

Des services réseaux aux plateformes du numérique et aux services multisectoriels

Par Francis JUTAND
Conseil général de l'Économie

Et Daniel KOFMAN
Télécom Paris

Nous rentrons dans une nouvelle phase de la transformation numérique. Dans la continuité d'une transformation en silos, par secteur d'activité, nous passons à une phase qui ouvre la voie aux services multisectoriels, transversaux aux divers marchés verticaux. L'énorme potentiel de création de valeur est identifié et ne cessera de se développer vu les possibilités d'innovation qui sont ainsi ouvertes ; les risques pour les acteurs et pour la souveraineté des pays sont multiples.

Cette évolution est rendue possible par une série de nouveaux paradigmes, dont la *softwarisation* et virtualisation des infrastructures, la convergence progressive entre les réseaux et le *cloud*, l'évolution des interfaces, les jumeaux numériques et l'IA, ainsi que l'ouverture des réseaux et systèmes aux acteurs externes. Ce dernier point transforme les infrastructures du numérique dans des plateformes de services, permettant à ces derniers d'être conçus et établis en temps réel, en orchestrant des composants d'acteurs multiples, pour répondre dynamiquement à des besoins spécifiques et évolutifs.

Nous présentons dans cet article une vision intégrée de ces diverses évolutions.

RÉSEAUX ET MARCHÉS VERTICAUX, UN CHANGEMENT DE PARADIGME

Les générations successives des réseaux mobiles ont historiquement poursuivi comme objectifs majeurs l'augmentation de la capacité, des débits et de la couverture, à des coûts rendant économiquement rentable leur déploiement. Avec l'avènement de la 5G, un changement de paradigme est introduit : la conception partiellement synergétique avec divers secteurs d'activité, tels que les transports et l'industrie du futur (mentionnons par exemple les initiatives 5G Automotive Association, 5G Alliance for Connected Industries and Automation et Software Republic).

De manière caricaturale, nous sommes passés d'une logique où les réseaux étaient conçus et déployés, puis le marché décidait « quoi en faire », à une logique dans laquelle un travail sur les possibles cas d'usage est réalisé très en amont et avec une participation directe de divers secteurs d'activité. Il en ressort des spécifications fonctionnelles et non fonctionnelles mieux adaptées aux besoins réels de ces secteurs.

Ainsi, les divers secteurs d'activité ne se limitent plus à être des utilisateurs des réseaux, mais deviennent des partenaires technologiques de ceux en charge des infrastructures numériques.

Les réseaux véhiculaires en tant qu'extension d'un réseau d'infrastructure représentent un exemple bien connu. Par ailleurs, les réseaux dits à l'*edge* (au bord) deviennent progressivement une partie intégrante des infrastructures du numérique.

Nous verrons par la suite que les interactions technologiques entre les réseaux et divers marchés verticaux (énergie, eaux, industries manufacturières, transports, bâtiment, etc.) se diversifient fortement avec les nouvelles générations de réseaux, donnant lieu à des évolutions majeures d'architectures, de services et de modèles économiques. Cela est encore plus significatif dans le cadre des réseaux privés ; ces derniers étant un des atouts clés pour la diffusion de la 5G et des réseaux du futur en général.

Cette interpénétration accrue se traduit par une dépendance fortement croissante des divers secteurs d'activité vis-à-vis des infrastructures du numérique, imposant sur celles-ci de nouvelles contraintes, notamment en termes de sûreté et de sécurité, mais également en termes de flexibilité (création automatique et dynamique de réseaux dans le cadre de systèmes virtualisés) et de latence (notamment dans le cadre du contrôle de sites industriels).

CONVERGENCE RÉSEAUX-CLOUD, MEC

En 2012, un groupe de 13 opérateurs télécom, dont Orange, ont publié un livre blanc¹ qui introduit le concept de virtualisation des fonctions réseau (NFV pour Network Functions Virtualization). Ce document a représenté en quelque sorte la validation de concepts qui étaient déjà étudiés, mais dont on doutait fortement de leur acceptabilité massive par ces acteurs.

Historiquement, les équipements de réseau télécommunication ont été construits comme des solutions *hardware*, spécifiques à chaque constructeur et en tant que boîtes noires. Cela présente de nombreux inconvénients : les difficultés et délais pour introduire de nouvelles fonctionnalités, le coût élevé et la dépendance technologique. Certes les réseaux sont standardisés, mais en fait seuls les interfaces entre grands blocs fonctionnels le sont.

Le document mentionné, partiellement motivé par le grand succès des centres de calculs appelés *data centers*, capables d'implémenter avec flexibilité une multitude de fonctionnalités, services et applications, préconise le remplacement des équipements dédiés par un *hardware* générique (serveurs informatiques) et l'implémentation *software* des fonctionnalités réseaux.

La *softwarisation* des réseaux, traitée en détail dans l'article d'Emmanuel Puig dans le présent numéro, est ainsi formalisée et fortement accélérée.

En conséquence, d'une part, de très nombreuses fonctions réseau sont aujourd'hui offertes en mode *cloud*, y compris pour la radio (*cloud-RAN*) et ce phénomène s'accélère. D'autre part, le *cloud* sort des grands *data centers* pour se disséminer jusqu'aux extrémités (le terme *edge* est utilisé dans la littérature) et notamment au niveau du MEC (*Mobile Edge Computing* ou *Multi-access Edge Computing*), permettant de nombreuses nouvelles applications, notamment celles sensibles à la latence ou nécessitant une protection particulière des données. Cela joue un rôle central dans les interactions avec les verticaux mentionnées plus haut. Le terme *edge* tel qu'utilisé dans ce contexte fait référence, soit à des points de présence des réseaux proches des clients finaux (bien plus proches que les grands *data centers*), ce qui est le cas du MEC, soit à des équipements côté usager, comme des terminaux, des voitures ou autres objets connectés.

¹ Network Functions Virtualization - An introduction, benefits, enablers, challenges & call for action (https://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf).

L'ensemble de ces évolutions prises conjointement nous font parler de convergence ou interpénétration réseau-*cloud*. L'utilisation du paradigme *cloud* dans les architectures de réseau permet à ces dernières d'introduire une très grande agilité et flexibilité. Le déploiement de ressources *cloud* dans les points de présence des réseaux permet quant à lui une grande diversité de nouvelles applications et usages.

Cette convergence facilite la mise en œuvre de diverses solutions réseaux, telles que le *slicing*, c'est-à-dire, la capacité de partitionner les réseaux en attribuant des parties (*slices*) à différents clients. Ce concept général ne diffère en principe pas trop du concept historique de réseau privé virtuel, sauf qu'ici la flexibilité est totale, chaque *slice* pouvant avoir des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles qui lui sont propres et avec la possibilité de faire évoluer dynamiquement et en temps réel les fonctions qu'il comporte et les ressources qu'il utilise.

Tout cela est possible grâce à la virtualisation des fonctions, qui de ce fait peuvent être ajoutées, éliminées ou déplacées dynamiquement. En effet, les fonctions, devenues purement logicielles et tournant sur du *hardware* générique, ne sont plus enfermées dans des boîtes noires.

Par ailleurs, les évolutions mentionnées plus haut sont un facilitateur majeur pour l'ouverture des réseaux. Cette ouverture se met en place de deux manières principales. Dans la première approche, les architectures des réseaux deviennent potentiellement plus ouvertes, permettant à une diversité d'acteurs de proposer des composants de réseau et aux opérateurs de construire leur réseau en déployant et interconnectant des composants de fournisseurs différents. C'est le cas notamment des solutions OpenRAN. Dans la deuxième approche, les réseaux proposent des interfaces, notamment des API, qui permettent à d'autres acteurs de contrôler une « partie » du réseau, typiquement celle qui leur est attribuée, notamment dans le cadre du *slicing*. Ce concept se généralise et introduit de nouveaux changements de paradigme, comme nous le verrons dans la section suivante.

Un élément clé des architectures ainsi définies est l'orchestrateur, l'intelligence qui permet à chaque instant d'identifier les fonctionnalités nécessaires, de les agencer et de leur attribuer les ressources dont elles ont besoin.

Toutes ces évolutions sont en cours, mais sont loin d'avoir abouti malgré leur intérêt certain. Une des raisons est que, même si la technologie répond plutôt bien aujourd'hui aux besoins de convergence mentionnés (dans des cadres restreints qui ne couvrent pas les évolutions à venir présentées plus bas), les filières industrielles concernées se trouvent dans une situation de concurrence de plus en plus forte. De ce fait, elles ont du mal à trouver les moyens et le temps pour opérer une plus forte convergence qui prenne en compte notamment de nouveaux modèles d'affaires ; nous y reviendrons plus loin dans cet article.

DES SERVICES RÉSEAUX AUX PLATEFORMES DU NUMÉRIQUE

L'étape suivante dans l'ouverture mentionnée plus haut consiste dans la possibilité pour des acteurs tiers de déployer leurs propres composants dans les infrastructures convergentes réseau-*cloud*. Ces fonctionnalités, développées par des tiers et déployées à travers d'APIs², portées ainsi par les infrastructures convergentes réseau-*cloud*, sont

² API : *Application Programming Interface*. L'idée principale d'une API est qu'elle permet à des acteurs externes d'interagir avec le système qui la propose sans savoir comment ce système est conçu et implémenté. Ces interactions peuvent être de multiples niveaux, tels que la demande d'une construction à la demande d'un réseau virtuel ou plus simplement, l'activation d'un service simple, par exemple de messagerie.

notamment en lien avec des services (de tout type, pas uniquement services réseau) et des applications fournies également par des acteurs tiers, pas nécessairement les mêmes que ceux qui déploient les fonctionnalités.

L'ouverture du cœur de réseau pour accueillir de telles fonctionnalités rend même possible l'émergence d'une place de marché de ces fonctionnalités déployées sur les infrastructures que nous traitons et ouvre ainsi de nombreuses opportunités et des risques importants.

L'idée générale, posée de manière « caricaturale », serait de voir les infrastructures convergentes réseau-*cloud* comme un PaaS (*Platform as a Service*) qui accueille de nouvelles fonctionnalités, de divers acteurs tiers, permettant de construire dynamiquement, à la demande, de nouveaux services et applications. Toute la chaîne, en partant du réseau lui-même, pouvant être construite à la demande et en temps réel.

Ce type de solutions est aujourd'hui plus prospectif, mais envisageable dans un horizon de 5 à 8 ans. Néanmoins, des verrous sont à lever, notamment dans la conception de nouveaux types d'orchestrateurs, dans la conception de mécanismes de validation des propriétés des composants acceptés dans la place de marché, dans la spécification des niveaux de qualité sur divers critères à exiger de ces composants, etc.

VERS LES SERVICES MULTISECTORIELS

Indépendamment des évolutions que nous venons de mentionner, une autre transformation se met en place. La numérisation, qui jusqu'à présent s'est faite en silos, par secteur d'activité, passe à une nouvelle phase, avec l'avènement de services multisectoriels. Dans ce cadre, des acteurs de secteurs d'activité différents collaborent pour développer conjointement des services fortement innovants s'appuyant sur les services et les données de chacun, tout en gardant la maîtrise de leurs données et infrastructures. Selon les modèles économiques choisis, ils peuvent aussi être en « coopération » (voir Figure 1). L'image suivante contient une représentation graphique de ces concepts.

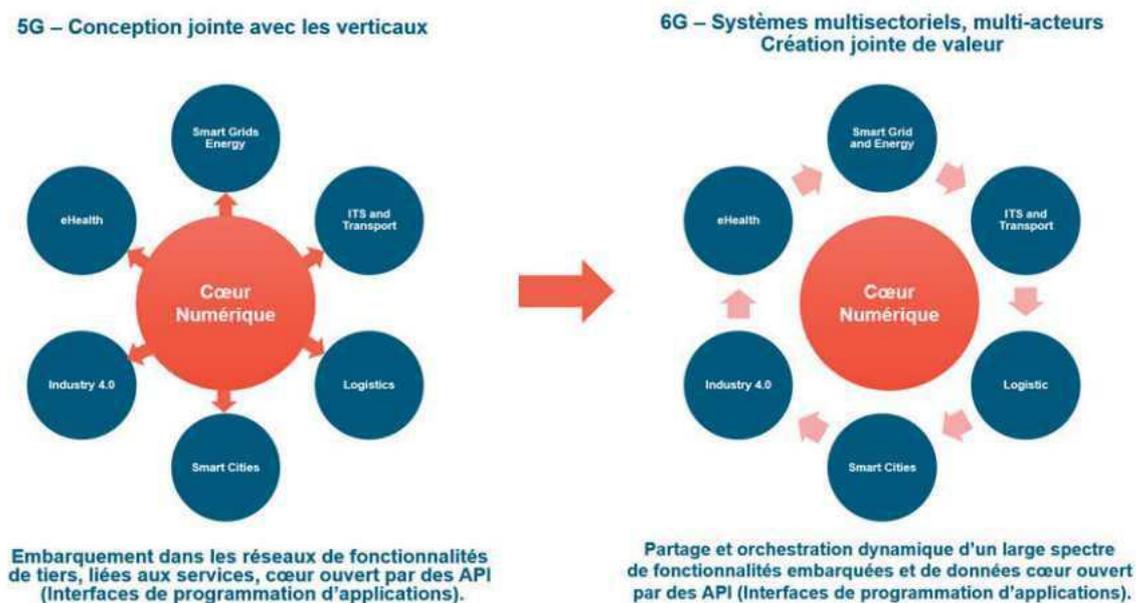


Figure 1 : Exemples de modèles économiques de coopération entre les acteurs.

La convergence réseau-*cloud* et l'ouverture des réseaux au travers des API mentionnées plus haut représentent clairement des facteurs d'accélération de cette tendance émergente.

Ici encore, les verrous sont multiples. Du point de vue technologique, l'orchestration dans un cadre multi-sectoriel pose de nouveaux problèmes. Pour les lecteurs familiers de l'architecture de l'Internet, on peut faire l'analogie avec l'introduction du routage externe, multi-systèmes autonomes. Notamment, les choix technologiques deviennent extrêmement dépendants des modèles d'affaires potentiels entre acteurs. À la différence du routage Internet, nous sommes ici face à une très grande diversité d'acteurs, de fonctionnalités à orchestrer, de contraintes à prendre en compte (notamment en lien avec l'accès aux données) et surtout à un ensemble d'acteurs et de fonctionnalités qui varie en permanence. La garantie de la qualité de service de bout en bout, le respect de bout en bout des politiques de sécurité et de protection des données de chaque acteur impliqué, le respect de leurs politiques en termes d'impact environnemental et de sobriété énergétique, ne représentent que quelques-uns des challenges à affronter.

Face à cette explosion de la complexité, de nouvelles approches de conception, de planification des opérations de contrôle et de maintenance, etc., basées sur de l'intelligence artificielle et l'utilisation de jumeaux numériques sont en cours d'étude, mais encore dans des stades très embryonnaires. Le lecteur intéressé est invité à lire notre autre article concernant ce sujet dans ce même numéro. De plus, une prise de conscience commence à apparaître concernant la surestimation du potentiel de l'IA et même de l'IA générative, et plus précisément de la capacité à trouver des modèles d'affaires permettant de faire face aux coûts engendrés par cette IA. Un article du 20 juin 2024 évalue que l'industrie de l'IA devrait générer un chiffre d'affaires annuel de 600 milliards de dollars pour être rentable³ et fait référence à une potentielle bulle autour de l'IA. Même si ceci concerne surtout la course au gigantisme des modèles généralistes, les IA génératives spécialisées pourraient être également impactées par un nouveau retournement de situation dans le financement de l'IA.

Nous sommes donc dans un cadre général qui permet de clairement identifier la voie, vu les avantages indiscutables des solutions décrites, mais dont il est très difficile d'évaluer les horizons de temps auxquels des solutions stables seront disponibles.

CONVERGENCE RÉSEAU-CLOUD, OUVERTURE ET *HYPERSCALERS*, UN FUTUR INCERTAIN

L'ensemble des évolutions mentionnées dans les paragraphes précédents pose de manière encore plus centrale la question des investissements et du partage de la valeur entre les filières historiques et notamment entre opérateurs de télécommunications et *hyperscalers*⁴. Depuis plus de 20 ans (Google, par exemple, a été créé en 1999 et le premier iPhone date de 2007), cette question du partage de la valeur est soulevée par les opérateurs qui sont les principaux investisseurs dans les infrastructures de réseaux qui supportent les services des *hyperscalers*. Ils disposent ainsi du contrôle de ces réseaux et des ressources confortables de communication associées. Les évolutions mentionnées risquent de réduire fortement le positionnement clé des opérateurs dans la chaîne de valeur. Si nous ajoutons à cela les investissements des *hyperscalers* dans des câbles sous-marins de très grande capacité, la croissance forte du marché des réseaux non terrestres (avec notamment les constellations de satellites en orbites basses et moyennes) avec la concurrence accrue qui se dessine dans ce domaine et la multiplicité d'opérateurs de télécommunications en Europe qui se traduit par le fait que les entreprises en question ont un poids financier limité (en comparaison aux autres acteurs mentionnés), les risques pour les opérateurs

³ <https://www.sequoiacap.com/article/ais-600b-question>

⁴ On appelle *hyperscalers* les quelques compagnies américaines qui dominent le marché mondial du *cloud*.

de télécom, mais aussi pour les équipementiers fournisseurs historiques de ces derniers, sont évidents.

Mitiger ces risques impose une vision holistique des acteurs impliqués, des évolutions technologiques, des nouveaux modèles d'affaires, de la réglementation, etc. Les décisions sont difficiles : la *softwarisation* des réseaux a des avantages notables pour les opérateurs, mais elle les rend plus vulnérables aux positionnements d'autres acteurs. De même, l'ouverture des réseaux, à la mode OpenRAN, présente un intérêt pour les opérateurs, mais met en risque le positionnement des constructeurs, qui néanmoins n'ont pas le choix et doivent suivre. L'IA semble *a priori* un moyen clé pour la maîtrise de la croissance très rapide de la complexité, mais elle a ses propres challenges et un risque de ralentissement dans les investissements. Le multi-sectoriel est une voie de forte création de valeur, très probablement la prochaine phase de la transformation numérique, mais la disposition des acteurs pour y avancer n'est pas claire et les modèles économiques pour accélérer les processus sont à définir.

Dans ce cadre, de nouvelles formes d'organisation de l'écosystème pourront éventuellement émerger, ouvrant la porte à des rôles nouveaux, facilitateurs des relations technologiques ou économiques entre les parties prenantes.

Tout ceci accroît de manière notoire les enjeux autour de la souveraineté numérique, voire de la souveraineté tout court, étant donnée l'imbrication croissante du numérique avec tous les secteurs d'activité. Une réflexion de fond, globale, multipartite semble s'imposer dans l'intérêt de tous à moyen terme et cela même si la pertinence et les modalités ne semblent pas évidentes à court terme.