

L'histoire des objets connectés

Par Jean-Pierre CORNIOU

Économiste, ancien élève de l'Ena

« Objets inanimés, avez-vous donc une âme ? »,
Alphonse de Lamartine.

Désormais installés dans notre quotidien, les objets connectés sont devenus une porte d'entrée familière et naturelle dans le monde du *web*. Leur histoire est courte et féconde. En deux décennies, les objets connectés seraient aujourd'hui près de 30 milliards. Toutefois, la profusion des formes et fonctions de ces « objets » en font un domaine flou et mouvant de la révolution numérique. Un « objet connecté » est simplement un objet classique – brosse à dents, montre, thermomètre, balance, serrure, automate, vêtement ou véhicule... – auquel on a greffé des capteurs et des capacités de communication permettant d'analyser son comportement et, dans certains cas, d'agir. Si l'expression « Internet des objets » est utilisée depuis 1999, elle recouvre donc des situations très différentes dans le monde des applications domestiques, industrielles, dans le transport et l'énergie ou la santé. C'est donc un domaine fluide qui fait les beaux jours des chasseurs d'innovations spectaculaires, arpentant chaque année les couloirs du CES, la plus grande manifestation mondiale dédiée au numérique, à Las Vegas, où ces produits nouveaux sont présentés chaque année. Mais le monde des objets connectés ne se limite pas aux usages individuels et domestiques. Il porte sur tous les secteurs, toutes les activités, et contribue à la recherche de l'efficacité des processus industriels et à l'optimisation de la gestion des ressources.

Leur histoire apporte un éclairage précieux sur le processus d'innovation accéléré que connaît le monde de l'Internet, nourri par le rapport dialectique entre capacité technique et logique d'usage. Les percées technologiques alimentent l'innovation qui se traduit par de nouvelles propositions d'objets et de services qui partent à la rencontre du public. Si leur propagation est rapide, comme le fut celle du téléphone mobile, la diffusion à large échelle d'objets connectés en réseau permet de créer de nouveaux usages et de nouveaux marchés. Au-delà d'effets de mode éphémères, l'addition de ces objets pose désormais la question de leur utilité collective. La multiplication de milliards de capteurs connectés exploitant la capacité de traitement du cœur de la machine numérique – *data centers*, réseaux à haute capacité, logiciels de traitement des données de masse – permet-elle de donner une dimension cohérente à cet agrégat d'objets et de données hétérogènes ? Pourra-t-on ainsi enrichir notre capacité à comprendre et à piloter notre environnement tout en préservant notre liberté de discernement et notre capacité à rester anonyme ?

L'histoire des objets connectés s'inscrit dans la longue perspective de l'histoire des techniques de traitement automatisé de l'information, de l'invention des machines mécanographiques programmables aux ordinateurs centraux à partir de la fin de la Seconde Guerre mondiale, puis au micro-ordinateur à partir de 1980. L'informatisation de la société a franchi une étape majeure à la fin du XX^e siècle avec la conquête de la sphère grand public par des outils naguère réservés, à cause de leur coût et de leur complexité d'usage, au monde de l'entreprise.

Le marché des premiers micro-ordinateurs, dans les années 1980, a souffert de l'infirmité de cette machine puissante à communiquer. Échanger des données avec l'extérieur est devenu une nécessité. Ceci a donné naissance à une première connexion, celle de l'ordinateur à son imprimante, pour produire et diffuser des informations. L'épopée de l'Internet, engagée en 1969,

s'est accélérée à partir de 1994 avec la mise en place des outils logiciels qui permettaient d'exploiter facilement la capacité de connexion offerte par les réseaux de télécommunications. L'habile architecture de l'Internet (réseaux TCP/IP, serveurs DNS) a permis d'accueillir de façon continue nouveaux objets et nouvelles fonctionnalités. Cette révolution technique, accompagnée d'une baisse des coûts et de la dérégulation des télécommunications, a ouvert le champ de l'innovation à une généralisation des échanges numériques entre ordinateurs puis, par couches progressives, entre objets électroniques et physiques n'ayant pas été initialement conçus pour communiquer.

La dissolution des frontières entre catégories d'objets

Le MIT Media Lab, créé en 1985, a été le creuset de travaux pluridisciplinaires sur les usages technologiques dans tous les domaines de la société inspirant les chercheurs et les pionniers de l'industrie. Au début des années 2000 est apparu le concept d'ATAWAD – *anytime, anywhere, any device* – qui illustre parfaitement l'ambition de tous les acteurs du *web* : créer un monde d'interconnexion généralisée offrant à chacun la capacité de puiser dans les ressources numériques mondiales pour travailler, s'informer, se distraire, se déplacer. Cette révolution de l'omni-communication a très vite fait exploser le cadre normatif qu'avait installé l'informatique classique, autour du terminal passif, puis du micro-ordinateur connecté, pour généraliser la multiplicité des sources. Néanmoins, l'architecture de ce nouveau système est restée fidèle à la vision de von Neumann, séparer les données et les traitements. Le travail des informaticiens consiste à numériser tout type d'information et à dissocier l'information de son support. Cette rupture technique a entraîné l'effondrement d'un monde d'ingéniosité et de maîtrise qui avait poussé la qualité des systèmes mécaniques et chimiques de capture d'information, de mesure et de reproduction du son et de l'image à un degré élevé de performance. L'informatique a pénétré chacun de ces domaines d'excellence, où le génie humain avait su repousser les limites physiques, de l'horlogerie à la photographie, de la métrologie au son, du calcul à l'art de la localisation, de la régulation à l'automatisme. En transformant les données analogiques en données numériques, on a appris à les interpréter, les stocker, les restituer sous des formes de plus en plus ergonomiques, et étendu le domaine des connaissances, désormais encore amplifié par l'intelligence artificielle.

Par exemple, pour la musique, un disque microsillon contient de l'information qui ne peut être dissociée de son support physique, la transcription de cette information en signal sonore se faisant par un ingénieux système physique qui consiste à lire les sillons gravés sur le disque, traduits en signal électrique par une cellule électromagnétique. L'industrie phonographique a déployé des trésors d'intelligence pour reproduire un son le plus fidèle possible au son d'origine enregistré. En quelques années, cet édifice a été balayé par la numérisation du signal qui permet tout au long de la chaîne de maintenir l'intégrité de l'information sous forme de 0 et de 1. Transformant chaque secteur vertical, la numérisation du signal a également permis de rapprocher des domaines qui s'ignoraient pour créer des objets et des services nouveaux. De mécanique et physique, la compétence devient logicielle.

L'histoire des objets connectés est celle d'une expansion continue des possibilités techniques et des usages, servie par la miniaturisation des composants, la baisse des coûts, les progrès des logiciels et l'ouverture des possibilités de communication.

La conquête de la démocratisation

Le succès des objets connectés est alimenté par leur utilité. L'imagination est sans limites, car il est tentant d'adjoindre à un objet classique les équipements qui vont le rendre « connecté ». Les *start-up* n'hésitent pas à proposer des rapprochements étonnants, souvent sans lendemain, car le marché ne suit pas ces défricheurs de la connectivité. Le succès durable n'est en effet atteint que lorsque

l'évolution de l'objet répond à un double examen : est-ce utile ? Est-ce agréable ? De plus, est-ce que la promesse d'utilité et d'agrément est atteinte avec un coût acceptable au regard de la valeur perçue ?

Car il n'est pas évident de faire un produit pertinent qui ne finit pas prématurément sa carrière dans l'oubli d'un placard, soit parce qu'il ne fonctionne pas convenablement, soit parce que, plus prosaïquement, son possesseur finit par conclure... à son inutilité.

Le plus grand succès de tous les objets connectés a été le téléphone mobile. Le téléphone mobile dans sa version initiale ne fonctionnait que comme un téléphone conventionnel, mais sans fil pour échanger par la voix. Il a fallu l'invention du "*smartphone*" en 2007 pour transformer cet outil simple en objet complexe multifonctionnel. En effet, outre l'ergonomie et le clavier tactile immédiatement reconnus comme clivants, Steve Jobs a eu l'intuition d'équiper son téléphone de capteurs inusités par ses concurrents et qui ont conduit à propager de nouveaux usages. Ainsi, le premier iPhone était équipé d'un appareil photo et de fonctions audio puissantes ; la fonction de géolocalisation a fait son apparition dès la version 2, en 2008, exploitant la 3G. La photographie a connu une transformation spectaculaire avec la généralisation de la capture d'images en toutes circonstances et de leur diffusion instantanée.

Mais c'est certainement la géolocalisation qui a le plus transformé la vie quotidienne. Elle a permis de mettre au point des applications multiples permettant l'exploitation des données contextuelles. Uber est né de la géolocalisation. Et la géolocalisation s'est développée grâce à l'effondrement du prix des capteurs, d'une centaine de dollars en 2000 à quelques dollars aujourd'hui. Plus encore, les performances de ce couteau suisse qu'est devenu le *smartphone* ont rendu la possession d'autres objets dédiés inutile dans la plupart des cas, asséchant des marchés bien établis comme celui des appareils photos.

Pour rendre connectable tout objet, l'idée de leur adjoindre une étiquette active a été une des premières pistes pour répondre au problème du suivi d'objets de masse. La technique de Radio Frequency Identification (RFID) a fait l'objet de nombreux essais et mises au point depuis son origine dans les années 1930. Il s'agit d'envoyer une onde électromagnétique sur un objet qui, doté d'une étiquette passive, non alimentée, va renvoyer un signal grâce à un composant électronique doté d'une antenne. Cette technique s'est révélée simple, efficace, et peu coûteuse. Plusieurs types d'étiquettes ont été mis au point permettant le transfert d'information sur des distances allant de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres selon les bandes de fréquence et la possibilité de les alimenter électriquement de façon autonome. Une des limites actuelles à la multiplication des capteurs est leur alimentation en énergie.

Les objets connectés doivent leur succès à un nombre limité d'infrastructures qui permettent leur collaboration. Il s'agit bien évidemment des progrès considérables des télécommunications mobiles depuis les années 1980, arrivées aujourd'hui à leur cinquième génération. Les normes de communication, dont Bluetooth, WiFi, ZigBee, LoRa, jouent le rôle essentiel d'assurer la communication bidirectionnelle à courte distance entre objets. La normalisation a été l'accélérateur attendu de l'Internet des objets, permettant l'interopérabilité et la durabilité des systèmes, ce que ne pouvaient garantir les premiers systèmes propriétaires.

Le développement de systèmes de géolocalisation par satellite, dont le système américain Navstar GPS a été le pionnier à partir de 1975, est également un composant majeur du système d'échanges entre objets en apportant une référence physique de positionnement ultra précise. GPS, d'origine militaire, n'a été ouvert aux usages civils, sans être bridé, qu'en 2000 alors que depuis de nouveaux systèmes, comme Galileo pour l'Europe, ont une vocation civile et commerciale. Russes, avec GLONASS, et Chinois, avec Beidou, se sont dotés de leurs propres systèmes. Plusieurs milliards de capteurs des signaux satellites de géolocalisation sont en fonctionnement, notamment depuis que les *smartphones* sont équipés en série de ce composant.

Parmi les objets usuels que la connectivité a déjà profondément transformés, l'automobile offre un exemple en pleine effervescence. Dans un ouvrage publié en 2001, *Naissance de l'automobile moderne 1930-2000*, les auteurs jugent l'évolution électronique des véhicules : « Régulateur de vitesse automatique, radar, commandes vocales et navigation par satellite étaient annoncés pour les années 1990 sur la plupart des modèles mais, en réalité, ils sont encore trop complexes et coûteux pour un modèle familial courant ». Tous les pionniers de l'aide à la navigation dans la décennie 1990, dont Renault avec le système Carminat, doutaient de la possibilité de parvenir un jour à créer un système attractif, fiable et surtout économique tant les obstacles techniques pour numériser l'ensemble du territoire et assurer le suivi du véhicule étaient nombreux. En moins de vingt ans, toutes les voitures disposent d'un équipement qui aurait fait rêver les possesseurs de voiture de luxe des années 1980. Tous les constructeurs et équipementiers travaillent à l'intégration de ces capteurs en assurant une continuité d'informations entre le véhicule, les véhicules qui l'entourent et l'infrastructure au sol. Ces technologies sont nommées V2X, *vehicule-to-everything*. L'enjeu est désormais de faire en sorte que l'addition d'informations n'en vienne à perturber le conducteur au lieu de renforcer sa protection et facilité de conduite.

L'automobile est devenue un produit hybride entre mécanique et électronique. Se pose désormais un nouveau défi pour l'industrie automobile, celui de la dépendance envers les éditeurs de logiciels, les fabricants de microprocesseurs et composants électroniques, ce qui conduit à de nouvelles alliances entre constructeurs, équipementiers et spécialistes du numérique embarqué.

De l'objet connecté à l'information

En développant de multiples objets dotés d'une capacité de communication, l'industrie a généré la production d'un volume considérable de données qui représentent un potentiel d'informations très riche. Faire de ce potentiel hétérogène un actif utile à la communauté semble bien être un des enjeux de ce XXI^e siècle.

En effet, chaque machine, chaque équipement, fixe ou mobile, peut être équipé de ressources renseignant sur son état et son niveau de performance. Cette faculté présente évidemment le potentiel de surveiller le fonctionnement des installations opérationnelles et de gérer de façon précise les dysfonctionnements des équipements. La promesse de comprendre et de maîtriser le fonctionnement d'ensembles complexes est évidemment la vitrine alléchante du monde des objets connectés. Ainsi, la plateforme chinoise de commerce en ligne Alibaba présentait au CES de 2018 son concept "City Brain", déployé dans la ville d'Hangzhou. Il s'agit de connecter 1 300 feux de circulation pour analyser en temps réel la circulation de la ville, et d'optimiser la fluidité du trafic en prédisant, grâce à l'intelligence artificielle, l'évolution du trafic et en réagissant à tous les incidents. Si de tels systèmes ont pu être exploités dès les années 1980, c'est bien la qualité des capteurs, la fusion des informations et la puissance des logiciels qui permettent d'atteindre un haut niveau de performances. Il y a un envers moins séduisant, celui d'une omni-surveillance potentielle de tous les comportements, ce que la Chine admet au nom du bénéfice social que la communauté retirerait de ces outils.

En rassemblant les données, il est désormais possible de produire un modèle fidèle du fonctionnement d'une installation. Il s'agit de la technique du jumeau numérique. L'objectif premier est de comprendre les interactions entre les composants d'un système, afin de parvenir à en optimiser le fonctionnement global et à anticiper les dysfonctionnements pour intervenir en maintenance préventive.

Les objets connectés permettent d'établir le lien entre la réalité physique et sa représentation numérique. Ils constituent une pièce essentielle de la numérisation de la société, car ils ouvrent la possibilité de contribuer à régler les problèmes de fonctionnement des systèmes complexes.

Il y a certes beaucoup de promesses sans lendemain dans cette marche en avant désordonnée, mais féconde. Ainsi, le pari de la voiture autonome est encore loin d'être gagné ! Mais les progrès enregistrés dans la compréhension du vivant, du climat, des systèmes de production industrielle rendent optimiste sur la capacité à comprendre notre environnement physique et social, et à agir dans une nouvelle culture de la frugalité et de l'efficacité.