010 (p. 59-72). Institut de la gestion publique et du développement économique. <https://books.openedition.org/igpde/3199>

Les câbles au 21^e siècle

Boullier, D. (2014). Internet est maritime : les enjeux des câbles sous-marins. *Revue internationale et stratégique*, 95(3), 149-158. <https://doi.org/10.3917/ris.095.0149>

Blanc, F. (2018). Géopolitique des câbles : une vision sous-marine de l'Internet. *Les carnets du CAPS*, 26, 31-50. https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/6_carnets_26_dossier_geopolitique_cables_cle43116d.pdf

Cellard, L., & Marquet, C. (2023). Frictions sous-marines. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 17(4). <https://doi.org/10.4000/rac.31070>

Lucq, R. (2024). Les câbles sous-marins, enjeux et perspectives au XXI^e siècle // Camille Morel (Paris : CNRS Éditions, 2023, 200 p.): *Revue internationale et stratégique*, N° 133(1), 173-174. <https://doi.org/10.3917/ris.133.0173>

Morel, C. (2016). Menace sous les mers : les vulnérabilités du système câblé mondial. *Hérodote*, 163(4), 33-43. <https://doi.org/10.3917/her.163.0033>

Morel, C. (2019). La mise en péril du réseau sous-marin international de communication. *Flux*, 118(4), 34-45. <https://doi.org/10.3917/flux1.118.0034>

Thierry, B., & Schafer, V. (2019). Les réseaux en péril : destructions, subversions et sabotages (XIX^e-XXI^e siècles). *Flux*, 118(4), 7-10. <https://doi.org/10.3917/flux1.118.0007>

Centres de données

Bakis, H. (2013). Les facteurs de localisation d'un nouveau type d'établissements tertiaires : les datacenters. *Netcom. Réseaux, communication et territoires*, 27-3/4, 351-384. <https://doi.org/10.4000/netcom.1473>

Carnino, G., & Marquet, C. (2018). Les data centers enfoncent le cloud : enjeux politiques et impacts environnementaux d'internet. *Zilsel*, 3(1), 19-62. <https://doi.org/10.3917/zil.003.0019>

Carnino, G., & Marquet, C. (2022). Cooling, quick fix et spaghetti cloud dans l'univers du data center. *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*, 17, 309-335. <https://doi.org/10.4000/artefact.13419>

Marquet, C. (2018). Ce nuage que je ne saurais voir. Promouvoir, contester et réguler les data centers à Plaine Commune. *Tracés. Revue de Sciences humaines*, 35, 75-98. <https://doi.org/10.4000/traces.8235>

Moriset, B. (2003). Les forteresses de l'économie numérique. Des immeubles intelligents aux hôtels de télécommunications. *Géocarrefour*, 78(4), 375-388. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.451>

Routeurs et neutralité du net

Escorne, C. (2020). Les enjeux de la neutralité du Net aux États-Unis. *Hérodote*, 177-178(2-3), 215-234. <https://doi.org/10.3917/her.177.0215>

Musiani, F. (2014). Neutralité de l'internet : dépasser les scandales. *Politique étrangère*, Hiver(4), 57-68. <https://doi.org/10.3917/pe.144.0057>

Dynamiques économiques et géopolitiques

Droit et histoire de l'Internet

Barat-Ginies, O. (2014). Existe-t-il un droit international du cyberspace ? *Hérodote*, 152-153(1-2), 201-220. <https://doi.org/10.3917/her.152.0201>

Bellon, A. (2019). Qu'est devenue l'utopie d'Internet ? *Revue Projet*, 371(4), 6-11. <https://doi.org/10.3917/pro.371.0006>

- Bismuth, R. (2019). Le Cloud Act face au projet européen e-evidence : confrontation ou coopération ? *Revue critique de droit international privé*, 3(3), 681-694. <https://doi.org/10.3917/rcdip.193.0681>
- Bômont, C., & Cattaruzza, A. (2020). Le *cloud computing* : de l'objet technique à l'enjeu géopolitique. Le cas de la France. *Hérodote*, 177-178(2-3), 149-163. <https://doi.org/10.3917/her.177.0149>
- Brousseau, É. (2001). Régulation de l'Internet. *Revue économique*, 52(7), 349-377. <https://doi.org/10.3917/reco.527.0349>
- Bourne, R. (2003). Préface. Dans T. Frank, *Le marché de droit divin. Capitalisme sauvage et populisme de marché* (F. Cotton, Trad.). Agone. <https://shs.cairn.info/le-marche-de-droit-divin--2910846776-page-9>
- Defard, C. (2023). Le pacte vert pour l'Europe : vers la neutralité climat. *Constructif*, 64(1), 58-62. <https://doi.org/10.3917/const.064.0058>
- de La Chapelle, B. (2012). Gouvernance Internet : tensions actuelles et futurs possibles. *Politique étrangère*, Eté(2), 249-261. <https://doi.org/10.3917/pe.122.0249>
- de La Chapelle, B. (2014). Souveraineté et juridiction dans le cyberspace. *Hérodote*, 152-153(1-2), 174-184. <https://doi.org/10.3917/her.152.0174>
- Davis, F. T., & Gunka, C. (2021). Perquisitionner les nuages - CLOUD Act, souveraineté européenne et accès à la preuve dans l'espace pénal numérique. *Revue critique de droit international privé*, 1(1), 43-66. <https://doi.org/10.3917/rcdip.211.0043>
- Desforges, A. (2014). Les représentations du cyberspace : un outil géopolitique. *Hérodote*, n° 152-153(1), 67-81. <https://doi.org/10.3917/her.152.0067>
- Huyghe, F.-B. (2020). Cyberspace. *Inflexions*, 43(1), 89-98. <https://www.cairn.info/revue-inflexions-2020-1-page-89.htm>
- Joachim, C. (2014). La Federal Communications Commission aux États Unis : analyse juridique de l'indépendance d'une agence de régulation. *Mémoire(s), identité(s), marginalité(s) dans le monde occidental contemporain*, 11. <https://doi.org/10.4000/mimmoc.1668>
- Joubert, V., & Samaan, J.-L. (2014). L'intergouvernementalité dans le cyberspace : étude comparée des initiatives de l'Otan et de l'UE. *Hérodote*, 152-153(1), 261-275. <https://doi.org/10.3917/her.152.0261>
- Pereira, B. (2016). La lutte contre la cybercriminalité : de l'abondance de la norme à sa perfectibilité. *Revue internationale de droit économique*, 30(3), 387-409. <https://doi.org/10.3917/ride.303.0387>
- Pohle, J., & Morganti, L. (2013). The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN): Origins, Stakes and Tensions. *Revue française d'études américaines*, 134(4), 29-46. <https://doi.org/10.3917/rfea.134.0029>
- Samaan, J.-L. (2008). Mythes et réalités des cyberguerres. *Politique étrangère*, Hiver(4), 829-841. <https://doi.org/10.3917/pe.084.0829>
- Schafer, V. (2011). Histoire de courbe : la croissance d'Internet de 1981 à 1991. *Flux*, n° 82(4), 81-87. <https://doi.org/10.3917/flux.082.0081>
- Sidel, M. (2006). Après le Patriot Act : la seconde vague de l'antiterrorisme aux États-Unis. *Critique internationale*, 32(3), 23-37. <https://doi.org/10.3917/crui.032.0023>

Sudres, A. (2017). Cyberspace et dimension stratégique de la force informatique. *Stratégie*, 117(4), 65-82. <https://doi.org/10.3917/strat.117.0065>

Weiss, M.-A. (2016). De la sphère au bouclier : qu'est-ce que le Privacy Shield ? *I2D - Information, données & documents*, Volume 53(3), 20-22. <https://doi.org/10.3917/i2d.163.0020>

Numérique et environnement

Parasie, S., & Shulz, S. (2024). Le numérique au service de la transition écologique ? Un panorama des recherches en sciences sociales. *Réseaux*, 244(2), 11-45. <https://doi.org/10.3917/res.244.0011>

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984-986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>

Taïar, D. (2024). Le rôle des autorités françaises de régulation dans la réduction de l'empreinte environnementale du numérique. *Amplitude du droit*, 3. <https://doi.org/10.56078/amplitude-droit.628>

Géopolitique des données

Bradier, A. (2004). Le gouvernement électronique : une priorité européenne. *Revue française d'administration publique*, 110(2), 337-347. <https://doi.org/10.3917/rfap.110.0337>

Cattaruzza, A. (2019). *Géopolitique des données numériques : pouvoir et conflits à l'heure du big data* (Vol. 1-1). Le Cavalier bleu éditions.

Cottin, S. (2013). Extraqual ; l'extranet de la qualité et de la simplification du droit. *Revue française d'administration publique*, 146(2), 313-323. <https://doi.org/10.3917/rfap.146.0313>

Coelho, O. (2023). *Géopolitique du numérique : l'impérialisme à pas de géants* (Vol. 1-1). Les Éditions de l'Atelier.

Douzet, F. (2014). La géopolitique pour comprendre le cyberspace: *Hérodote*, 152-153(1), 3-21. <https://doi.org/10.3917/her.152.0003>

Douzet, F. (2020). Du cyberspace à la datasphère. Enjeux stratégiques de la révolution numérique. *Hérodote*, 177-178(2-3), 3-15. <https://doi.org/10.3917/her.177.0003>

Fautrero, V., Fernandez, V., & Khalil, S. (2018). Le paradigme du cloud computing : au-delà de nouvelles solutions informatiques, un enjeu de gouvernance renouvelée des technologies numériques. *Annales des Mines - Gérer & comprendre*, 133(3), 13-24. <https://doi.org/10.3917/geco1.133.0013>

Frénot, S., & Grumbach, S. (2014). Les données sociales, objets de toutes les convoitises. *Hérodote*, 152153(1), 43-66. <https://www.cairn.info/revue-herodote-2014-1-page-43.htm>

Gomart, T. (2021). *Guerres invisibles. Nos prochains défis géopolitiques*. Tallandier.

Pétiniaud, L. (2022). Les routes des données, enjeu géopolitique de la guerre en Ukraine. *Hérodote*, 186, 113-134. <https://doi.org/10.3917/her.186.0113>

René, É. (2019). La « civilisation écologique » contrôlée par le numérique en Chine. *Multitudes*, n° 76(3), 86-93. <https://doi.org/10.3917/mult.076.0086>

Smyrnaioi, N. (2016). L'effet GAFAM : stratégies et logiques de l'oligopole de l'internet. *Communication & langages*, 188(2), 61-83. <https://doi.org/10.3917/comla.188.0061>.

Histoire et géographie politique

Cattaruzza, A., & Limonier, K. (2023). *Introduction à la géopolitique : cours, études de cas, entraînements, méthodes commentées* (2e éd, Vol. 1-1). Armand Colin.

Ciattoni, A., & Veyret-Medkjian, Y. (2024). *Les fondamentaux de la géographie* (4e éd, Vol. 1-1). Armand Colin.

Gallois, L. (1918). La France de l'Est, par P. Vidal de la Blache. *Annales de géographie*, 27(145), 11-24. https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1918_num_27_145_4142

Favier, R. (2010). *Grenoble : histoire d'une ville* (Vol. 1-1). Glénat.

Lacoste, Y. (2012a). La géographie, la géopolitique et le raisonnement géographique. *Hérodote*, 146-147(3-4), 14-44. <https://doi.org/10.3917/her.146.0014>

Lacoste, Y. (2012b). « Le pivot géographique de l'histoire » : une lecture critique. *Hérodote*, 146-147(3-4), 139-158. <https://doi.org/10.3917/her.146.0139>

Matagne, P. (1992). L'anthropogéographie allemande : un courant fondateur de l'écologie ? *Annales de géographie*, 101(565), 325-331. https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1992_num_101_565_21095

Ribeiro, G. (2010). La géographie vidalienne et la géopolitique. *Géographie et cultures*, 75, 247-262. <https://doi.org/10.4000/gc.1690>

Subra, P. (2012). La géopolitique, une ou plurielle ? Place, enjeux et outils d'une géopolitique locale. *Hérodote*, n° 146-147(3), 45-70. <https://doi.org/10.3917/her.146.0045>

Vidal de la Blache, P. (1898). La Géographie politique, à propos des écrits de M. Frédéric Ratzel. *Annales de géographie*, 7(32), 97-111. <https://doi.org/10.3406/geo.1898.18100>

Philosophie et histoire des communications

Ash, J., Kitchin, R., & Leszczynski, A. (2018). Digital turn, digital geographies? *Progress in Human Geography*, 42(1), 25-43. <https://doi.org/10.1177/0309132516664800>

Bretagnolle, A., & Robic, M.-C. (2005). Révolutions technologiques et représentations du monde. Au risque de l'expérimentation. *L'Information géographique*, 69(3), 5-27. <https://doi.org/10.3406/ingeo.2005.3007>

Musso, P. (1998). Télécommunications et philosophie des réseaux: La postérité paradoxale de Saint-Simon. *Presses Universitaires de France*. <https://doi.org/10.3917/puf.musso.1998.01>.

Robert, P. (2010). *Mnémotechnologies : Une théorie générale critique des technologies intellectuelles* (Hermes Science Publications).

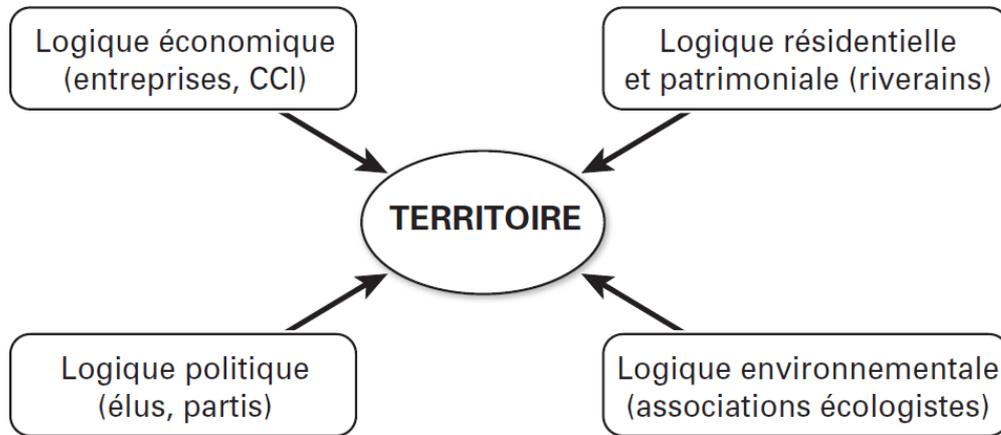
Robert, P. (2021). *Temporalités numériques - Tome 1 : La dynamique des technologies de l'information et de la communication (XIX-XXs). Essai sur les enjeux politiques de la spirale de la régulation informationnelle*. Editions des archives contemporaines. <https://doi.org/10.17184/eac.9782813004246>

ANNEXES

Table des annexes

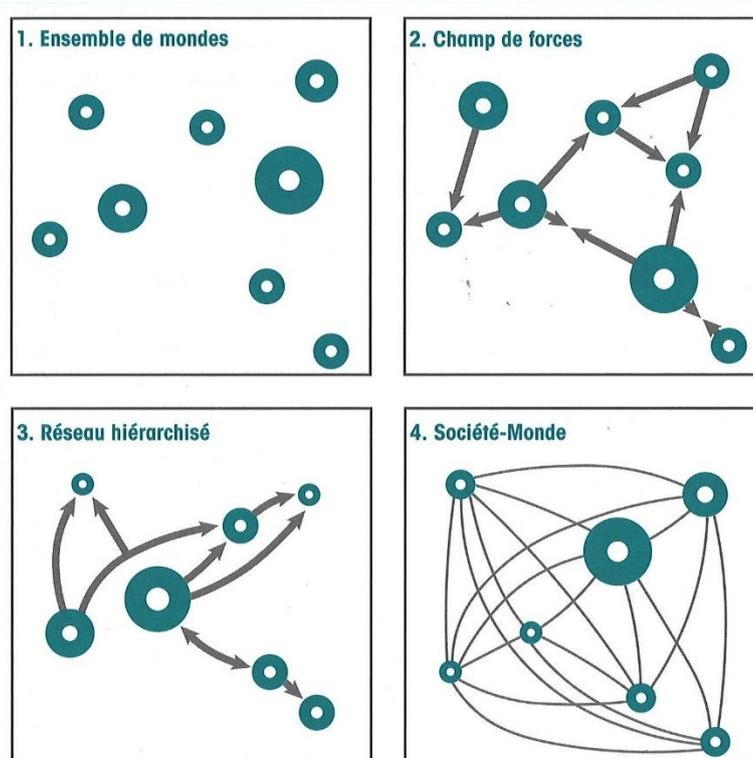
ANNEXE 1 : LOGIQUES DE MOBILISATION DU TERRITOIRE	150
ANNEXE 2 : QUATRE MODELES DE STRUCTURATION DU MONDE ..	151
ANNEXE 3 : NOMBRE CUMULE DE CABLES EN FIBRE OPTIQUE EN ACTIVITE	152
ANNEXE 4 : LISTE DES OPERATEURS EXPLOITANTS DE CABLES SOUS-MARINS	153
ANNEXE 5 : LISTE DES 11 PRINCIPAUX OPERATEURS MANDATES POUR LES POSE DES CABLES (« SUPPLIERS»).....	154
ANNEXE 6 : CABLES SOUS-MARINS ATTERRISSANT A MARSEILLE	155
ANNEXE 7 : ANNONCE DE L'ATTERRAGE DU CABLE 2AFRICA SUR LE SITE DU GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE	156
ANNEXE 8 : « ICI COMMENCE LA MER ». ACCUMUATION DE CABLES DANS LE FAUX-PLANCHER D'UN CENTRE DE DONNEES (TH2, 2014)	157
ANNEXE 9 : CRITERES DE CLASSIFICATION <i>TIER</i> (SECURITE ET PERFORMANCE) DES <i>DATA CENTERS</i>	158
ANNEXE 10 : OFFRES DE SERVICE PROPOSEES PAR LES CENTRES D'HEBERGEMENT DE DONNEES (<i>DATA CENTERS</i>).....	159
ANNEXE 11 : « CONFIANCE CLIENTS » ANNONCEE PAR L'HEBERGEUR DE COLOCATION <i>DIGITAL REALTY</i>.....	160
ANNEXE 12 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CENTRES DE DONNEES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS ESTIMEEES EN 2020, 2030 ET 2050.....	161
ANNEXE 13 : EVALUATIONS PROSPECTIVES DES TYPOLOGIES DE CENTRES DE DONNEES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS EN 2020, 2030 ET 2050.....	162
ANNEXE 13 : TRACTS DU COLLECTIF MILITANT « STOP MICRO » (AVRIL 2024)	165
ANNEXE 14 : ELEMENTS DE REPONSES FOURNIS PAR STMICROELECTRONICS.....	169

ANNEXE 1 : LOGIQUES DE MOBILISATION DU TERRITOIRE



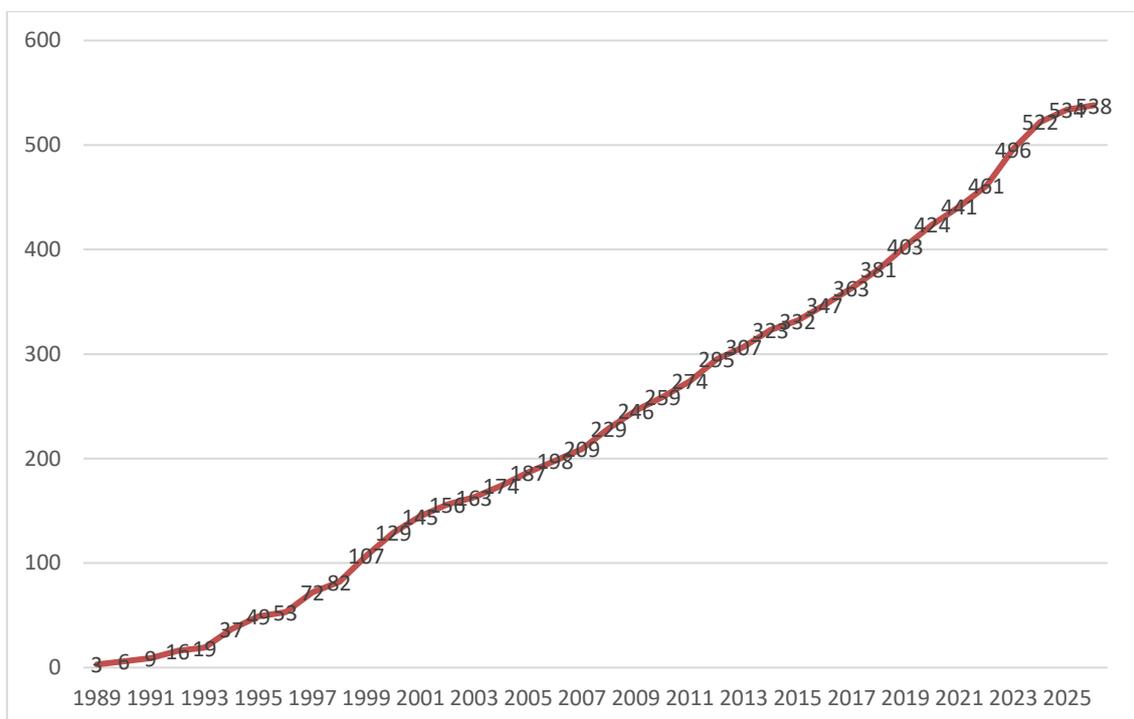
(Subra, 2012, p. 66).

ANNEXE 2 : QUATRE MODELES DE STRUCTURATION DU MONDE



(Durand, Lévy, Retraillé, 1993, cités par Cattaruzza, 2023, p. 43).

ANNEXE 3 : NOMBRE CUMULE DE CABLES EN FIBRE OPTIQUE EN ACTIVITE



Données extraites à partir de la base *submarinemap.com* en juin 2023. Cette courbe n'intègre pas les câbles désactivés ou retirés du réseaux, non répertoriés dans la base de données (*Submarine Cable Map*, 2024).

ANNEXE 4 : LISTE DES OPERATEURS EXPLOITANTS DE CABLES SOUS-MARINS

liste propriétaires (total)	Cité dans <i>consortium</i>	Cité parmi les cinq plus gros propriétaires des <i>consortiums</i>
Orange	29	15
Telecom Italia Sparkle	24	14
AT&T	21	21
Google	21	21
BT	20	20
Tata Communications	20	9
Vodafone	19	11
China Telecom	18	16
Arelion	18	18
Telefonica	17	14
Liberty Latin America (LLA)	17	14
Telkom Indonesia	16	13
Singtel	16	5
Meta	15	14
Chunghwa Telecom	15	12
Telstra	15	7
Telekom Malaysia	15	5
Verizon	15	3
XL Axiata	14	14
China Unicom	13	13
Telecom Egypt	13	4
Etisalat UAE	12	10
China Mobile	11	11
NTT	11	7
Altice Portugal	10	10
Telxius	10	9
KDDI	10	6
PLDT	10	6
Saudi Telecom	10	4
PCCW	10	3

Colonne de gauche : nombre de fois où l'opérateur est cité dans la liste des propriétaires des câbles. Nombre d'opérateurs total cité : 417.

Colonne de droite : résultat « pondéré », ne prenant en compte que les cinq plus gros propriétaires cités dans les *consortiums*. Nombre d'opérateurs différents : 364.

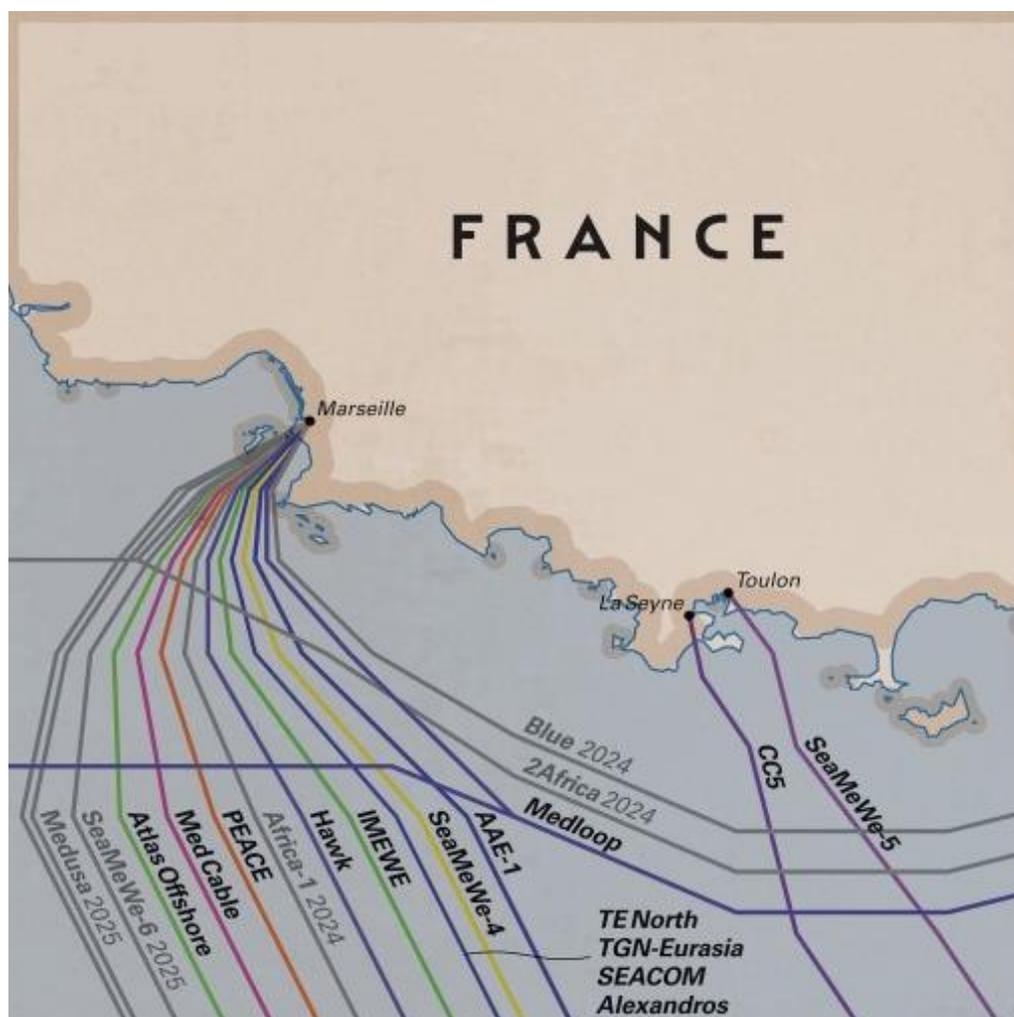
Données extraites à partir de la base *submarinecablemap.com* en juin 2023. Nombre de câbles pris en compte : 543 (*Submarine Cable Map*, 2024).

ANNEXE 5 : LISTE DES 11 PRINCIPAUX OPERATEURS MANDATES POUR LES POSE DES CABLES (« SUPPLIERS »)

Suppliers	nombre d'occurrences (2023)
ASN	143
SubCom	73
NEC	39
HMN Tech	36
Nexans	9
Fujitsu	9
Ericsson	8
Xtera	7
Hexatronic	4
NSW	3
Prysmian	3

Données extraites à partir de la base *submarinemap.com* en juin 2023.
Nombre de câbles pris en compte : 543 (*Submarine Cable Map*, 2024).

ANNEXE 6 : CABLES SOUS-MARINS ATERRISSANT A MARSEILLE



Liste des câbles figurant sur la carte: 2Africa, Africa-1, Asia Africa Europe-1 (AAE-1), Atlas Offshore, Blue, Hawk, IMEWE, Med Cable Network, Medloop, Medusa Submarine Cable System, PEACE Cable, SemMeWe-4, SemMeWe-6, TE NORTH/TGN-Eurasia/SEACOM/Alexandros/Medex (Telegeography, 2024).

ANNEXE 7 : ANNONCE DE L'ATERRAGE DU CABLE 2AFRICA SUR LE SITE DU GRAND PORT MARITIME DE MARSEILLE

Grand Port Maritime de Marseille - Port de Marseille ... + Suivre ...
30 357 abonnés
1 an(s) • 🌐

#Première #Numerique #2Africa 🌍

Vodafone s'est associé au #portdemarseillefos et à Digital Realty, pour atterrir le câble sous-marin de fibre optique #2Africa à Marseille.

Avec ses 45 000 km, ce câble est en passe de devenir le plus long câble sous-marin jamais déployé, il reliera 33 pays à partir de 2023.

Pour Hervé Martel, président du directoire du **Grand Port Maritime de Marseille - Port de Marseille Fos** : « Parce que la donnée est une source de croissance inestimable pour les entreprises et pour les nations, le port de Marseille Fos n'est aujourd'hui plus seulement un acteur majeur du transport des personnes, des vrac et des marchandises. En accueillant le plus long câble au monde, nous confirmons notre offre de flux logistique stratégique de premier choix pour les opérateurs de télécommunications. Le port continuera de mettre son expertise au service de la stratégie nationale d'accélération pour le Cloud. »

🌐 99 % du trafic Internet mondial transite désormais par des câbles sous-marins de fibre optique, avec cette structure #Marseille dispose d'un nouvel atout pour son rayonnement et vise le top 5 des hub internet mondiaux !

Avec : stc, Bayobab Meta Orange Telecom Egypt Vodafone , WIOCC et China Mobile International Limited ASN

#fiberopticsolution #shoreendcablelanding #subseacables #cloud



avec Fabrice Coquo et 5 autres personnes

👍❤️👍 240

2 commentaires · 24 republications

(Marseille Fos, 2024b)

**ANNEXE 8 : « ICI COMMENCE LA MER ».
ACCUMUATION DE CABLES DANS LE FAUX-PLANCHER
D'UN CENTRE DE DONNEES (TH2, 2014)**



(<https://blog.spyou.org/wordpress-mu/>, cité par Marquet & Carnino, 2022, p. 320).

ANNEXE 9 : CRITERES DE CLASSIFICATION *TIER* (SECURITE ET PERFORMANCE) DES *DATA CENTERS*

	TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 3+	TIER 4
TEMPS DE COUPURE PAR AN	28,8 h	22 h	1,6 h	1,6 h	0,4 h
DISPONIBILITÉ	99,671 %	99,741 %	99,982 %	99,982 %	99,995 %
MAINTENANCE DURANT LE FONCTIONNEMENT	Non	Non	Oui	Oui	Oui
RÉSEAU ÉLECTRIQUE ET REFRIGÉRISSMENT	Unique	Unique + relais de secours	Unique + relais de secours	Au moins 2	Au moins 2 + relais de secours
DISTRIBUTEUR D'ÉLECTRICITÉ	Unique	Unique	Unique + relais de secours	Unique + relais de secours	Au moins 2
RÉSEAU DE COMMUNICATION	Unique	Unique	Unique + relais de secours	Unique + relais de secours	Au moins 2 (actifs en permanence)
STRUCTURE	Salle intégrée	Salle intégrée	Bâtiment en propre	Bâtiment en propre	Bâtiment en propre
PARC ACTUEL	Obsolète	Anciennes structures	Majorité de l'offre actuelle	De plus en plus de constructions	Niche
COÛT DE PRODUCTION AU M2	- 5 000 €	- 6 500 €	- 8 000 €	- 10 000 €	- 12 000 €
CLIENTÈLE PRIVILÉGIÉE	Aucune	Aucune	PME/PMI, collectivités	Toutes les entreprises, les collectivités	Finance, Défense...

Source : Uptime Institute, Banque des Territoires - Caisse des Dépôts
(La catégorie TIER 3+ ne figure pas dans la classification officielle, mais figure sur ce tableau car elle est communément utilisée)

(Infranum, 2019, p. 33)

ANNEXE 10 : OFFRES DE SERVICE PROPOSEES PAR LES CENTRES D'HEBERGEMENT DE DONNEES (DATA CENTERS)

	COLOCATION / «HÉBERGEMENT SEC»	HÉBERGEMENT DE DONNÉES	INFOGÉRANCE	CLOUD COMPUTING
PRINCIPE	Une surface (sans serveur) alimentée, réfrigérée, sécurisée et irriguée par les opérateurs télécoms	Location de serveurs, dédiés ou mutualisés pour héberger diverses applications (sites web, messagerie, intranets, back-up, applications métier)	Externalisation de tout ou partie de la gestion et de l'exploitation du SI	Mise à disposition de manière dématérialisée de capacités de calcul ou de stockage (IaaS), de plateformes de développement (PaaS) et d'applications (SaaS) à la demande sur la base d'une tarification à l'usage
BRIQUES DE L'OFFRE	SERVICES	Offres de services optionnelles «à faible valeur ajoutée» d'exploitation et de maintenance de l'infrastructure		Prise en charge complète du SI (ex:TMA, ...)
	ÉQUIPEMENTS INFORMATIQUES	Non, uniquement l'infrastructure technique permettant d'accueillir des serveurs		
BÂTIMENT AMÉNAGÉ				
MARCHÉ ADRESSÉ	Offres standardisées constituant soit un 1er niveau d'externalisation pour les entreprises soit une infrastructure à destination des hébergeurs et infogéreurs	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les entreprises pour l'hébergement des applications non critiques Acteurs de l'internet pour l'hébergement de leur site web 	Offres sur-mesures à destination des grandes entreprises mais aussi des acteurs publics de moyennes et grandes tailles (ce marché devrait cependant s'étendre grâce à la mutualisation).	Tous les professionnels potentiellement à terme

Source : Banque des Territoires - Caisse des Dépôts

Le scénario « hébergement sec » / colocation est l'infrastructure de base permettant l'hébergement de serveurs et ressources informatiques, avec gestion des installations électriques à la charge du client, qui reste propriétaire du matériel. Seuls l'alimentation, le refroidissement, et la connectivité réseau sont pris en charge par l'hébergeur. Les trois autres scénarios présentés sont des déclinaisons du concept de colocation à différents niveaux de valeur ajoutée (Infranum, 2021, p. 19).

ANNEXE 11 : « CONFIANCE CLIENTS » ANNONCEE PAR L'HEBERGEUR DE COLOCATION *DIGITAL REALTY*



Capture d'écran extraite du site Internet de *Digital Realty* le 8 août 2024
(*Digital Realty*, 2014a)

ANNEXE 12 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES CENTRES DE DONNEES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS ESTIMEES EN 2020, 2030 ET 2050

Type de centre de données	Public Local	Public National	Entreprises	Centres de données commerciaux	HPC	TOTAL
Superficie de salles informatiques m ²	81 390 m ²	65 000 m ²	311 800 m ²	414 174 m ²	10 800 m ²	883 165 m ²
Densité kW/baie	3	4,5	4	5	15	
Taux de charge	40%	35%	50%	50%	60%	
PUE	1,93	1,93	1,93	1,55	1,17	1,69
Consommations de fioul m ³	66	69,2	422	562	40	1 159
Consommations électriques totales TWh	0,66	0,69	4,22	5,62	0,40	11,59

Tableau 15 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2020

Type de centre de données	Public Local	Public National	Entreprises	Centres de données commerciaux	HPC	Edge	TOTAL
Superficie de salles informatiques m ²	26 755 m ²	37 746 m ²	0 m ²	894 173 m ²	15 987 m ²	111 365 m ²	1 086 026 m ²
Densité kW/baie	3,5	5,3	4,7	5,9	17,6	4,7	
Taux de charge	45%	40%	55%	55%	65%	45%	
PUE	1,55	1,55	1,55	1,32	1,11	1,6	1,52
Consommations de fioul m ³	22,5	41,7	0	1340	72,7	162	16 38
Consommations électriques totales TWh	0,23	0,42	0	13,4	0,73	1,62	16,38

Tableau 16 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2030

Type de centre de données	Public Local	Public National	Entreprises	Cloud	HPC	Edge	TOTAL
Superficie de salles informatiques m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	1 465 206 m ²	35 029 m ²	509 375 m ²	2 009 610 m ²
Densité kW/baie	4,8	7,3	6,5	8,1	24,2	6,5	
Taux de charge	55%	50%	70%	70%	80%	65%	
PUE	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02
Consommations de fioul m ³	0	0	0	2 852	245,5	798	3 896
Consommations électriques totales TWh	0	0	0	28,52	2,46	7,98	38,96

Tableau 17 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2050

(ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 58-64)

ANNEXE 13 : EVALUATIONS PROSPECTIVES DES TYPOLOGIES DE CENTRES DE DONNEES SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS EN 2020, 2030 ET 2050

Type de centre de données	Organisation	Nombre d'entités sur le territoire	Besoin en espaces informatiques m2	% de migration vers de l'hébergement externe (Cloud)	Superficie de salles informatiques m2
Public local	Conseil régionaux	13	50 m2	70%	81 390 m2
	Conseils départementaux	97	50 m2	70%	
	SDIS	97	50 m2	70%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	69	200m2	10%	
	Agglomérations	258	100 m2	30%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	277	50 m2	70%	
	CHRU	29	250 m2	10%	
	CHU et Centres Hospitaliers	550	75 m2	10%	
Public national	Ministères	80	250 m2	0%	65 000 m2
	EPIC	30	500 m2	10%	
	ODAC	700	50 m2	10%	
Entreprises (hors acteur du digital)⁷⁸	MIC (1 -9 salariés)	3 700 000	0 m2	100%	311 800 m2
	PME (10-49 salariés)	172 600	5 m2	90%	
	PME (50-99 salariés)	18 100	10 m2	80%	
	PME (100- 249 salariés)	10 800	15 m2	80%	
	ETI (250-5000 salariés)	5 700	50 m2	70%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	238	1 000 m2	70%	
Cloud	centres de données Cloud	264			414 175 m2
HPC	centres de données HPC ⁷⁹	18			10 800 m2

Tableau 14 - Evaluation des superficies de salles informatiques en France en 2020

(ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 58-64)

Type de centre de données	Organisation	Besoin en espaces informatique m2	% de migration vers de l'hébergement externe (Cloud)	% de migration vers de l'hébergement externe (Edge)	Superficie de salles informatiques m2
Public local	Conseil régionaux	74	90%	5%	26 755 m2
	Conseils départementaux	74	90%	5%	
	SDIS	74	90%	5%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	296	70%	5%	
	Agglomérations	148	90%	5%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	74	90%	5%	
	CHRU	370	70%	5%	
	CHU et Centres Hospitaliers	111	70%	5%	
Public national	Ministères	370	30%	5%	37 746 m2
	EPIC	740	70%	5%	
	ODAC	74	70%	5%	
Entreprises (hors acteur du digital)	MIC (1 -9 salariés)	-	100%	0%	0 m2
	PME (10-49 salariés)	7	100%	0%	
	PME (50-99 salariés)	15	95%	5%	
	PME (100- 249 salariés)	22	95%	5%	
	ETI (250-5000 salariés)	90	95%	5%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	2 159	90%	10%	
Cloud	centres de données Cloud				894 173 m2
HPC	centres de données HPC				15 987 m2
Edge	centres de données Edge Computing				111 365 m2

(ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 58-64)

Type de centre de données	Organisation	Besoin en espaces informatiques m2	% de migration vers de l'hébergement externe (Cloud)	% de migration vers de l'hébergement externe (Edge)	Superficie de salles informatiques m2
Public local	Conseil régionaux	162	90%	10%	0 m2
	Conseils départementaux	162	90%	10%	
	SDIS	162	90%	10%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	649	70%	30%	
	Agglomérations	324	90%	10%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	162	90%	10%	
	CHRU	811	70%	30%	
Public national	CHU et Centres Hospitaliers	243	70%	30%	0 m2
	Ministères	811	70%	30%	
	EPIC	1 622	70%	30%	
	ODAC	162	70%	30%	
Entreprises (hors acteur du digital)	MIC (1 -9 salariés)	-	100%	0%	0 m2
	PME (10-49 salariés)	16	100%	0%	
	PME (50-99 salariés)	32	95%	5%	
	PME (100- 249 salariés)	49	95%	5%	
	ETI (250-5000 salariés)	287	95%	5%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	10 063	90%	10%	
Cloud	centres de données Cloud				1 465 206 m2
HPC	centres de données HPC				35 029 m2
Edge	centres de données Edge Computing				509 375 m2

(ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 58-64)

ANNEXE 13 : TRACTS DU COLLECTIF MILITANT
« STOP MICRO » (AVRIL 2024)

Contre l'accaparement des ressources par les industries du numérique et la « vie connectée »

DE L'EAU PAS DES PUCES

GRENOBLE 5 AVRIL ATELIERS & CONFÉRENCES	GRENOBLE - PARC MISTRAL 6 AVRIL 14H MANIF MIDI : CANTINE	CROLLES MIDI 7 AVRIL RASSEMBLEMENT
--	---	--



stopmicro38.noblogs.org

SAMEDI 6

Grande manifestation contre les industries de l'électronique, leurs nuisances et leur projet politique de "vie connectée". Venez avec vos enfants, vos slogans et vos déguisements de poisson. Dress code : vêtements bleus.



Rendez-vous À MIDI AU PARC PAUL MISTRAL pour un repas avec plusieurs cantines militantes,

Puis départ à 14H pour la manifestation à travers Grenoble jusqu'à la Presqu'île scientifique,

Et on finira la journée en se retrouvant au parc avec musique et danse s'il fait assez beau.

Vous avez besoin d'un hébergement ?

On a mis en place un dispositif d'hébergements solidaires, en tente ou en intérieur, en comptant sur l'entraide locale. On vous invite à remplir ce formulaire, en ligne sur stopmicro38.noblogs.org.

VENDREDI 5

14H - 16H
Salle Rouge

Grenoble et l'industrie de l'armement

Comment débusquer les liens entre les activités militaires et les laboratoires civils ? L'ONG *Observatoire des Armements* propose depuis l'an dernier des formations d'enquêteurs-trices à l'échelle locale et sera présente pour nous en parler, puis l'antenne grenobloise du réseau de surveillance des entreprises de l'armement restituera ses travaux. Le *Collectif Régional Anti-Armement et Militarisme* du Rhône et de la Loire présenteront ensuite leurs activités.

14H- 17H
Le 102

Ateliers de préparation à la manifestation

On fabriquera des pancartes, des banderoles, des accessoires ... Il y aura aussi un atelier pour écrire des chants et des slogans et s'y entraîner avec la chorale militante *La Cagette*.

15h30 - 17H
La Capsule

Lutter contre l'accaparement de nos territoires et de nos corps par les dispositifs de surveillance technopoliciers

Depuis 5 ans au sein de la campagne *Technopolice*, lancée en 2019 par *La Quadrature du Net*, avec l'aide de collectifs locaux, nous documentons, analysons et luttons contre les technologies de surveillance policière qui envahissent nos territoires. Villes, quartiers, campagnes, espaces verts, espaces publics, espaces privés : ces dispositifs s'y multiplient, captent nos images, écoutent nos sons, suivent nos trajets, analysent nos comportements. Mis en place par des politiciens et des élus, fabriqués par des industriels startupeurs du numérique, utilisés au quotidien par la police, la justice et les services de renseignements, ces dispositifs qu'on nous impose enfreignent nos droits et libertés fondamentales et violentent nos corps. S'y opposer devient une nécessité.

16H30-18H
Salle Rouge

Détricotage des liens entre ST et le CEA

Dans le livre *Des treillis dans les labos*, Fabrice Lamarck du *Groupe Grothendieck* se livre à une enquête sur les liens entre les entreprises comme ST, Soitec et Lynred, le Commissariat à l'Energie Atomique et le secteur de la Défense.

19H
Salle Rouge

Repas

Des cantines seront présentes pour vous régaler !

20H
Salle Rouge

L'accaparement de l'eau aux sources du capitalisme industriel

Depuis les premières usines textiles et les équipements à vapeur du XIXe siècle, jusqu'aux high tech contemporaines, l'accaparement de l'eau est au cœur du développement du capitalisme industriel. L'historien François Jarrige nous donnera un aperçu de cette histoire longue, et le collectif *STopMicro* présentera l'actualité de la lutte contre les industries de l'électronique grenobloises.

ADRESSES À GRENOBLE

- *La Salle Rouge* : 15 rue des Arts et Métiers
- *Le 102* : 102 rue d'Alembert
- *La Capsule* : 21 rue Boucher-de-Perthes

DIMANCHE 7

On se retrouve à partir de midi au **Parc Jean-Claude Paturel à Crolles**. On discutera des agrandissements de STMicro et Soitec, des projets de société dans lesquels ils s'inscrivent, des moyens de s'y opposer, et des perspectives et imaginaires à construire ensemble !

-
- 10H30** **Départ groupé à vélo de Grenoble** (Transports en commun en bas de page)
Rendez-vous place Vaucanson à Grenoble pour 1h de vélo le long de l'Isère.
-
- 12H** **Repas**
Notre cantine vous réglera pour bien démarrer l'après-midi !
-
- 13H** **Visite guidée du Mordor**
L'Office de Promotion de l'Avenir (OPA) vous invite à une visite guidée du patrimoine industriel. Venez vous informer sur les usines locales, leur développement et leurs produits avec nos guides. La visite dure 2h. Sur inscription uniquement, nombre de places limitées : stopmicro@riseup.net
-
- 13H30** **Quel avenir pour le Grésivaudan ?**
L'urbanisation bat son plein et continue de gagner du terrain sur les terres agricoles. Puisqu'une croissance industrielle infinie dans une vallée finie n'est ni possible ni souhaitable, quels imaginaires politiques construire pour notre vallée ? Discussion et élaboration avec des collectifs locaux.
-
- 13H30** **Le numérique à l'assaut de l'agriculture**
Non contentes de détruire toujours plus de terres agricoles pour leurs usines, les entreprises comme ST fabriquent des composants utilisés pour le "smart farming", l'industrialisation de l'agriculture à base de drones, de capteurs et de GPS. Comment résister à cette offensive ? Table ronde avec l'Atelier Paysan, les Faucheurs Volontaires, la Confédération Paysanne et Nature & Progrès.
-
- 13H30** **Contes pour les enfants**
Contes et ateliers sur le cycle de l'eau et l'impact des méga-usines pour les 6-10 ans. Ateliers d'imagination pour les plus grands. Pour les plus jeunes, il y aura de quoi s'occuper mais si possible accompagné-es d'un-e parent-e.
-
- 15H30** **Remise des prix Greenwashing Trophies 2024**
ST et Soitec aiment à proclamer qu'elles travaillent pour la transition écologique... La réalité est bien différente ! Venez voter pour les meilleures innovations de greenwashing de ces entreprises.
-
- 15H45** **Discours de clôture**
-
- 16H** **Concert de clôture**

TRANSPORTS POUR CROLLES	TER	10H09 à la gare de Grenoble	10H31 à Brignoud
	Bus T80	11H45 à l'arrêt Verdun-Préfecture	12H18 à Crolles le Brocey
	Bus T84	12H31 à l'arrêt Victor Hugo	13H05 à Crolles le Brocey
	TER	13H09 à la gare de Grenoble	13H31 à Brignoud

(StopMicro38, 2024)

ANNEXE 14 : ELEMENTS DE REPONSES FOURNIS PAR STMICROELECTRONICS



Contexte du Projet

- Renforcer l'industrie de la microélectronique, l'indépendance stratégique et la souveraineté industrielle de la France et de l'Europe
- Répondre à la demande croissante de semiconducteurs à l'échelle mondiale
- Fabriquer des technologies au service de la transition écologique

ST Confidential

The slide features a white background with a dark blue vertical bar on the right. The title 'Contexte du Projet' is centered at the top. Below it, three bullet points are listed, each preceded by a small icon: a globe for the first point, a line graph for the second, and a recycling symbol for the third. The ST logo and 'life.augmented' text are in the bottom left, and 'ST Confidential' is in the bottom right.



Eléments de réponses publics fournis par STMicroelectronics dans la cadre de la concertation préalable menée sous l'égide de la CNDP (Commission nationale du débat public) (STMicroelectronics, 2014).

GLOSSAIRE

Application programming interface (API) : Les interfaces de programmation, utilisées pour connecter des applications entre elles sont des passerelles d'interopérabilités entre les bases de données et programmes applicatifs. Leur ouverture et durabilité est un des enjeux de l'écologie des logiciels actuellement promu par les instances régulatrices comme l'ARCEP et l'ARCOM.

Border Gate protocole (BGP) : Dispositif de routage permettant la communication des réseaux et systèmes autonomes mondiaux, reliés à Internet. Il est défini dans le rapport de l'ISOC 2019 (*Internet society*, 2019), comme un des trois piliers de l'Internet ouvert avec le protocole TCP et la fonction d'adressage des adresses IP.

Chaîne de valeur : ensemble d'opérations interconnectées intégrant toutes les étapes logistiques et de transformation aboutissant à un produit ou service. La maîtrise de la chaîne de valeur est une préoccupation stratégique pour les acteurs économiques et politiques visant à la défense de leur souveraineté. La « chaîne de valeur des matières premières » comprend par exemple l'ensemble des activités et processus intervenant dans l'exploration, l'extraction, la transformation et le recyclage des matières premières (Journal officiel de l'Union européenne, 3 mai 2024).

Cloud service providers (CSP) : fournisseurs de services en ligne, proposant une large gamme d'offres, allant de l'hébergement de données à la fourniture de services en ligne. Les fournisseurs de contenus *cloud* de niveau mondial s'appuient sur un vaste réseau de centres de données et de distribution optimisés pour répondre aux demandes de leurs clients. *AWS (Amazon web service)*, est un des principaux fournisseurs de service *cloud*, et détient des contrats avec Netflix pour l'hébergement et la distribution de contenus à vaste échelle.

Content service providers (CSP) : fournisseurs de contenus en ligne (vidéos, musique) comme *Netflix* ou *Spotify*. Les *Content services providers* font appel à des prestataires *cloud* et/ou à des réseaux de distribution de contenus pour optimiser la distribution de leurs contenus à vaste échelle.

Concentration horizontale : réunion sous un même pouvoir de décision de sociétés qui produisent des biens ou des services substituables, c'est-à-dire assurant une fonction comparable pour l'utilisateur final (Smyrnaiois, 2016).

Concentration verticale : réunion sous un même pouvoir de décision de tout un ensemble d'activités complémentaires qui constituent une chaîne de production. (Guyot, F, cité par Smyrnaiois, 2016).

Content delivery Network (CDN) : réseau de distribution de contenu. Ensemble de centres de données interreliées à l'échelle d'un territoire, mobilisés pour optimiser la délivrance des contenus dans les zones de diffusion. Les centres de données locaux gardent en mémoire les contenus régulièrement distribués afin de garantir une bonne disponibilité du contenu. *Amazon CloudFront* est le service de *CDN* de *AWS*, intégré à ses offres *cloud*. D'autres prestataires de *CDN* existent, comme *Cloudflare*. La pratique des *CDN* peut être rapprochée de l'*edge computing*, ou Internet de périphérie.

Cloud computing : large palette de services accessibles en ligne mobilisant des données stockées hors du terminal de l'utilisateur. Les principales offres de *cloud*

computing sont l'infrastructure en tant que service (*IaaS*), la plateforme en tant que service (*PaaS*), et le logiciel en tant que service (*SaaS*), couvrant des besoins variés tels que le calcul, le stockage, les bases de données, l'intelligence artificielle, et l'analyse de données.

Colocation : location par un opérateur appelé hébergeur de baies informatiques à des clients, généralement des entreprises. L'hébergeur gère pour le client l'alimentation électrique, le refroidissement, la sécurité du site et la connectivité aux réseaux extérieurs, mais pas la maintenance ni le renouvellement du parc informatique. C'est la forme la plus courante d'offre d'hébergement, en fort développement avec les pratiques d'externalisation des systèmes d'information des petites et moyennes entreprises, la généralisation des pratiques de *cloud computing* par des entreprises spécialisées en services numériques ou le développement des nouveaux usages (intelligence artificielle notamment). Les acteurs spécialisés dans les offres de *cloud computing*, au premier rang desquels se situent les plateformes d'intermédiation (GAFAM), recourent ponctuellement à la colocation auprès d'opérateurs spécialisés dans l'hébergement de données pour sous-traiter une partie de la maintenance liée à l'hébergement de leurs données.

Edge computing : Internet de périphérie. Architecture informatique décentralisée consistant à traiter les données à la périphérie du réseau, c'est-à-dire au plus près de la source d'émission ou de distribution des données afin d'optimiser la disponibilité de celles-ci.

Hyperscale : un centre de données « *hyperscale* » est un centre d'hébergement de données géant, d'une puissance installée comprise par exemple entre 10 et 50 MW, mais possiblement beaucoup plus, connecté à un réseau mondial performant et flexible de gestion de données permettant de proposer une large gamme de services. Ce type de centres de grande taille est notamment exploité en propre par les trois *leaders* du marché des offres de services numériques en *cloud computing* que sont *Amazon Web Services*, *Microsoft* et *Google*. Ces acteurs hébergent leurs propres centres de données, et recourent également à la colocation auprès d'hébergeurs. Les grands hébergeurs comme *Digital Realty*, *OVH* ou *Equinix*, *leaders* dans le marché de l'hébergement de données, sont surtout spécialisés dans la location d'espaces et de services d'interconnexion à des entreprises tierces, sur le mode de la colocation, et proposent également pour certains une large palette d'offres en *cloud computing* auto-hébergés dans leurs centres de données. Ils peuvent à ce titre être rapprochés voire intégrés dans le type des gestionnaires de centres de données *hyperscale*, même s'il ne semble pas y avoir de définition unique à ce sujet.

Neutralité carbone : concept visant à l'équilibre entre la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) émise dans l'atmosphère par les activités humaines et la quantité de CO₂ retirée de l'atmosphère par le biais des captations de carbone, naturelles ou artificielles. La neutralité carbone à l'échéance 2050 ou 2060 s'inscrit dans les grands objectifs stratégiques des grandes puissances géopolitiques internationales (Europe, États-Unis, Chine).

Service numérique : association d'équipements de stockage et traitement des données, d'infrastructures réseaux et de logiciels empilés répondant à des fonctionnalités utilisateurs (ADEME – ARCEP, janvier 2022, p. 11). L'interopérabilité et l'écoconception des services numériques est un des enjeux de la sobriété numérique promue par les instances de régulations françaises et européennes.

Scalabilité : anglicisme désignant la « montée en échelle ». La montée en échelle peut être vue comme la capacité à fournir « un même service à qualité constante, mais dans des quantités bien plus importantes » (Carnino & Marquet, 2022, p. 312-313). La *scalabilité* est un des atouts des prestations de services en *cloud computing*.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : modèle OSI (<i>frameip.com</i> , 2024).....	27
Figure 2 : représentation du cyberspace au regard du modèle OSI (Sudres, 2017, p. 70)	29
Figure 3 : comparaison des huit premières capitalisations boursières mondiales en 2005 et 2021 (Gomart, 2021, p. 160).....	39
Figure 4 : parcours envisagés pour l’atterrissage du câble <i>Peace Med</i> en mai 2020, dans une pré-étude d’incidence (Cellard & Marquet, 2023, 52).....	66
Figure 5 : étude sur les centres de données de Plaine commune, 2022 (Cécile Diguët et Fanny Lopez, cités par Carnino & Marquet, 2022, p. 326).....	72
Figure 6 : typologies de <i>data centers</i> (IPR, 2023, p. 36-49).....	75
Figure 7 : répartition des centres d’hébergement de données en région parisienne (IPR, 2023, p. 35).....	80
Figure 8 : caractéristiques des 7 principaux pôles européens de <i>data centers</i> en 2021 (IPR, 2023, p. 25)	81
Figure 9 : centres données des grands acteurs de l’hébergement de données en 2024 référencés sur <i>datacentermap.com</i> (<i>Data center map</i> , 2024)	84
Figure 10 : nombre de data centers par pays en 2017 (Gomart et al., 2018, p. 16).....	85
Figure 11 : Logique d’intégration et d’infomédiation de l’oligopole de l’internet (Smyrnaio, 2016, p. 74).....	89
Figure 12 : évaluation de l’impact environnemental mondial du numérique en 2019 (<i>Green-IT</i> , 2024).....	96
Figure 13 : empreinte environnementale du numérique mondial en 2019, répartie entre les trois tiers (<i>Green-IT</i> , 2024).....	96
Figure 14 : évolution du trafic <i>IP</i> en France entre 2020 et 2030 par types d’équipement, en exaoctet (10^{18} octets) (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 30). 100	
Figure 15 : circulation des données sur le réseau français en 2020 et 2030 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 30).....	100
Figure 16 : comparaison des empreintes carbone des trois tiers en France entre 2020 et 2050 (ADEME – ARCEP, synthèse, janvier 2022, p. 5 ; ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 71, 76).....	101
Figure 17 : impacts carbone (en Mt eq CO ₂) produit par les scénarios tendanciels et prospectifs de l’ADEME – ARCEP à l’horizon 2025 (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 123).....	102
Figure 18 : évolution des indicateurs de consommation annuelle de numérique en France (ADEME – ARCEP, mars 2023, p. 66).....	104
Figure 19 : évolution de la consommation énergétique mondiale de 1860 à 2005, en million de tonnes équivalent pétrole (Mtep) (Carnino & Marquet, 2018, p.57).....	105
Figure 20 : extractions minières à l’échelle planétaire en 2019 (Luckeneder et al., 2021, p.5).....	107
Figure 21 : matériaux entrant dans la composition d’un téléphone en 1960, 1990 et 2021 (Pitron, 2021, p. 330).....	109
Figure 22 : évolutions des émissions de GES en France entre 2018 et 2023 (Mt eq CO ₂) (Citepa, 2024, p.4).....	112
Figure 23 : potentiels d’émissions annuelles évitées pour quatre d’usage, en Mt eq CO ₂ , avec prise en compte des effets rebond dans le cadre de scénarios différenciés (France stratégie, 2024, p. 14).....	113

Figure 24 : évolution 2013-2015 de la consommation électrique mondiale de centres de données dans le monde (*The Shift project*, 2021, p. 20) 116

Figure 25 : évolutions techniques dans les centres de données sur la période 2010-2020 (*Science*, 28 février 2020, p. 985) 119

Figure 26 : prospection sur les consommations énergétiques des centres de données dans le cadre d'un doublement des données traitées (*Science*, 28 février 2020, p. 986) 119

Figure 27 : échelons d'appropriation des composantes environnementales touchant aux centres de données (IPR, 2023, p. 54) 121

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	9
PARTIE I : UNE APPROCHE GEOPOLITIQUE DE L'ESPACE NUMERIQUE.....	13
Avant-propos : Histoire de la méthode géopolitique	13
Une origine allemande.....	13
Des résonances dans le monde anglo-saxon	14
Une redécouverte française intégrant de nouveaux cadres d'analyse	15
A – Appréhender l'espace numérique	18
<i>A1 – Une histoire de l'Internet : vers l'informatique en nuage.....</i>	<i>18</i>
Un réseau américain (1972-1989)	18
L'invention du web (1989-1995)	19
Le développement de l'informatique en nuage (2000 – 2024).....	22
<i>A2 – Le cyberspace et ses enjeux</i>	<i>24</i>
Evolutions du concept de cyberspace	24
Une approche technique pour appréhender l'espace numérique	26
Une métaphore géologique simplifiée pour appréhender les enjeux du cyberspace	28
B – Eléments géopolitiques	31
<i>B1 – Le jeu institutionnel des États</i>	<i>31</i>
La gouvernance technique de l'Internet.....	31
La gouvernance des usages	33
La cybersécurité et conflits de juridiction	35
<i>B2 – Une géopolitique des données</i>	<i>38</i>
La centralité des plateformes d'intermédiation et le traitement big data des données numériques.....	38
La centralité à venir de la donnée dans le monde de l'entreprise	41
La captation de données par les services de renseignement.....	42
Une territorialisation par le droit ?.....	43
L'adaptation aux réalités de l'informatique en nuage (<i>cloud computing</i>) en matière de coopération judiciaire	46
PARTIE II : MATERIALITES ET ACTEURS DU MONDE NUMERIQUE. 49	
A. Les câbles sous-marins, colonne vertébrale de l'Internet mondial 	49
<i>A1 – Histoire d'une infrastructure stratégique.....</i>	<i>49</i>
Contexte et éléments juridiques	49
La mise en place des réseaux (1840-1914)	50

Les câbles sous-marins dans le réseau de communication contemporain : une croissance des débits (1955-2024).....	52
Menaces sur les câbles (1898 – aujourd’hui).....	54
Processus institutionnel et place des États.....	56
<i>A2 – Acteurs et enjeux contemporains</i>	58
Propriété et exploitation des câbles.....	58
Fabrication et pose des câbles.....	59
Maintenance.....	60
Les GAFAM, une irruption foudroyante.....	61
Un rééquilibrage des réseaux à l’échelle mondiale.....	63
Perspectives géopolitiques.....	64
B. Au bout des câbles, des centres de données	66
<i>B1 – Caractérisation des centres de données</i>	66
Marseille : nouveau géant du numérique ?.....	66
Caractérisation technique d’un centre d’hébergement de données : vers l’industrialisation.....	69
Caractérisation juridique d’un centre de données et alimentation en énergie.....	73
Typologie de data centers.....	74
Facteurs d’implantation locale.....	76
<i>B2 – Les acteurs des offres de service en cloud computing</i>	79
Une cartographie régionale des centres de données et une typologie d’acteurs ?.....	79
Échelle européenne.....	80
Considérations internationales.....	84
De la transversalité et la centralité des GAFAM.....	86
PARTIE III : LES ENJEUX DE LA TRANSITION NUMERIQUE	91
A. Le numérique, problème ou solution de la transition énergétique ?	91
<i>A1 – Evaluer les impacts du numérique</i>	91
Eléments généraux.....	91
Une prise de conscience des impacts du numérique sur l’environnement.....	92
Evaluer les impacts du numérique.....	94
Intégrer les changements structurels issus de la croissance de l’utilisation des données.....	99
L’extraction de minerais.....	103
<i>A2 – La transition numérique comme horizon</i>	110
Penser la transition numérique.....	110
L’écologie des data centers, réelle ou fantasmée ?.....	115

Aménager le territoire, ou rematérialiser le <i>cloud</i>	120
B. Politiques numériques et citoyenneté en France et en Europe .123	
<i>B1 – Stratégie européenne</i>	123
Croissance verte et innovation technologique.....	123
Souveraineté des données et stratégie numérique	125
<i>B2 – Feuille de route pour la France</i>	127
Stratégie numérique	127
L’adaptation aux réalités de l’informatique en nuage	128
CONCLUSION	131
SOURCES OU CONSTITUTION DU CORPUS.....	133
<i>Corpus juridique et réglementaire</i>	133
<i>Rapports et études publics</i>	134
<i>Veille économique, environnementale et institutionnelle</i>	135
Aménagement des territoires	135
Veille économique	135
Veille environnementale	138
Veille juridique et institutionnelle.....	139
Veille stratégique	139
Culture numérique et/ou sites militants	141
<i>Bases et données en ligne</i>	141
Câbles et centres de données.....	141
Estimation du trafic des sites Internet	142
Localisation des centres de données des GAFAM (exemples).....	142
Régions Cloud et zones de disponibilités (exemples).....	142
<i>Podcasts</i>	142
BIBLIOGRAPHIE.....	143
<i>Matières premières et industries de l’informatique</i>	143
Matières premières	143
Histoire de l’informatique	143
<i>Infrastructures de calcul, stockage et réseau</i>	143
Histoire des câbles	143
Les câbles au 21 ^e siècle	143
Centres de données.....	144
Routeurs et neutralité du net	144
<i>Dynamiques économiques et géopolitiques</i>	144
Droit et histoire de l’Internet	144
Numérique et environnement.....	146

Géopolitique des données146
Histoire et géographie politique147
Philosophie et histoire des communications147
ANNEXES.....149
GLOSSAIRE.....171
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....175
TABLE DES MATIERES.....177