Les enjeux des réseaux de télécommunications : du télégramme à l'intelligence artificielle

Sabine Martin

Dans un environnement encadré par les autorités de régulation, soumis à la pression économique, concurrentielle et politique, les opérateurs de télécommunications sont confrontés à des défis permanents, afin de répondre aux besoins des consommateurs, tant au niveau des services (développement des données) qu'au niveau des terminaux (accès mobile et multi-supports) et enfin au niveau des réseaux où l'infrastructure doit acheminer un contenu toujours plus volumineux.

Capables de transmettre des données audios, visuelles, textuelles, les réseaux de télécommunications occupent une place centrale dans nos sociétés depuis la fin du XVIIe siècle. Leur nécessaire fiabilité est un des enjeux fondamentaux de leur développement. A toutes les époques, les réseaux de télécommunications ont constitué un lien entre les hommes avec le besoin croissant d'une communication discrète et rapide. Au cours des siècles, plusieurs systèmes ont été mis en œuvre pour communiquer à distance, le plus rapidement possible : émission de fumée, production de signaux sonores au moyen de tam-tams, de cloches d'église, etc. Les techniques les plus insolites ont été utilisées pour permettre de réaliser ce projet ; certains procédés ont été abandonnés, d'autres ont donné naissance à la communication moderne. D'abord limités à la transmission de messages via le réseau télégraphique, les réseaux de télécommunications sont, à l'origine, filaires. Ils permettent de déplacer la voix des interlocuteurs qui peuvent ainsi maintenir une conversation à distance, grâce à une ligne, deux récepteurs et un langage commun.

Il faudra attendre la fin du XIXe siècle et la découverte de l'existence des ondes électromagnétiques par le physicien allemand Heinrich Hertz pour que se développe la transmission d'informations sans fil (télégraphie, radio, télévision et téléphone). Progressivement, les réseaux de télécommunications permettent d'autres modes de communication, avec des données qui se déplacent à très grande vitesse : le très haut débit devient alors un enjeu stratégique pour les réseaux du XXIe siècle.

Présenter les enjeux des réseaux de télécommunications en passant en revue plusieurs siècles d'évolution technique de ces réseaux, peut sembler bien ambitieux ; de fait, je serai nécessairement amenée à n'évoquer que certains aspects de la question. Mais je m'efforcerai cependant de présenter des données, des points de repère et des faits marquants, qui m'ont semblé les plus remarquables au regard de la thématique retenue. Pour évoquer le vaste sujet des enjeux des réseaux de télécommunications, je vous convie à un voyage dans le temps, en trois dimensions :

- Le réseau Télégraphique : enjeux militaires, politiques et économiques ;
- Le réseau Téléphonique : de la communication à l'accès à l'information (de la voix humaine au multimédia) ;
- Le réseau Très Haut Débit : réponse à la forte croissance de la demande en débit.

Le réseau télégraphique : enjeux militaires, politiques et économiques

Robert Hooke, physicien anglais, sorte d'homme universel, qui inventa des systèmes d'horlogerie, démontra le mouvement de la terre et étudia les étoiles, expérimenta en 1684 une machine à signaux en forme de châssis, où des planches noires manœuvrées selon une certaine formule, représentaient les lettres de l'alphabet. Six ans plus tard, un Français, Guillaume Amontons, a l'idée de créer des relais en montrant qu'on peut y poster des gens munis de

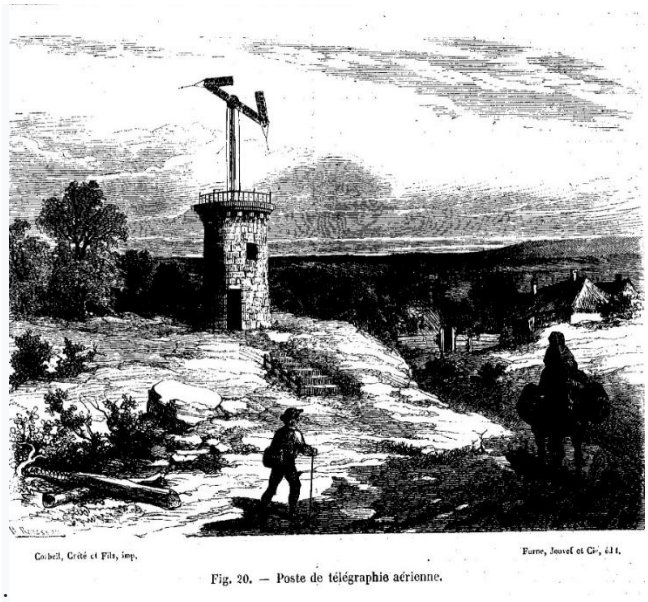
lunettes ou de télescopes pour déchiffrer les signaux : son système paraît avoir beaucoup de ressemblance avec celui que Claude Chappe devait développer plus tard.

Dans *l'Éloge d'Amontons*, l'académicien Bernard Le Bouyer de Fontenelle a décrit, avec assez d'exactitude, la découverte d'Amontons, qui consistait à se servir de lunettes d'approche pour observer les signaux transmis par des postes fixes ; il regarde l'invention de ce dernier comme un jeu d'esprit très ingénieux, et cependant il dit qu'avec ce procédé, on pouvait envoyer une dépêche de Paris à Rome en trois ou quatre heures, sans que la nouvelle pût être soupçonnée dans les pays intermédiaires. « Le secret, dit l'aimable académicien, consistait à disposer dans plusieurs postes consécutifs des gens qui, par des lunettes de longue vue, ayant aperçu certains signaux du poste précédent, les transmettaient au suivant, et toujours ainsi de suite, et ces différents signaux étaient autant de lettres d'un alphabet dont on n'avait le chiffre qu'à Paris et à Rome ».

L'indifférence du public, l'insouciance de l'auteur pour qui la découverte théorique était plus importante que l'application, mirent à néant ce projet, dont il n'était déjà plus question, lorsque Amontons mourut au mois d'octobre 1705. Claude Chappe s'inspirera de ces techniques pour créer en 1793 son système de communication par sémaphore : le télégraphe optique aérien.

Le télégraphe optique

Une ligne télégraphique est constituée de dispositifs placés sur des points hauts (collines) ou sur des édifices (églises, bâtiments publics ou tours construites à cet effet) ; ces relais sont séparés d'une dizaine de kilomètres. Techniquement, le mécanisme est constitué de deux bras connectés par une traverse et coulissant le long d'un mât actionné par un système de manœuvre, qui reproduit les signes grâce à des câbles et des poulies.



Télégraphe Chappe
Illustration parue dans *Les merveilles de la science*, Louis figuier, 1968

Présenté aux pouvoirs publics le 22 mars 1792, le télégraphe intéresse Joseph Lakanal, député de l'Ariège et membre influent de la Convention, qui soutient Claude Chappe. Le 12 juillet 1793, une expérience est menée entre Ménilmontant et Saint-Martin-du-Tertre devant les commissaires de la Convention. Le télégraphe devient rapidement le véritable système de communication de l'État, au plus fort de la Révolution française.

Trois grandes lignes télégraphiques sont alors en fonctionnement, reliant Paris à des zones frontalières, en direction de Lille, Strasbourg et Brest, puis les lignes atteignent le Sud de la France. Le réseau se prolonge et se ramifie pendant l'Empire à partir de ce schéma initial. Napoléon Bonaparte montre un grand intérêt pour le développement des lignes télégraphiques, et le télégraphe connut sous l'Empire une expansion considérable. À titre d'illustration, l'Empereur signe le 24 septembre 1800 un arrêté ordonnant la création d'une ligne télégraphique avec Lunéville, dont le château va être le siège d'un congrès entre Français et Autrichiens, destiné à confirmer le traité de Campo-Formio. Grâce à une ramification de la ligne de Strasbourg, l'empereur va être informé des tractations entre congressistes. La station de Vic-sur-Seille est choisie comme point de départ de ce court embranchement qui se termine sur la tour du château de Lunéville.

Le télégraphe réservé aux dépêches essentiellement militaires et diplomatiques est tourné dans les années 1830 vers la surveillance du territoire, et transmet les résultats de la Loterie nationale. Le télégraphe est également mis au service du commerce, de l'industrie, des banques et de la bourse.

Après la chute de Napoléon Bonaparte, le réseau se contracte et se limite désormais aux nouvelles frontières d'une France rétrécie ; Louis-Philippe relance le développement du réseau par la création de lignes transversales, mais cette reprise est interrompue par la concurrence nouvelle du télégraphe électrique après 1842, et par l'édification du réseau ferré qui permet de transporter rapidement des messages écrits. Le réseau télégraphique optique est démantelé en France en 1855. Il s'étend alors sur 5 000 kilomètres de lignes avec 554 stations qui desservent 29 villes.

Le télégraphe optique présente un certain nombre de limites qui le rendent vite obsolète. Il ne peut évidemment fonctionner ni la nuit, ni les jours de brouillard, malgré les lanternes installées sur le sémaphore, et les débits de transmission sont faibles. Mais surtout, il reste tributaire du vote des crédits par le pouvoir politique puisque seul l'État en est l'utilisateur (toutes les lignes partaient d'ailleurs de Paris). Or, si les crédits sont abondants en période de guerre où le besoin apparaît déterminant, ils sont faibles quand la nécessité stratégique ne joue pas. Après avoir hésité entre un usage ouvert au privé, et un usage au service exclusif de l'État, Louis-Philippe établit par une loi de 1837 le monopole d'État sur les communications télégraphiques, pour éviter la création de lignes privées. Ainsi le télégraphe optique inventé par Claude Chappe ne sera jamais ouvert au public, malgré quelques tentatives de construction de lignes privées clandestines.

Le télégraphe électrique

À partir de 1837, aux États-Unis avec le système de Samuel Morse, utilisant un code séquentiel à deux éléments, les traits et les points, pour désigner les lettres et les nombres, puis en Grande- Bretagne avec le système de William Cooke et Charles Wheatstone, on assiste au développement du télégraphe électrique.

En 1845, la France s'engage, comme les autres pays, dans le développement d'un réseau de télégraphie électrique (appareils télégraphiques imaginés et conçus par Louis Clément François Breguet, horloger et physicien). Au début, les lignes télégraphiques emprunteront les voies de chemins de fer ; chemins de fer qui seront d'ailleurs de grands utilisateurs du télégraphe. Le réseau télégraphique va se développer rapidement en France, pour plusieurs raisons, non seulement d'ordre technique, mais aussi d'ordre politique et administratif.

Le télégraphe de Morse
(Photo de l'auteur)

Parmi ces raisons, la décision d'ouvrir le réseau télégraphique au public est sans doute la plus importante. Elle fut prise par Louis Napoléon Bonaparte dans le cadre d'une loi du 29 novembre 1850, dite loi sur la correspondance télégraphique privée : « Il est permis à toute personne dont l'identité est établie de correspondre au moyen du télégraphe électrique de l'État par l'entremise des fonctionnaires de l'administration télégraphique ». Cette loi organise, en fait, le service public du télégraphe. Pour faire face à la forte croissance du trafic, le système Morse, rapide et économique s'impose. Le code Morse est alors reconnu internationalement.

Quelques chiffres montrent la croissance très rapide du réseau télégraphique, qui relie toutes les préfectures. En 1852, environ 48 000 télégrammes sont transmis sur le réseau ; dès l'année suivante, le trafic atteint 142 000 télégrammes, soit presque un triplement. Une dizaine d'années plus tard, en 1862, le trafic dépasse 1 500 000 télégrammes, dont 15 % représentent un trafic international. Quant aux recettes, elles ont été multipliées, au cours de cette même période, par un facteur 6.

À la fin de 1863, le réseau lui-même est constitué par près de 30 000 kilomètres d'artères télégraphiques, correspondant à 90 000 kilomètres de lignes proprement dites. Quant au réseau international, il s'est, lui aussi, considérablement développé depuis les premières liaisons établies au début des années 1850 (Paris-Berlin : 1850 ; France-Angleterre par câbles sous-marins en 1851). Les grandes liaisons intercontinentales apparaissent à la fin de cette décennie (Londres-New Delhi, par exemple, en 1860). Ce rapide développement du réseau télégraphique est dû, sans aucun doute, à la conjonction de différents facteurs favorables, parmi lesquels, on peut citer :

- un contexte économique, industriel et financier très porteur ;
- une opinion publique favorable et un pouvoir politique (Napoléon III) conscient de l'enjeu des réseaux de communication pour les affaires, les transports ;
- une organisation bien adaptée, relativement autonome et fortement encadrée, l'Administration des lignes télégraphiques ;
- et une créativité technique remarquable à laquelle la France participera largement.

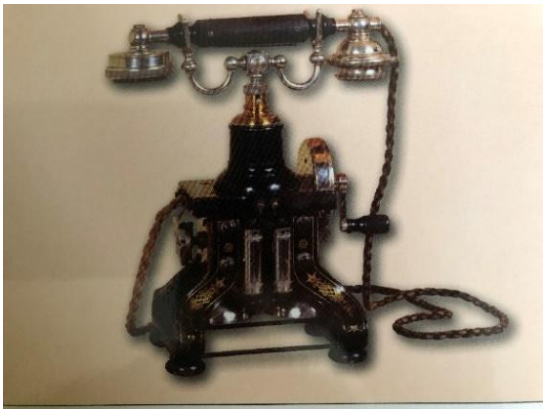
Le réseau téléphonique : de la communication (voix humaine) à l'accès à l'information (multimédia)

Quand Robert Hooke, physicien anglais, tendit un fil entre deux cornets en 1665, il n'imaginait sans doute pas qu'il venait de concevoir l'ancêtre du téléphone, le téléphone à ficelle. Il indiquera dans son traité scientifique *Micrographia* : « En employant un fil tendu, j'ai pu transmettre instantanément le son à une grande distance et avec une vitesse sinon aussi rapide que celle de la lumière, du moins incomparablement plus grande que celle du son dans l'air ».

L'invention du téléphone se situe au début du dernier quart du XIXe siècle. On a même coutume d'en préciser très exactement la date : le 14 février 1876 à 14 heures. C'est, en effet, la date officielle du dépôt du célèbre brevet de l'Américain Alexander Graham Bell. Si le mérite de Bell est immense, l'idée de principe du téléphone avait été cependant déjà énoncée, une vingtaine d'années avant, par un Français, Charles Bourseul, un agent de l'Administration des lignes télégraphiques, qui avait publié dans le numéro de la revue *L'Illustration* du 26 août 1854, une note sur ce qu'il appelait « la merveilleuse découverte de la transmission électrique de la parole ». Mais Bourseul rencontra, à cette époque, un scepticisme général, et il renonça à poursuivre ses recherches.

Après l'invention de Graham Bell, les choses vont aller très vite. En 1877, David Hughes réalise un « microphone », mais un autre inventeur célèbre, Thomas Edison, lui en dispute la paternité au cours d'une retentissante campagne de presse. Après les États-Unis, le téléphone fait son apparition en Europe, notamment en Grande-Bretagne en 1878. En France, les ingénieurs et techniciens se mettent aussi très rapidement au travail. En 1879, l'ingénieur

Clément Ader, plus connu comme pionnier de l'aviation, construit un premier poste téléphonique, dit « poste à colonnes », c'est-à-dire mobile.
Les matériaux les plus nobles sont alors utilisés pour construire les postes téléphoniques : le bois, le cuivre, le bronze et l'ivoirine : citons à titre d'illustration, par ordre alphabétique, les postes Ader, Berthon, Deckert, Ericsson, Marty, Mildé, Wish. Le téléphone devient un objet de luxe, une véritable œuvre d'art, comme en témoignent ces deux illustrations :



Poste téléphonique Ericsson : « la machine à coudre » 1895. Photographie de l'auteur.

Poste téléphonique Wich 1908, style « Art Nouveau » en forme de lyre
Photographie de l'auteur

Au cours de cette même année 1879, des demandes de concession pour installer, gérer les premiers centraux téléphoniques et exploiter les réseaux urbains, sont déposées : trois autorisations d'exploitation sont accordées mais, dès l'année suivante, soit le 10 décembre 1880, les trois concessionnaires fusionnent leurs activités au sein d'une seule société, la « Société Générale des Téléphones » (SGT). Mais l'État conserve la main sur le réseau téléphonique (les techniciens et ingénieurs de l'administration réalisent les études et la pose des câbles aux frais de la SGT), et cette société doit également verser 10% de ses recettes à l'État. Par ailleurs, l'État commence à faire concurrence à la Société Générale des Téléphones en construisant, lui-même, ses propres réseaux et en déléguant aux territoires la tâche consistant à financer les infrastructures. Le premier réseau fut mis en service à Reims en avril 1883, d'autres réseaux suivirent, dont un à Nancy en décembre 1884. Ce régime de concessions restera en vigueur pendant dix ans, jusqu'en 1889 (loi du 16 juillet), date à laquelle le téléphone sera nationalisé et sera entièrement pris en charge par le ministère des Postes et Télégraphes. Rappelons pour l'anecdote, que le 2ème « T » apparaîtra seulement en 1923 : le ministère des Postes et Télégraphes, créé en 1878, deviendra alors le ministère des Postes, Télégraphes et Téléphones.

Dès l'invention du téléphone, l'affaiblissement apporté par les lignes posa un gros problème de qualité de service ; en effet, dès que la distance atteignait quelques kilomètres, la conversation devenait inaudible, d'autant qu'aux tout début, il n'y avait qu'un fil par ligne, le « retour » du courant s'effectuant par la terre. Très vite, les spécialistes conseillèrent de passer aux lignes à deux fils et d'augmenter leur calibre. Et, dans les agglomérations, les lignes étaient tirées au-dessus des maisons, ce qui explique les architectures quelquefois originales, que l'on voyait sur les toits des bureaux de poste et qui étaient destinées à recevoir toutes les lignes desservies par ce bureau. Très vite l'administration abandonne cette méthode, car ces lignes étaient très vulnérables, et leur entretien soulevait de gros problèmes. Pour pallier ces

inconvénients, il fut décidé de construire des câbles dans des galeries souterraines ou dans des conduites placées en pleine terre.

Par ailleurs, afin de permettre à tous de pouvoir joindre des correspondants, des proches, sur l'ensemble des territoires, à tout moment de la journée et de la nuit, et de lutter contre l'isolement, un réseau de cabines téléphoniques va être déployé : le téléphone public.

Les cabines téléphoniques : un réseau accessible au public

Les premières cabines téléphoniques voient le jour en 1885, en même temps que les premiers centraux téléphoniques construits, pour un nombre important d'entre eux, par la Société Générale des Téléphones, jusqu'en 1889. Elles sont installées à l'intérieur des bureaux de poste ou dans des cafés ; le fait de devoir systématiquement faire appel à l'intervention humaine, les « demoiselles du téléphone », gérantes de cabines (avec le développement du téléphone, les employés, dans les premiers temps essentiellement des hommes, sont remplacés par des femmes) restreint l'intérêt des cabines publiques qui ne sont accessibles que pendant les heures d'ouverture des bureaux de poste ou des lieux où elles sont implantées.
On constate alors un réel manque d'ambition de l'État qui, dans le développement de ce nouveau service, se repose en effet sur les municipalités, et certains commerçants pour mettre le téléphone à disposition du public ; la cabine téléphonique constitue, pour la plupart des gens, le seul point d'accès au téléphone.

Sur le terrain des opérations militaires, lors des conflits mondiaux, le téléphone a rendu de grands services et a permis la transmission rapide des ordres, et d'une certaine manière, facilité le mouvement des troupes. Mais ces périodes ont également révélé d'importants dysfonctionnements dans le réseau téléphonique de l'État, [qui fut très endommagé par la Seconde Guerre mondiale], et ont mis en lumière un réel manque d'ambition de l'État.

Le développement du téléphone prit du retard par rapport au développement économique du pays et le réseau téléphonique entra dans une crise chronique et profonde immortalisée par le sketch demeuré célèbre, « le 22 à Asnières », de l'humoriste Fernand Raynaud en 1953.

Avec le début des années 1970, l'État accorde enfin les crédits nécessaires pour que les télécommunications françaises rattrapent leur retard et passent au niveau mondial, du 17e rang au 4e en trois décennies. Le « plan de rattrapage » radical fait basculer le réseau téléphonique d'une situation de forte pénurie à la communication de masse : des millions de lignes sont tirées en quelques années. L'État prend enfin conscience de l'importance du problème et fixe un objectif ambitieux : 100 000 cabines sur la voie publique en 1980 (en 1974, la France ne compte que 18000 cabines sur la voie publique).

Un autre enjeu du développement des cabines téléphoniques est de donner au public la possibilité de téléphoner sans être abonné au réseau (développement des cabines à télécartes). L'objectif sera atteint : les cabines téléphoniques s'intègrent au paysage quotidien de chacun et créent de nouveaux besoins : appel vers les cabines, messageries vocales dans les publiphones, cartes multiservices (réservation de taxi, météo, guide du tourisme et informations sur le déroulement de la coupe du monde de football). L'engouement pour les cabines téléphoniques est remarquable, notamment chez les jeunes qui, à cette époque, ne disposent pas de smartphones. La télécarte devient par ailleurs un objet de collection et un support de publicité. Et le mot « télécarte » fait son entrée dans le dictionnaire de l'Académie française le 22 mai 1990.

La France a compté jusqu'à 300 000 cabines téléphoniques en 1990 (cabines installées sur la voie publique et dans les sites privés, comme les gares, les aéroports et les galeries marchandes). A partir de 1998, on constate une baisse sensible du trafic dans les cabines téléphoniques, liée à un contexte de grande décroissance des usages. Il faut y voir les prémices de la concurrence du téléphone mobile et la révolution des nouvelles technologies avec une

mutation des usages vers d'autres outils de communication numérique. Le service des cabines téléphoniques sera définitivement fermé au public à partir du 31 décembre 2017, en application d'une disposition particulière insérée dans la loi du 6 août 2015 pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques, qui exclut du service universel la gestion des cabines téléphoniques. Aujourd'hui, la quasi-totalité des cabines a été déposée. Les quelques cabines restantes sont soit transformées en cabanes à livre, abris de jardins, soit maintenues en service dans les zones mobiles considérées comme mal couvertes par un réseau mobile et elles seront progressivement déposées dès qu'un opérateur mobile desservira la zone.

Le Minitel : union du téléphone et de l'informatique

La modernisation accélérée du réseau téléphonique dans les années 1970/1980 ouvre la voie au réseau de télécommunications multimédia avec la multiplication de nouveaux services à valeur ajoutée : les nouveaux terminaux domestiques ou professionnels et les nouveaux services se multiplient.

Le Minitel, conçu à l'origine pour remplacer l'annuaire téléphonique, marque l'entrée de la France dans la télématique, l'union du téléphone et de l'informatique. Objet pionnier de la télématique, le Minitel est une aventure technologique française unique.

Alors que le téléphone devient un objet de masse, un nouveau mode de communication, système interactif, ouvre alors un accès public à des informations stockées dans des bases de données, jusqu'alors peu accessibles. L'évolution des réseaux et celles des techniques ouvre de nouvelles perspectives vers une vidéotex à images, sorte de communication enrichie qui permet le rapprochement entre le monde des télécommunications et celui de l'audiovisuel. Ce modèle diffère du modèle téléphonique classique par l'arrivée d'un tiers entre le transporteur et l'utilisateur, l'informateur. Ce modèle fait entrer l'exploitant de réseaux dans un nouveau métier avec de nouveaux partenaires dans un nouvel équilibre.

Malgré la concurrence d'Internet, le Minitel est resté longtemps indispensable, car bien des services n'étaient accessibles que par ce moyen. Les administrations appréciaient en effet sa facilité d'utilisation et la confidentialité des échanges qu'il proposait. L'un des grands atouts du Minitel fut d'être largement répandu dans la population française, alors que l'équipement en ordinateurs personnels était encore assez faible. Le Minitel s'éteint le 30 juin 2012, après **trente ans de service.** Le réseau Transpac qui est derrière les fameux 3611, 3615, 3616 entre autres, est définitivement fermé, faute de rentabilité. Devenu un objet familier des foyers français dans les années 1980, le boîtier marron à l'écran bicolore a été « ringardisé » avec l'arrivée du réseau Internet à la fin des années 90.

Le mouvement d'extension sans précédent des services d'information et de communication multimédias est indissociable d'une autre mutation profonde, l'abandon progressif de la forme dominante de gestion de ces réseaux : les grandes compagnies monopolistiques publiques ou privées laissent, dans la plupart des pays du monde, la place à des entreprises en concurrence.

Le réseau très haut débit : répondre à la forte croissance de la demande en débit

Si le réseau téléphonique assure parfaitement le transport de la voix, il rencontre parfois des difficultés à convoyer d'importantes masses de données. Pour que les informations se déplacent efficacement d'un point A à un point B, d'importants réseaux de télécommunications doivent être déployés, nécessitant des coûts de structure colossaux, avec des câbles, des fibres optiques, des faisceaux hertziens et des satellites pour les communications intercontinentales. Les réseaux de télécommunications deviennent ainsi un enjeu en matière d'aménagement des territoires.

Le très haut débit fixe

Les technologies ont permis d'accroître les débits disponibles, d'abord avec le réseau ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), puis le réseau VDSL (*Very high Digital Subscriber Line*), qui offrent des débits de plusieurs mégabits par seconde (de 10 à 100), et enfin la fibre optique (plus de 300 mégabits par seconde en émission à des Gigabits en réception). L'utilisation de fibre optique et de liaisons par satellites permet d'atteindre des très hauts débits et de transmettre des données en temps réel.

L'un des principaux enjeux des opérateurs de réseaux de télécommunications en ce XXIe siècle est en effet la capacité de ces réseaux à transmettre de grandes quantités de données très rapidement et de manière fiable, tout en réduisant la consommation énergétique des réseaux.
Le développement de la capacité des réseaux conduit à la croissance très significative des usages et à de substantielles baisses de prix. Nous sommes entrés dans l'ère des communications abondantes, rendue possible par la capacité quasi illimitée des réseaux d'interconnexion : le nombre de réseaux de fibres optiques terrestres est partout important, et les systèmes de transmission offrent des capacités de plus en plus grandes (sans oublier les fibres optiques sous-marines). En France, le chantier de déploiement de la fibre optique (FTTH *Fiber To The Home* : la fibre jusqu'au domicile) est l'un des plus grands chantiers industriels en volume et en intensité, qui connaît peu d'équivalent en Europe, avec la création de 15 000 emplois pour la conception et la construction des réseaux. Un câble en fibre optique transporte mille fois plus de signaux qu'un câble coaxial deux fois plus gros ; cela lui permet d'acheminer en plus des communications téléphoniques, des données informatiques et des images télévisées.
La crise sanitaire de 2020 a démontré, si besoin en était, l'importance stratégique des réseaux de télécommunications pour rester connecté au monde : maintien des activités à distance dans les entreprises et les administrations par le recours au télétravail, usage renforcé de la visioconférence pour le suivi des cours à distance dans les établissements d'enseignement, services de santé à distance avec les téléconsultations, usage augmenté des messageries internet, et multiplication du trafic de la voix sur mobile.

Par ailleurs, les performances de tous les terminaux fixes et mobiles continuent de s'accroître. Ils peuvent à la fois stocker de grandes quantités d'informations (données, plans, images animées, sons, programmes) et traiter localement des applications lourdes avec des systèmes d'exploitation résidents.

Les importantes évolutions technologiques ont entraîné des modifications dans les usages des particuliers et des entreprises : nous sommes ainsi entrés dans un monde où tout devient sans fil. Après la radiodiffusion et la télévision, le téléphone a d'abord lâché son fil à la maison pour devenir mobile, nos ordinateurs communiquent aujourd'hui via le Wi-Fi. Plusieurs millions de mails sont envoyés chaque seconde. Les objets communicants partent à l'assaut de nouveaux secteurs comme la domotique, la santé connectée, l'usine du futur, l'agriculture et les véhicules autonomes.

Le très haut débit mobile

En trente ans, le réseau mobile est devenu indispensable dans nos vies et dans le développement de nos sociétés ; une part importante de la compétitivité des entreprises et de l'aménagement des territoires repose sur lui. Pour répondre aux besoins de connexion toujours plus importants, les réseaux mobiles ont su s'adapter depuis la première génération (réseau 1G des années 1980).

Le passage de la quatrième génération de réseaux mobiles (4G) à la cinquième génération (réseaux 5G), notamment pour éviter la saturation du réseau 4G, augmente de manière notable les débits disponibles sur les réseaux cellulaires, pour une plus grande fiabilité de

transmission. Le réseau mobile 5G affiche des débits dix fois supérieurs à ceux du réseau de quatrième génération (4G) : la 5G est un nouveau standard technologique qui permet notamment d'exploiter des fréquences radio ayant des capacités plus importantes afin d'atteindre des débits plus élevés, tout en maintenant plus de connexions simultanées : la 5 G apporte « la fibre optique dans la poche ».

Sa faible latence (de l'ordre de la microseconde) rend possible une connectivité fiable pour des applications en temps réel, qui conduit à des innovations de rupture dans plusieurs domaines, notamment le véhicule autonome, l'agriculture, l'industrie et la télémédecine ou la santé, ainsi que les objets connectés. Ainsi, la 5G n'est pas uniquement une révolution pour la téléphonie mais elle s'inscrit dans un renouveau de l'industrie en termes de numérisation. La 5G devient un levier majeur de compétitivité pour réussir le virage de l'industrie 4.0, de l'usine et de la ville connectées.

Les projets et réalisations autour de la 5G sont nombreux : l'équipement des grandes enceintes sportives, les espaces publics tels que gares, ports, aéroports, la numérisation de filières industrielles telle celle de l'automobile électrique et connectée, l'amélioration des services de santé, etc. A titre d'illustration, des projets européens de déploiement d'infrastructures 5G sur des tronçons transfrontaliers (corridors 5G) visent à expérimenter le véhicule connecté et à tester la capacité des réseaux mobiles des pays à interagir avec leur environnement (détection d'autres véhicules, de piétons) grâce à une continuité du service lors du franchissement des frontières.

L'utilisation de la 5G est impactante par sa consommation en énergie. Cependant, pour une performance similaire, la 5G consomme moins que la 4G, mais la prise en compte de l'accroissement d'objets connectés et du développement des usages peut encore influencer ce constat. C'est pourquoi l'impact global positif induit par les nouvelles technologies, par exemple la réduction des transports physiques grâce au télétravail, et l'optimisation de l'efficacité énergétique de l'industrie ou de la ville liée à la numérisation des processus, doit être intégré. Tout en sachant que l'ambition des objectifs concernant la réduction de gaz à effet de serre est telle que la réduction de la consommation énergétique du secteur des télécommunications est une nécessité.

La transition numérique est ainsi un sujet complexe, qui revêt à la fois une dimension sociétale, économique et technologique, et qui doit mobiliser l'ensemble des acteurs économiques, les pouvoirs publics, la société civile et les citoyens.

Face à une prise de conscience croissante des enjeux environnementaux, les entreprises se tournent vers des pratiques plus durables pour minimiser l'impact sur l'environnement. De plus en plus d'organisations cherchent à développer un numérique plus vert. Elles optent ainsi pour des technologies et des pratiques moins gourmandes en énergie. Elles cherchent également à optimiser l'efficacité de leurs infrastructures réseau pour une gestion plus durable de leurs ressources.

Les opérateurs de télécommunications déploient d'ores et déjà des programmes « Green » destinés à réduire la consommation de leurs réseaux : cela se traduit notamment chez certains opérateurs par l'optimisation des déploiements techniques, la réduction de la consommation énergétique des équipements, le remplacement d'anciennes infrastructures par de nouveaux équipements plus éco-efficaces, le recours aux solutions alternatives comme la ventilation naturelle ou l'énergie solaire dans les *data-centers*. Il convient également de mentionner la mise en place par l'opérateur Orange d'indicateurs de performance énergétique rapportée aux usages sur chacun des réseaux, pour optimiser la performance énergétique du transport de la data et le soutien des actions de recyclage des équipements digitaux non utilisés chez les clients.

L'essor des télécommunications et la performance des réseaux posent inévitablement la question de la confidentialité et de la protection des données qui circulent sur les réseaux fixes ou mobiles.

La sécurité et la protection des données confidentielles : la cybersécurité

Les réseaux de télécommunications sont devenus tellement essentiels et stratégiques, qu'ils créent une forme de dépendance pour les entreprises, les États, et les particuliers. Les hackers malveillants l'ont bien compris. Ils peuvent, par exemple récupérer les données bancaires ou usurper l'identité d'un individu. Des pirates utilisent les failles de la sécurité informatique de certaines entreprises qui exploitent les données de leurs utilisateurs pour intercepter ou bloquer les communications à distance. En échange, ils réclament souvent des rançons astronomiques.

Les entreprises sont aujourd'hui devenues des cibles privilégiées pour les cybercriminels. Elles doivent régulièrement faire face à des attaques de différents types : déni de service, hameçonnage (*phishing* ou *vishing*), *ransomware* (logiciels malveillants bloquant l'accès à un ordinateur ou à des données personnelles tant qu'une rançon n'est pas versée). Si certaines de ces menaces peuvent paraître très techniques, voire abstraites, leurs conséquences sont pourtant très concrètes. Elles conduisent par exemple à l'arrêt d'une chaîne de production d'une usine, à la compromission d'informations sensibles, à des transactions financières frauduleuses, ou encore à la paralysie d'hôpitaux.

Pour limiter les conséquences financières, opérationnelles et réputationnelles d'une cyberattaque, les organisations doivent donc prendre des mesures de protection ambitieuses. Cet impératif est renforcé par un cadre légal qui s'étoffe à l'échelle nationale comme européenne. Avec la directive NIS-2 du 14 décembre 2022, les gouvernements renforcent leurs exigences avec pour objectif d'augmenter le niveau global de sécurité numérique. Face à des cybermenaces en constante progression, la coopération entre acteurs de l'écosystème cyber (États, pouvoirs publics, grandes entreprises, start-up) est plus que jamais indispensable pour renforcer notre souveraineté économique au sein de l'Europe, maîtriser nos données et notre destin numérique.

Ainsi, les opérateurs de réseaux de télécommunications ont-ils élaboré des plans d'action et mis en place des mesures destinées à renforcer la sécurité de leurs réseaux et sur leurs réseaux, en conformité avec la réglementation GDPR (*General Data Protection Regulation*) :

> Règlement Général sur la Protection des Données : si la réglementation en matière de protection des données n'est pas nouvelle, le Règlement européen innove sur bien des points. La perspective du renforcement des sanctions en cas de son non-respect et des pouvoirs des autorités de contrôle incite à une meilleure prise en compte des règles à suivre.

Mais la cybersécurité, « état d'un système d'information qui résiste aux cyberattaques et aux pannes accidentelles survenant dans le cyberespace », selon l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information, n'est pas qu'une question liée à la technologie : c'est également un sujet pour lequel le comportement humain est tout aussi important. En mobilisant chaque collaborateur dans les entreprises et les organisations, il est possible de prévenir l'apparition d'un maillon faible. Aujourd'hui, chacun sait qu'il est à la fois potentiellement un vecteur ainsi qu'une sentinelle en cas de cyberattaque. Aussi, quelques actions simples comme la sensibilisation et la formation continue de l'ensemble des acteurs dans les entreprises aux bons comportements numériques constituent généralement la première défense face aux attaques.

L'intelligence artificielle (IA)

La performance des réseaux de télécommunications permet aux opérateurs de se diversifier dans l'intelligence artificielle : ensemble de technologies tentant de reproduire, par des machines, les capacités cognitives de l'homme : percevoir son environnement, comprendre le langage naturel, apprendre ou raisonner. L'IA permet aussi de réaliser des tâches plus spécifiques comme dialoguer virtuellement avec l'être humain ou piloter une voiture.

Depuis plusieurs années, le monde du travail s'appuie sur une certaine forme d'intelligence artificielle pour réaliser des tâches spécifiques, comme l'analyse des données, la prédiction de tendances ou l'automatisation de processus routiniers. La montée de l'IA générative, capable de créer de nouveaux contenus, a amplifié à la fois les investissements des entreprises et l'intérêt du public. Contrairement à une simple organisation d'informations existantes, des outils comme ChatGPT d'OpenAI ou DeepMind de Google génèrent du texte, des images et des vidéos à partir de requêtes écrites.

L'intelligence artificielle est à la fois un sujet technologique, mais aussi un objet d'intérêt majeur pour les États, les organisations internationales et régionales, et les entreprises. Par son développement, l'IA révèle des enjeux économiques, politiques et culturels. Il en découle des dépendances, des rapports de force, des rivalités, des risques et des opportunités face auxquels chacun cherche à défendre ses intérêts et tirer son épingle du jeu.

Pour un opérateur de réseaux de télécommunications, l'intelligence artificielle répond à deux priorités : soit aider à faire baisser les coûts tout en maintenant ou améliorant la qualité des services, soit à élargir significativement la palette des services proposés sur ses réseaux pour augmenter le prix de l'abonnement.

Pour améliorer la qualité des services et globalement mieux gérer la relation client, le développement de *chatbots* par exemple, permet de répondre à toute heure du jour et de la semaine, en cas par exemple d'une panne sur un équipement (la box), sur le réseau de l'opérateur ou tout simplement pour savoir comment utiliser un service. Car avec la recrudescence des services proposés pour faire face à une concurrence de plus en plus agressive, ne pas savoir servir correctement un client qui n'est plus engagé, conjugué à la facilité par exemple de transférer un numéro de portable d'un opérateur de télécommunications à un autre peut être juste fatal. Le client est désormais volatil.

Le recours à l'intelligence artificielle devient ainsi essentiel pour innover. La donnée, la connaissance client comme son traitement, sont les clés de la réussite des opérateurs de réseaux de télécommunications. Ainsi, l'intelligence artificielle constitue à la fois une menace, au sens où elle va introduire des risques nouveaux, mais également un allié précieux, dans la mesure où elle permet d'améliorer notamment les capacités d'authentification, de sécurisation des données, de détection des menaces, etc. L'intelligence artificielle révolutionne ainsi « l'art » de la cybersécurité qui, en termes de développement et de mise en œuvre de compétences, suscite de plus en plus l'intérêt des étudiants et des élèves ingénieurs dans le cadre de leur orientation professionnelle.

Trois craintes majeures sont communément partagées dans le monde, concernant d'éventuelles dérives de l'intelligence artificielle : le risque d'empiétement sur la vie privée provoqué par une collecte disproportionnée de données personnelles (surveillance de masse), le risque d'une extrême normativité (des moteurs de recommandations enfermant l'individu dans

une sorte de pensée unique…) et le risque d'un remplacement des travailleurs humains par des IA. En France, pour la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL) : « les voix les plus compétentes s'élèvent pour battre en brèche de telles prévisions, assimilées au mieux à des fantasmes, voire à des mensonges ». Pour réguler ces risques de dérive, un travail réglementaire important sur l'intelligence artificielle est en cours au niveau européen. La mission des acteurs de l'écosystème est de coordonner l'approche de tous les États membres sur les implications éthiques de l'IA. Il s'agit en effet de donner un sens à la production mondiale massive de données brutes (les *Big Datas*) dont le volume augmente de 61% chaque année !

En guise de conclusion

Les réseaux de télécommunications ont connu des évolutions technologiques majeures depuis l'invention du Télégraphe, et les dépenses d'investissement des opérateurs ont explosé pour assurer le déploiement des technologies de très haut débit, telles que la 5G et la fibre optique.

Les réseaux de télécommunications sont devenus des réseaux intelligents avec pour conséquence une augmentation des exigences des clients en termes de :

- disponibilité des services ;
- accessibilité sur les territoires ;
- sécurité ;
- gestion et confidentialité des données, protection de la vie privée.
- Ces exigences sont autant des contraintes qui pèsent sur les réseaux, que des opportunités pour les opérateurs qui mettent en œuvre les actions adaptées pour être à la hauteur.

Les enjeux de ces réseaux intelligents sont en effet stratégiques pour les États, les entreprises et la société civile. Un réseau de télécommunications avancé constitue une dimension essentielle de développement économique et un outil d'aménagement des territoires. Ces enjeux nécessitent une attention continue et une collaboration entre les différents acteurs pour garantir un développement durable et équitable des réseaux de télécommunications.

Par ailleurs, de nouveaux entrants sur le marché des télécommunications, qu'il s'agisse de grandes entreprises de technologies ou de start-ups agiles, ont développé des services innovants et attractifs, tirant parti des réseaux déployés par les opérateurs, avec des exigences renforcées pour les réseaux de télécommunications.

Mais il me semble que l'enjeu véritable des réseaux de télécommunications, derrière les technologies d'hier, d'aujourd'hui et du futur, ce sont les femmes et les hommes.

Quelques éléments de bibliographie et références

- ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information), *Glossaire,*
- https://cyber.gouv.fr
- Bastian Jean-Claude, *La difficile naissance des transmissions militaires françaises (1793-1871),* FNARH, 2018.
- Du Camp Maxime, « Le Télégraphe et l'administration télégraphique », *Revue des Deux Mondes, 2e période*, 1867, tome 68, p. 457-497.
- Du Castel François, *Les télécommunications,* XA Descours et Berger-Levrault International*,* 1993, 799 pages.
- Grigonis Richard, "A telephone in 1665?", *TMCnet.com Technews website,* 29 décembre 2008.

- Hooke Robert, *Micrographia*, traité scientifique, Extracts from the Preface, Printed by James Allefiry, Printer to the Royal Society, 1665.
- *Le MAG, supplément du Républicain Lorrain,* « Les cabines raccrochent », 12 mars 2017.
- Martin Sabine, « la 5G, un nouveau réseau pour de nouveaux usages ! », *Les Cahiers de Lorhistel,* 01/2023, n° 75.
- Proust Marcel, *A la recherche du temps perdu,* III *Le Côté de Guermantes*, Gallimard, p. 432. Extrait sur les Demoiselles du téléphone.