

De la manufacture à l'infrastructure : des conséquences pour la régulation

Par Pierre-Jean BENGHOZI

Directeur de recherche émérite au CNRS et à l'École polytechnique

En quelques décennies, le numérique s'est imposé comme une composante essentielle de nos sociétés. La régulation des infrastructures numériques, telles que les réseaux de télécommunications et les plateformes de données, représente un enjeu stratégique majeur. Elles nécessitent des investissements massifs et soulèvent des questions complexes de souveraineté, d'accès équitable et de répartition de la valeur. La régulation doit également s'adapter aux évolutions rapides des technologies et des marchés, tout en gérant les risques systémiques liés à la cybersécurité et à la fiabilité des réseaux. Cet article examine ces défis et propose des pistes pour une régulation efficace et équitable.

En quelques décennies, le numérique s'est imposé comme une composante essentielle de nos sociétés, transformant profondément les économies, les cultures et les interactions sociales. Les infrastructures de connectivité sont désormais aussi indispensables que celles de l'eau ou de l'électricité. Maîtriser ces infrastructures est crucial pour la souveraineté et l'accès aux biens communs publics, que ce soit pour les télécommunications, le stockage ou les données. Cela nécessite des investissements massifs en R&D et en déploiement, favorisant souvent la concentration au profit des acteurs et pays les plus puissants.

La régulation de ces infrastructures numériques représente dès lors un enjeu stratégique majeur en termes de souveraineté, d'équité et de partage de la valeur. Pour offrir à tous l'accès à des réseaux de communications performants, les nations doivent mobiliser plusieurs leviers. Un premier levier est le calibrage et les modalités des investissements pour couvrir tout un territoire et donc le partage des efforts entre public et privé. Un deuxième tient à l'articulation entre soutien aux infrastructures, aux équipements et aux usages : entre disponibilité et appropriation. Il s'agit de concilier le dimensionnement des tuyaux avec la croissance des usages, c'est-à-dire aussi de répartir contributions et revenus entre opérateurs qui déploient et plateformes applicatives.

DE LA MANUFACTURE À L'INFRASTRUCTURE, UN MONDE QUI CHANGE¹

Poids des grandes plateformes de l'Internet, fiscalité internationale, difficulté de définir une politique industrielle et une souveraineté économique... Les acteurs politiques, les

¹ Le texte développe certaines idées présentées dans BENGHOZI P.-J. (2022), « Savoir passer d'une économie de la manufacture à l'économie des infrastructures », in *Informatisation et Entreprises*, pp. 17-20, Institut de l'Économie éd.

observateurs de la société et les économistes ont du mal à appréhender ces mouvements et à suggérer des réponses. Car nous ne sommes plus dans le modèle de la manufacture sur laquelle Smith ou Ricardo avait construit les principes séminaux de l'économie. Nous sommes désormais dans une économie de l'infrastructure : les puces, les applications, les réseaux de télécommunication et d'énergie, les plateformes et serveurs de données. Ces composants constituent les ressources partagées pour tous les services numériques.

Par des modes d'appropriation flexibles et des possibilités de dématérialisation, ils ont redéfini les rapports aux territoires et aux organisations industrielles. En permettant un suivi plus efficace des processus de production et des pratiques de consommation, ils ont contribué ainsi au renouvellement des modèles d'affaires. Le poids et l'évolution des infrastructures numériques en fait donc des *"game changer"*. Au-delà de l'émergence des seules grandes plateformes applicatives, elles offrent à de nouveaux acteurs l'opportunité d'entrer sur des marchés à la fois comme fournisseurs d'équipement, opérateurs de réseaux, parties prenantes d'applications, fournisseurs de services, intermédiaires de données... Pensons, par exemple, aux transformations induites avec le développement de la fibre optique, des constellations de satellites ou de la 5G.

UNE ÉCONOMIE DE COÛTS FIXES : « JE SAIS BIEN, MAIS QUAND MÊME »

L'économie des infrastructures est caractérisée par de hauts coûts fixes et de faibles coûts marginaux de production, à même de modifier profondément les modalités habituelles de la concurrence.

D'une part, le développement des infrastructures numériques requiert des investissements massifs en recherche et développement (R&D) ainsi qu'en déploiement de technologies. Ces investissements, souvent concentrés entre les mains de quelques acteurs puissants, peuvent favoriser la concentration du pouvoir économique et technologique.

Mais, d'autre part, le couplage entre un très haut niveau de coûts irrécupérables et des coûts marginaux quasi nuls rend particulièrement sensible la concurrence par les prix. Certaines raisons sont valables pour toute infrastructure : les investissements matériels sont difficiles à redéployer une fois qu'ils sont installés. D'autres sont plus spécifiques au numérique : les technologies sont évolutives et les investissements sont en partie fongibles². En outre, les composants techniques (protocoles, langages, terminaux) et les logiciels peuvent être combinés pour concevoir des services de toute nature à partir d'un même réseau. Les conséquences sont un rythme très rapide d'innovation et un environnement intensément concurrentiel.

Les dynamiques portées par des stratégies numériques d'intégration verticale conduisent à remettre en cause l'appréhension des infrastructures de télécommunications comme reposant sur plusieurs couches techniques autonomes (composants, équipements, protocoles, interfaces, architecture, applications, terminaux), au profit de perspectives réglementaires intégrant des couches techniques poreuses et de moins en moins séparables et à la base des innovations émergentes de rupture. La prise en compte de couches statique apparaît décalée à l'heure d'une convergence dynamique et d'innovations naissant dans un cadre où les concurrences s'opèrent d'une couche à l'autre. Certains gros secteurs utilisateurs (aéronautique, jeux vidéo ou culture par exemple) ont eu un rôle déterminant dans la structuration des grands acteurs du numérique (respectivement avec Sabre pour les réseaux, Nvidia pour les puces, Akamai pour les réseaux de diffusion de contenu

² L'architecture et les pilones des stations de réseaux mobiles s'adaptent ainsi d'une génération de fréquences à l'autre.

ou en anglais *content delivery network* – CDN). Les acteurs dominants eux-mêmes se concurrencent à partir de cœurs de métiers ancrés à différents niveaux³ et ils investissent lourdement chacun dans les infrastructures de réseaux (fibre, câbles sous-marins, satellites, serveurs).

Cette évolution appelle à remettre en cause des perspectives traditionnelles. Les infrastructures sont habituellement vues comme plus structurantes que les applications car elles appelleraient des investissements et une capitalisation plus importants. Or, les schémas actuels (pensons à l'IA) montrent que les applications peuvent être plus intensives en investissement que les réseaux : de l'ordre de dizaines de milliards d'euros pour les réseaux fixes en France, de centaines de milliards d'euros pour le développement des IA.

DES CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET DE RÉGULATION

Ces développements interrogent sur les modalités de répartition de la valeur et des investissements entre biens et services, tuyaux et contenus, ouvrant la voie à des stratégies de convergence et de redéfinition des marchés où les enjeux d'interopérabilité sont déterminants.

En effet, la multiplicité des utilisateurs et parties prenantes suscite un goulot d'étranglement majeur : le manque – ou à l'inverse le foisonnement – des normes et standards. D'un côté les acteurs dominants ont la tentation oligopolistique de constituer des infrastructures propriétaires constituant autant d'écosystèmes hétérogènes en concurrence pour « capturer » les consommateurs. De l'autre, des innovations d'infrastructure peuvent contribuer à la fragmentation des réseaux. On l'observe dans les accès radio mobile de la 5G (RAN⁴) qui se démultiplient avec l'évolution du partage des liaisons terrestres, le déliement des réseaux RAN et des réseaux centraux, l'apparition d'opérateurs virtuels, la concurrence en terminaison avec le wifi...

Dans de tels cadres, la perspective historique des économistes et des régulateurs a été de considérer les infrastructures comme un monopole naturel et « une facilité essentielle » qu'il serait absurde de dupliquer (une liaison de chemin de fer par exemple). Les enjeux de régulation sont alors celui du contrôle d'une forme de monopole, le niveau de tarification du marché de gros et la soutenabilité des modèles économiques associés, la neutralité du réseau, l'incitation à l'innovation, la sécurité et la fiabilité. Pourtant, en matière de télécommunications, la tentation des régulateurs a longtemps été de favoriser une concurrence par les infrastructures. Ainsi, loin d'envisager les infrastructures de télécommunications comme un « monopole naturel » le régulateur français⁵ a très tôt considéré nécessaire, pour l'animation du marché, que des concurrents développent leurs propres infrastructures jusqu'aux limites économiquement raisonnables. Dans de tels cadres de modèles propriétaires intégrés et non interopérables, les enjeux de régulation sont alors surtout l'interopérabilité, l'accent sur les possibilités de sortie (*opt out*) et de basculement sur un autre opérateur (*switching*) du consommateur, la tarification, la mutualisation des investissements d'infrastructure et la prévention des cartels.

La difficulté tient à ce que les infrastructures évoluent techniquement à la fois par des ruptures technologiques rapides et imprévisibles (pensons à l'émergence des constel-

³ Microsoft (système d'exploitation) vs. Amazon (webservice) vs. Apple (constructeur de matériel).

⁴ Un Radio Access Network est le composant du réseau cellulaire permettant l'interface entre les terminaux et le cœur du réseau.

⁵ En phase d'ailleurs avec les autorités européennes.

lations satellitaires) mais aussi très progressivement. Ainsi, historiquement, la fibre a été déployée graduellement par les opérateurs en commençant par les grands réseaux dorsaux internationaux, puis dans les réseaux de transport longue distance nationaux. Elle a ensuite été mise en œuvre dans les réseaux de collecte et ce mouvement se poursuit aujourd’hui, avec le FttH⁶, au-delà du nœud de raccordement, dans la boucle locale, jusqu’à l’abonné final.

De telles évolutions sont inéluctables et il s’agit donc de savoir encadrer la transition d’une génération d’infrastructure à l’autre. Mais les rythmes d’évolution des technologies d’infrastructure, de leurs déploiements et de leurs utilisations sont très différents. Ainsi, la durée de vie attendue est de 50 ans pour la fibre et de l’ordre de 10 ans pour la 5G ou 6G. Il faut cependant d’abord construire une infrastructure avant de s’en servir et les processus opérationnels de déploiement prennent des années⁷. Dans le même temps, le rythme des évolutions des couches applicatives est beaucoup plus rapide, de l’ordre de mois ou d’années : l’apparition et la large diffusion des IA génératives (ChatGPT, Copilot ou Gemini) se sont faites en à peine 1 an. Les difficultés de concevoir des infrastructures pour le long terme tiennent à ces rythmes très différents ouvrant le risque de gaspillages (calibrage ou technologie du réseau devenant inutile par rapport à des nouveaux besoins) et la difficulté de mettre en phase déploiements et usages émergents.

Dans ces environnements technologiques en constante évolution, les régulateurs doivent naviguer entre intervention *ex ante* et *ex post*. La régulation *ex ante* fige à l’avance les structures industrielles des réseaux (prix et marché) en fixant aux acteurs les « règles du jeu ». La régulation *ex post* évite de réguler trop tôt pour ne pas geler le marché et donner un avantage au “first mover” en l’absence de certitudes sur les choix techniques à assurer... mais elle conduit à intervenir trop tard lorsqu’il s’agit de marchés fortement évolutifs où existent de forts écarts entre les pouvoirs de marché des acteurs. Cela a été le cas avec la régulation des grandes plateformes du numérique.

INFRASTRUCTURES ET RISQUES SYSTÉMIQUES

Au-delà des enjeux techniques et économiques, de nouveaux registres de la régulation touchent désormais les infrastructures, ceux qui concernent leurs impacts environnementaux ainsi que la gestion des risques systémiques aux effets particulièrement lourds, l’un comme l’autre. Qu’ils proviennent de mauvaises conceptions, de défauts techniques, de cyber-attaques ou d’emballement des usages, les défaillances des infrastructures peuvent toucher les transports, les services financiers, les réseaux électriques ou de télécommunications et sont alors susceptibles de causer des dommages dévastateurs à tous les pays. Les organisations modernes sont en effet extrêmement dépendantes à l’égard de la communication. Leurs évolutions rapides et fréquentes disqualifient en permanence les modes de sécurisation préexistants et les régulateurs doivent mettre en place des cadres robustes pour protéger les infrastructures critiques et garantir la résilience des systèmes numériques.

Dans une infrastructure ouverte à différents acteurs et reposant, par nature, sur des interconnexions, chaque intervenant et chaque composant technique risque de contribuer à l’effondrement et la dislocation complète du fonctionnement, exacerbant, par un effet « domino » certains impacts bien au-delà de leurs effets initiaux. La virtualisation et les réseaux sans fil, le poids de l’algorithmie dans leur gestion, la mobilité et la disponibilité

⁶ Fiber to the Home.

⁷ Voir plus d’une décennie pour la complétude d’un réseau fixe très haut débit, BENGHOZI P.-J. (2023), « Infrastructures numériques et aménagement du territoire : impacts économiques et sociaux du Plan France très haut débit », France Stratégie, janvier, 205 pages.

permanente des connexions créent des vulnérabilités inédites. Celles-ci sont d'autant plus difficiles à gérer quand elles s'inscrivent dans des séquences d'événements tels que des catastrophes naturelles, entraînant des ruptures lourdes des infrastructures, conduisant à la saturation des réseaux de communication puis leur déconnexion.

Comme l'a récemment montré, à l'été 2024, la panne de Microsoft et Crowstrike, les problèmes de sécurité se diffusent rapidement à travers le monde et ne se confinent plus à un pays donné car une part importante des communications traverse les frontières sans que l'utilisateur final ne s'en rende même compte. Quand les infrastructures de télécommunications relevaient de monopoles d'État, la sécurité restait maîtrisable : ces grandes organisations publiques contrôlaient leur réseau, elles constituaient un club limité d'opérateurs se connaissant et ayant l'habitude de coopérer. Avec l'ouverture des marchés, les infrastructures sont maintenant détenus et gérés par de multiples acteurs, souvent en concurrence entre eux et donc moins enclins à collaborer.

CONCLUSION

Le développement des infrastructures a toujours été un motif important de réglementation gouvernementale mais elle est difficile à mettre en œuvre avec l'augmentation des interconnexions et l'implication d'un nombre plus important d'acteurs. Cette complexité constitue un vrai enjeu car le régulateur – acteur public – est légitime quand son objectif est clair, compris et partagé. Or il doit désormais poursuivre simultanément plusieurs séries d'objectifs parfois opposés⁸ : utilité des réseaux pour les consommateurs, services innovants favorisant services, usages et activités, opérateurs performants, soutien à l'économie nationale, mise en valeur de territoires isolés... Cette variété des ambitions suppose de maîtriser plusieurs registres de compétences (économique, financier, juridique, technique, opérationnel, connaissance des consommateurs et usages). Elle appelle alors, de fait, à partager la responsabilité entre plusieurs intervenants. Le Gouvernement arrête le cadre légal et fixe les orientations de politique publique ; la Commission européenne détermine un cadre réglementaire et assure supervision et contrôle ; les autorités administratives sectorielles (Arcep, Arcom, ART, CRE...) régulent les infrastructures spécifiques et animent leur marché ; les autorités ou institutions généralistes (CNIL, AdIC, ANSSI...) encadrent différents aspects (données, concurrence, cybersécurité) de manière transversale ; le Conseil d'État et les tribunaux arbitrent et valident les décisions⁹.

Le nouveau cadre de la régulation est donc celui d'une régulation multi-acteurs reposant sur l'action croisée de ces différentes instances. C'est aussi une régulation multi-niveaux dans la mesure où les cadres international et européen se superposent désormais systématiquement au cadre national.

Comme le dit un adage juridique bien connu, toute régulation est, *prima facie*, territoriale. La légitimité des États dérive en effet de la souveraineté sur un territoire physique. Pendant longtemps, il y avait de ce fait correspondance entre les autorités politiques de l'espace physique et la régulation des infrastructures de communications fixe ou mobile. Le numérique a progressivement bouleversé ce système fondé sur les frontières physiques. Les communications et les transactions s'opèrent entre des entités sans lien

⁸ Le code des postes et des communications électroniques (CPCE), en liste 14 différents dans son article L.32-1.

⁹ Il est d'ailleurs intéressant de noter que face à la convergence entre télécommunications, audiovisuel et informatique, les différents pays ont fait des choix différents en matière de structuration : en Grande-Bretagne, l'OFCOM regroupe par exemple tuyaux et contenus. En France même, les décideurs publics ont eu régulièrement la tentation de regrouper et de fédérer les différentes autorités sectorielles.

nécessairement avec la localisation géographique des autres parties. La virtualisation des réseaux rend possible de transférer des services dématérialisés dans des pays au cadre fiscal ou réglementaire plus favorable et les grandes entreprises technologiques peuvent alors exploiter les disparités entre les pays et poser des défis à la souveraineté économique des nations.

Au niveau international, les aspects techniques et normatifs se discutent dans des organisations parfois très anciennes¹⁰, mais aussi, désormais, dans des organisations interétatiques non gouvernementales associant les différentes parties prenantes (recherche, États, industriels, société civile) selon des modes inédits¹¹. Au niveau européen, l'intervention de la Commission est désormais déterminante dans la définition des orientations et du cadre d'intervention (« paquets » Télécoms), en précisant les modalités de décentralisation et subsidiarité (cadre général fixé par les directives), en assurant des actions de contrôle (recommandations et cadre d'harmonisation *ex ante*, *veto ex post*, sanctions), en arbitrant les incohérences entre régulations nationales (selon les spécificités techniques, géographiques, historiques, économiques, politiques), en instituant¹² une coopération institutionnalisée des régulateurs européens.

Doivent ainsi s'opérer des interrelations juridiques inédites entre développement territorial des infrastructures d'un côté, internationalisation des acteurs et des couches techniques de communication et de services de l'autre côté. C'est tout le dilemme face auquel se trouve aujourd'hui la Commission européenne : elle développe d'un côté tout un ensemble de directives visant à réguler puissamment les plateformes dominantes (DSA, DMA, Data Act, IA Act), tout en confinant de fait les opérateurs de télécommunications à leurs marchés nationaux en refusant les démarches de consolidation continentales à même de contrebalancer la puissance des grandes plateformes du numérique.

L'harmonisation des différents systèmes juridiques est pourtant d'autant plus importante que sous l'effet des mutations en cours, ces systèmes ont connu des vagues successives d'évolution, en fonction des pays et régions de l'Internet : harmonisation au niveau continental en Europe, extraterritorialité pour les États-Unis, cantonnement pour la Chine ou la Russie. Si ces mouvements ne semblent pas nécessairement converger, la percolation de certaines orientations (RGPD en matière de données personnelles, antitrust pour les magasins d'applications) montrent cependant que les décisions prises dans différents États peuvent aussi se rapprocher. Pour prendre en charge les impacts de l'internet sur l'économie mondiale et la globalisation des échanges, les instances non techniques de gouvernance internationale (UE, G8, G20...) ont d'ailleurs été amenées à aborder des sujets qui relevaient surtout, jusque-là, des seuls cadres de régulation sectoriels.

¹⁰ L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a été fondée en 1865 et la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT) en 1959.

¹¹ World Wide Web Consortium (W3C) fondé en 1994 ou The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) en 1998.

¹² À la main des régulateurs ou de la Commission.