



Perspectives *Edge Computing* et **Post-Cloud**

Opportunités et mises en œuvre

2020/ Déc.

DÉCEMBRE 2020



Perspectives Edge Computing et Post-Cloud

Opportunités et mises en œuvre

 **Droit de propriété intellectuelle**

Toutes les publications du Cigref sont mises gratuitement à la disposition du plus grand nombre mais restent protégées par les lois en vigueur sur la propriété intellectuelle.

Synthèse

Aujourd'hui, Les grandes entreprises et administrations publiques se transforment afin de valoriser les données d'origines diverses – capteurs, machines/systèmes complexes, experts humains, environnement, etc. – collectées au sein de l'écosystème constitué par leurs fournisseurs, clients, vendeurs et partenaires. Pour l'instant, ces données générées par les entreprises sont traitées essentiellement dans le cloud. Cependant leur croissance exponentielle remet en question le choix de l'endroit où les stocker et les traiter. En effet, le cloud présente plusieurs limites : physiques (latence, bande passante, etc.), juridiques (propriété des données et responsabilité) et économiques (coûts de transfert, stockage, coût de traitement). D'où l'émergence de l'*edge computing* qui se développe pour répondre à ces enjeux. L'*edge computing* permet en effet de traiter les données au plus près de leur source, soit directement par l'objet lui-même qui produit et capte la donnée (la voiture, le téléphone, etc.), soit à sa proximité dans de petits *datacenters* locaux, en d'autres termes à la périphérie du réseau. L'*edge computing* offre des possibilités complémentaires au cloud *computing* même s'il n'est pas toujours lié à celui-ci. En effet certaines solutions *edge computing* sont complètement indépendantes du cloud. Dans l'ère « post-cloud », les offres cloud et leur utilisation ne vont pas décliner, bien au contraire ! Mais dans cette ère, les données stockées et traitées au plus près de leur source croîtront de façon encore plus rapide. Et même si le cloud reste le cœur du réseau, on sait déjà que toutes les données n'y transiteront pas.

L'*edge computing* est une architecture offrant, à la périphérie, une **capacité de stockage** et de **traitement avec des fonctionnalités analytiques**, de **l'intelligence décentralisée** et de **l'automatisation**. Cette architecture permet de prendre en compte les enjeux de sensibilité des données, de gestion des menaces cyber, de gestion en temps réel pour de très faibles latences et de gestion locale des données et de répondre à des problématiques de bande passante ou de connexion réseau, de résilience et de gestion locale de décision. Cependant, les projets d'*edge computing* devront relever plusieurs défis pour extraire de la valeur des différentes données, croisées ou non entre elles : récupérer les données, les gérer de manière interopérable, assurer la connectivité réseau, assurer une sécurité optimale, se déployer à grande échelle, gérer les systèmes complexes et diminuer l'empreinte carbone du numérique.

Afin de déterminer si le type d'architecture à privilégier pour un service ou cas d'usage est bien celui de l'*edge computing*, les participants du groupe de travail Cigref « Perspectives post cloud et *edge computing* » ont listé les critères suivants à analyser :

- valeur d'usage des données en local versus dans le cloud ;
- temps de latence requis ;

- bande passante requise pour assurer la connectivité ;
- coûts de transfert ;
- capacité de calcul et de traitement ;
- contraintes de sécurité ;
- sensibilité des données ;
- résilience ;
- bilan carbone / empreinte carbone.

Ensuite, les participants ont préconisé plusieurs étapes pour tirer toute la valeur de la mise en œuvre du projet *edge computing* tant au plan technique, qu'économique et humain. Il s'agit notamment de :

- rechercher et identifier le service ou la valeur ajoutée apportée par le produit ;
- bâtir des *business cases* robustes;
- déterminer les compétences clés pour tirer la valeur ;
- soutenir le changement lié aux projets *edge*, en gérant leurs impacts sur l'organisation et les collaborateurs, par la mise en place d'une solide gouvernance. L'importance de la disponibilité et de la qualité des données exigeant que l'ensemble des équipes aient une culture «techno et donnée».

Ce rapport, synthèse du groupe de travail Cigref « Perspectives post cloud et *edge computing* » s'adresse à l'ensemble des collaborateurs qui souhaitent mieux appréhender ce sujet afin de pouvoir identifier d'éventuelles mises en œuvre de l'*edge computing* au niveau des processus, des services ou des offres clients.

Remerciements

Nos remerciements vont à **Emmanuel GAUDIN**, CIO du groupe Lagardère, qui a piloté cette réflexion, avec le support de l'expert technique Kim Nguyen, architecte d'entreprise chez Enedis, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont participé et contribué à ce groupe de travail Cigref :

Patrick ANFOSSI – PLASTIC OMNIUM	Gabriel CHENEVOY – SNCF
Dominique GUIFFARD – GROUPE SAVENCIA	Thierry MOUSSEAU – DASSAULT AVIATION
Jean - Henri ANTUNES – SNCF	Clément CHEVALLIER – ENGIE
Cédric JUBLOT – EIFFAGE	Kim NGUYEN – ENEDIS
Ludovic AUGÉARD – GROUPE EGIS	Claudio CIMELLI – MIN. DE L'ÉDUCATION NATIONALE
Ndiata KALONJI – ORANGE	Nicolas PERRIN – BANQUE DE FRANCE
Abdallah BAKKOURY – AXA	Tanguy DEFLANDRE – BANQUE DE FRANCE
Pierre KOCHANSKI – MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE	Christian RÉGNIER – AIR FRANCE-KLM
Christophe BÂLÉ – ORANGE	Stéphanie DELAUNAY – ENEDIS
Jasmine KWEKEM – ORANGE	Catherine ROUABAH – MAIF
Christophe BANDINI – ESSILOR	Marc DEMERLÉ – ENGIE
Nicolas LAUTIER – MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE	Marc-Michel STACK – BNP PARIBAS
Eric BARNIER – GROUPE ADP	Rémi DROUIN – VINCI
Vincent MAGNIER – DASSAULT AVIATION	Jean-François STRICHER – ENEDIS
Stéphane BELLE – DPD GROUP	Erick DUBAU – GROUPE 3M
Lionel MAUGEY – ARKEMA	Isabelle THOUZERY – Banque de France
Bertrand BONNEMAINS – MINISTÈRE DES ARMÉES	Emmanuel GAUDIN – LAGARDÈRE
Stéphane MAÏS – MINISTÈRE DES ARMÉES	Christophe VERCELLONE – MIN. DE L'INTÉRIEUR
Thierry BORGEL – ICADE	Lionel GOUZY – POLE EMPLOI
Thierry MOINEAU – BNP PARIBAS	Romuald VERVEL – CNAF
Jean-Philippe CAILLAT – GROUPE 3M	Frédéric GRAFFAGNINO – PLASTIC OMNIUM
Thierry MORCQ – AIR FRANCE-KLM	Dominique VO – ORANGE

Nous remercions également tous les intervenants qui ont apporté de la matière à notre réflexion :

Sébastien VERGER – DELL TECHNOLOGIES FRANCE	Eric TIRLEMONT – SIA PARTNER
Stéphanie DELAUNAY – ENEDIS	Olivier RIOU – SIEMENS
Jean-Philippe CAILLAT – GROUPE 3M	Benoît SIMONET – SIEMENS
Thierry MOUSSEAU – DASSAULT AVIATION	Emmanuel LE ROUX – ATOS
Christian RÉGNIER – AIR FRANCE-KLM	

Ce document a été rédigé par Marine de Sury, Directrice de mission au Cigref, avec la contribution d'Emmanuel Gaudin.

Table des matières

Introduction	8
1. Cas d'usage de l'edge computing	10
1.1. Gestion de la sensibilité des données & protection contre des menaces cyber.....	11
1.2. Gestion en temps réel : problématique de latence.....	11
1.3. Gestion locale des données : problématique de bande passante ou de connexion au réseau	12
1.4. Gestion locale de l'analyse et de la décision	14
2. Défis de l'edge computing	16
2.1. Interopérabilité.....	16
2.2. Passage à l'échelle – Industrialisation	18
2.3. Maintenance et Sécurité	19
2.4. Gestion des systèmes complexes	20
2.5. Sobriété numérique.....	20
3. Différents acteurs du marché edge computing	22
3.1. Solutions hardware proposées par les fournisseurs	22
3.2. Fournisseurs de plateforme	22
4. Edge computing : recommandations sur la mise en œuvre	24
4.1. Critères de décision de mise en œuvre d'un projet edge	24
4.2. Étapes clés à considérer	25
4.3. Accompagnement de l'organisation et gestion du changement	26
5. Conclusion	27

Table des figures

Figure 1: <i>edge computing</i> versus cloud computing - source Cigref	7
Figure 2: réponses de <i>l'edge computing</i> aux enjeux du cloud computing- source Cigref.....	10

Contexte & définitions

Pour devenir plus agiles et innovantes, les grandes entreprises et administrations publiques font évoluer leur Système d'Information (SI) en ouvrant leur architecture d'entreprise à leurs équipes en interne et à leur écosystème (fournisseurs, clients, vendeurs, partenaires, etc.). Elles ont commencé cette ouverture depuis plusieurs années déjà, en utilisant les différents services du cloud *computing*. Le **cloud computing** consiste à utiliser des serveurs informatiques dispersés au sein d'un réseau pour stocker de manière distribuée des données ou les exploiter. Le cloud *computing* offre l'industrialisation et la massification du système d'information et permet ainsi de bénéficier d'effets d'échelle et de facturations à l'usage. Dans un avenir prévisible, le cloud et les *datacenters* seront incontournables et continueront à se développer rapidement pour répondre à la demande en matière de services, d'applications ou d'espace de stockage.

La production de données augmente à une vitesse vertigineuse et ce phénomène va s'accélérer d'autant plus que la grande majorité de ces données ne sera bientôt plus créée par des humains, mais par des objets et des machines, en temps réel. Selon Atos, à l'horizon 2025, 30 % des données produites seront des données fournies en temps réel. Nous arrivons donc à une phase de transition concernant l'exploitation des données. Si le *cloud computing* a permis d'organiser le traitement de données de façon centralisée et à distance dans d'immenses *datacenters*, l'*edge computing* offre une architecture de calcul, de stockage et de traitement des données **répartie à la périphérie du réseau**, c'est-à-dire sur les serveurs ou *datacenters* de l'entreprise, ou d'un fournisseur de service, géographiquement proche de leur lieu de production. L'*edge computing* assure donc le traitement des données à proximité des composants, capteurs d'informations qui les génèrent et assure ainsi une diminution du trafic en direction du cloud ou des *datacenters* ainsi qu'une optimisation du temps de traitement des informations. Le développement des technologies 5G, IoT, outils d'IA comme le *Machine Learning* et *Computer vision* dont la *video analytics* accélère l'adoption du *edge computing* en facilitant sa mise en œuvre et son traitement opérationnel.

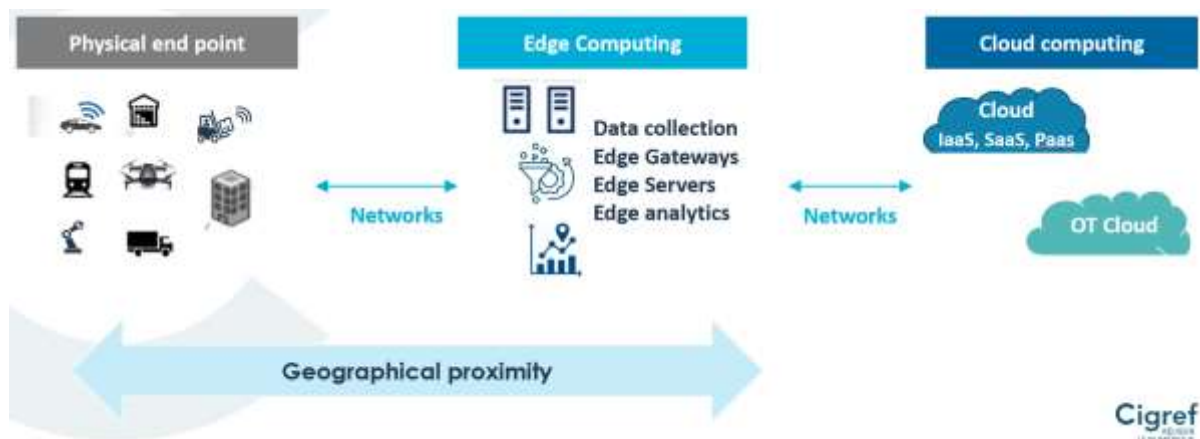


Figure 1: *edge computing* versus cloud computing - source Cigref

On parle également de *fog computing* pour désigner les mini *datacenters* utilisés pour le traitement local des données, l'infrastructure réseau et cyber qui se situe entre l'*edge computing* et le cloud *computing* de manière à optimiser l'utilisation de la bande passante et la vitesse de traitement de l'information de manière sécurisée.

En résumé, même si le cloud continue d'être le cœur du réseau avec ses offres de stockage, de traitements et de services, on sait déjà que toutes les données n'y transiteront pas. Les données qui n'iront pas dans le cloud seront traitées plus près de leur source, soit directement par l'appareil lui-même qui produit et capte la donnée (la voiture, le téléphone, etc.) soit à sa proximité par des antennes relais ou des petits *datacenters* locaux – en d'autres termes à la périphérie du réseau local – c'est sur ce principe que repose l'*edge computing*.

Introduction

Les grandes entreprises et administrations publiques explorent de nouvelles opportunités offertes par le monde numérique face à de multiples formes de disruptions et à l'accélération de la transformation des modèles d'affaires à l'ère digitale. Elles se transforment pour valoriser leurs données, multiplier les partenariats et réinventer les modèles d'affaires comme le soulignaient déjà la fondation Cigref et les groupes de travail dans l'esquisse du *design* de « [l'entreprise 2020 à l'ère du numérique](#) »¹, synthèse publiée en 2015.

Après la **mécanisation**, lors de la première révolution industrielle, **l'électrification**, avec la deuxième révolution industrielle, la **robotique et L'informatique**, lors de la troisième révolution industrielle, nous arrivons à la quatrième révolution industrielle qui offre **l'interopérabilité entre les mondes physiques et le monde numérique** avec le traitement de données (IoT, IA, *Machine Learning*, Big Data, Capteurs, Bot, Visio, etc.). En effet, beaucoup de sites, d'outils, de services, etc. se dotent de capteurs, d'objets ou de systèmes connectés qui sont des matériels numériques même si certains ne sont pas toujours perçus comme tels.

Pour favoriser l'innovation commerciale, la personnalisation des services et l'amélioration des processus, les grandes entreprises et organismes publics cherchent à valoriser les données produites en temps réel ou non, en interne ou au sein de leur écosystème (fournisseurs, clients, vendeurs, partenaires, etc.). Avec ces données, les entreprises s'adaptent aux usages et à l'évolution des comportements, répondent à des attentes nouvelles de leurs clients et se préparent aux défis des marchés de demain. Le traitement de ces données d'origines diverses requiert des caractéristiques spécifiques, notamment au niveau de la latence², de la sécurité, du besoin de les gérer en local. Et le cloud, pourtant base d'infrastructures agiles et support technologique pour ces business, n'y répond pas toujours.

Les médias parlent souvent d'*edge computing* à propos de la voiture connectée ou de l'industrie 4.0 mais le potentiel offert par *l'edge computing* est bien plus vaste. L'architecture *edge computing* réunit plusieurs caractéristiques : **l'information** sur les objets et systèmes connectés, **l'intelligence** avec le *data science management*, **l'automatisation** – analyse, décisions et actions immédiates – et **l'agilité** – flexibilité et adaptabilité des équipes.

Dans ce rapport, synthèse de l'année de travail du groupe Cigref « perspectives *edge computing* et post cloud », une première partie présente différents cas d'usage types de *l'edge computing* avec les bénéfices obtenus. La deuxième partie précise les défis de *l'edge computing*. Enfin, les participants du groupe de travail proposent des recommandations sur son implémentation. Ce rapport s'adresse à

¹ <https://www.cigref.fr/lentreprise-2020-a-lere-numerique-enjeux-et-defis>

² Temps de trajet aller-retour

l'ensemble des collaborateurs qui souhaitent mieux appréhender ce sujet afin de pouvoir identifier d'éventuelles mises en œuvre au niveau des processus, des services ou des offres clients.

1. Cas d'usage de l'edge computing

Il n'est pas imaginable d'envoyer aujourd'hui, et encore moins demain, toutes les données produites par les composants ou systèmes connectés dans le cloud, au vu de la bande passante ou de l'espace de stockage nécessaire, du temps de réponse requis ou encore de la volonté de répondre aux enjeux de sobriété. D'où l'émergence de l'edge computing qui apporte des réponses aux limites du cloud et permet l'exploitation des données générées par les objets ou systèmes connectés à la périphérie du réseau, au plus près de la source des données. Ce chapitre montre différents cas d'usage types pour lesquels l'edge computing commence à s'imposer.

L'edge computing, une réponse à plusieurs enjeux non couverts par le cloud computing

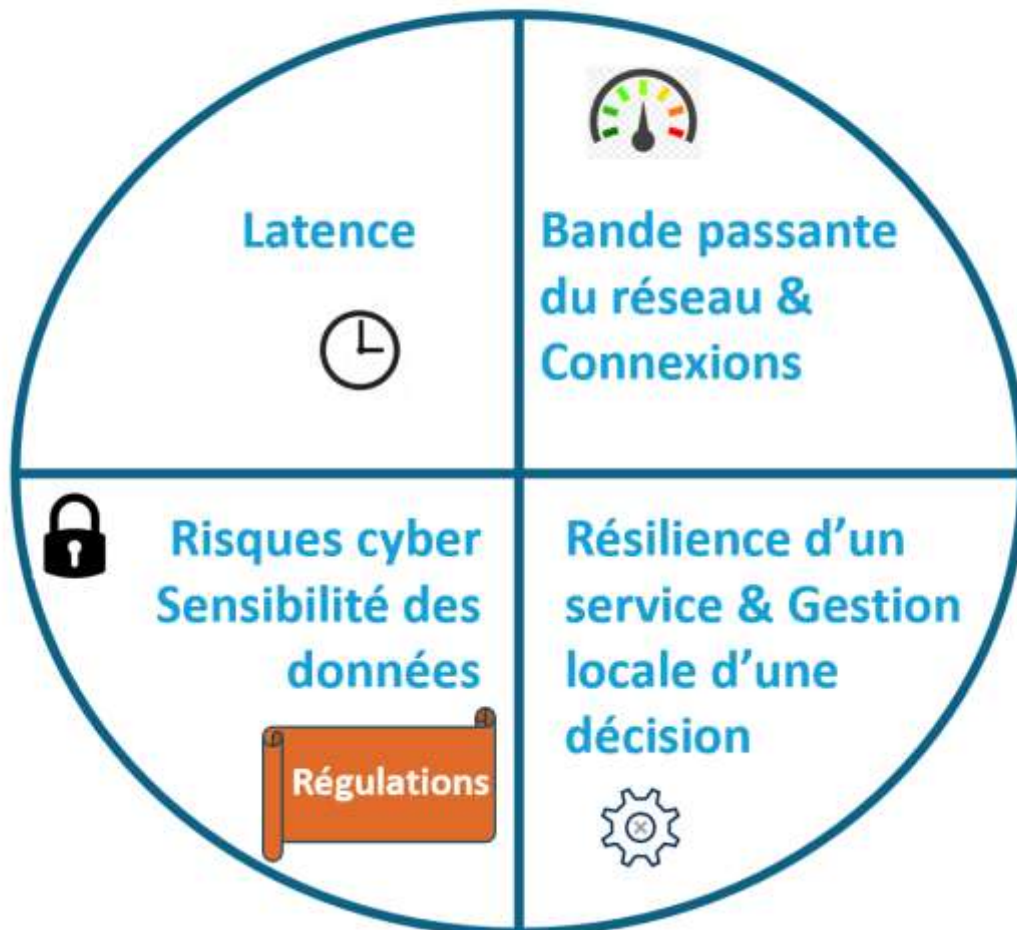


Figure 2: réponses de l'edge computing aux enjeux du cloud computing- source Cigref

1.1. Gestion de la sensibilité des données & protection contre des menaces cyber

L'*edge computing* permet de réduire le trafic des données en les traitant là où elles sont générées. Les données critiques ou sensibles en restant en local, sont sécurisées et/ou ne sont pas soumises aux mêmes réglementations que les données stockées dans le cloud (ex : lois extraterritoriales de type *Cloud Act* américain et *Cybersecurity Law*).

L'*edge computing* répond également à l'enjeu grandissant de maîtrise des données, notamment pour les entreprises européennes. En effet, certaines entreprises ne souhaitent pas que des données sensibles ou à caractère personnel réglementées par le RGPD, puissent sortir de l'entreprise ou d'une entité. Elles font alors le choix d'un traitement ou d'un stockage en interne pour éviter des fuites de données. Pour exemple, le contrôle d'accès sans contact est un exemple de cas d'usage en plein développement qui répond à la réglementation RGPD et dont la demande a été renforcée par la crise de la COVID19. Le contrôle par reconnaissance faciale s'effectue grâce à plusieurs caméras. Les entreprises préfèrent stocker le plus possible sur place ces informations à caractère personnel.

Enfin, l'*edge computing* morcelle le risque d'une défaillance affectant le cloud *computing* de l'entreprise. En évitant leur centralisation, la **sécurité des données et de leurs traitements** se trouve renforcée. Avec une répartition en bordure du réseau, une entreprise exploitant plusieurs sites de production augmente ses chances de garantir, à travers une solution d'*edge computing*, une continuité de service.

1.2. Gestion en temps réel : problématique de latence

Le temps de réponse du cloud se révèle insuffisant pour certaines applications ou services et pose donc la problématique de la latence du cloud. Aux limites physiques s'ajoutent des limites économiques qui se traduisent par des coûts de transfert, de stockage et de traitement trop élevés. L'*edge computing* y remédie en augmentant la capacité à la périphérie avec des fonctionnalités d'analyse, de traitement et d'intelligence décentralisées. En effet, le traitement en périphérie évite la latence et permet la prise de décision en temps réel. Ainsi, le comportement d'une machine ou d'un objet s'adapte dans les temps impartis et les mesures correctives sont prises en temps réel en cas de panne ou de danger. Par exemple, dans une ligne industrielle, l'*edge computing* est utilisé dans la gestion/supervision de certaines machines ou équipements car il offre une capacité de calcul au niveau de la ligne qui assure des réponses en temps réel. La **vitesse de traitement de l'information**, notamment pour des données critiques constitue un des avantages de l'*edge computing*.

Certains services nécessitent également des échanges d'information en temps réel car les décisions qui en découlent ne peuvent être différées. C'est le cas de la voiture connectée qui détecte un obstacle sur la route et doit prendre la bonne décision en temps réel pour éviter un accident.

Un autre exemple concerne les entreprises qui mettent en place une solution de détection d'accident pour des travailleurs isolés avec un traitement sur site pour réduire le temps de latence et assurer ainsi la prise de décision instantanée. Ce choix nécessite d'installer des capacités de calcul et d'analyse de flux vidéo en local et justifie alors une solution *edge computing*.

1.3. Gestion locale des données : problématique de bande passante ou de connexion au réseau

La quantité de données générées pour certains services ou applications augmente parfois de façon spectaculaire avec l'utilisation de nouveaux moyens technologiques disponibles. La solution qui consistait à tout envoyer dans le cloud pour bénéficier des capacités de calcul est alors remise en cause, elle peut s'avérer impossible ou encore trop onéreuse compte tenu de la bande passante du réseau nécessaire. La délocalisation de la puissance de calcul sur site s'impose alors. La gestion en local du traitement et de l'analyse des données nécessite également de remettre sur site des ressources et des compétences qui étaient jusqu'alors centralisées et implique un véritable accompagnement au changement.

Enedis effectue un tri des données produites lors de la supervision des lignes électriques aériennes moyenne tension par des drones, afin de réduire le volume de données remontées dans le SI Central.

Stéphanie Delaunay, Enedis

Dans certains cas, l'autonomie est impérative car la connexion n'est tout simplement pas assurée. C'est le cas par exemple sur les plateformes en haute mer, ou sur les bateaux. Une société de transport maritime a ainsi mis en place des systèmes embarqués sur ses porte-conteneurs pour piloter la consommation du bateau en fuel en fonction des données moteur, de la météo, de la turbine de récupération des gaz d'échappement qui produit de l'électricité, etc.

Chez Dassault Aviation, l'intérêt d'une solution *edge computing* prend tout son sens pour répondre aux besoins de mener des missions prospectives militaires dans des zones géographiques mal ou pas couvertes par les réseaux de communication.

Thierry Mousseaux, Dassault Aviation

De plus en plus d'entreprises se lancent dans l'industrie 4.0 pour automatiser certaines actions comme le contrôle qualité, la maintenance prédictive et mieux mesurer leur efficacité énergétique. L'industrie 4.0 doit répondre à de nombreux enjeux – latence, bande passante des réseaux, réglementation et gestion locale d'une décision – selon une combinaison qui varie en fonction des besoins des cas d'usage. Le partage de données très diverses, dont plusieurs sont traitées en temps réel, permet par

exemple la validation et la certification de jumeaux numériques³ participant à l'amélioration continue des processus, que ce soit au niveau de la conception d'un produit, de sa ligne de production ou de sa performance dans le temps. En effet, un jumeau numérique se met à jour en utilisant de multiples sources pour représenter son statut, sa condition de travail ou sa position en temps quasi réel. Plus précisément, ce système d'apprentissage intègre les données historiques de l'utilisation passée de la machine à son modèle numérique qui apprend de lui-même, en utilisant des données en provenance de tous les éléments suivants :

- des capteurs, qui transmettent divers aspects de son état de fonctionnement ;
- des experts humains, tels que des ingénieurs ayant une connaissance approfondie et pertinente du domaine industriel ;
- d'autres machines similaires ;
- d'autres flottes de machines similaires ;
- de son environnement et de systèmes plus vastes auxquels il appartient.

Pour des raisons stratégiques de confidentialité, ou tout simplement de connexion réseau limitée dans une zone isolée, la modélisation du jumeau numérique se fait localement. Cela permet aussi de limiter l'engorgement des réseaux, d'assurer la sécurité de l'information ou encore de limiter l'empreinte carbone. C'est le cas pour les usines ou entrepôts implantés dans des zones où la connexion n'offre pas encore la qualité requise. Traiter en local avec une puissance de calcul et une capacité de stockage répond alors à ces enjeux.

Lors de la production de films tissés, il peut se produire des ruptures ou des déchirures qui entraînent un arrêt de la machine pendant plusieurs heures afin de nettoyer puis de redémarrer. D'où la volonté de chercher à les anticiper à travers une modélisation. Le projet de prototypage consiste à enquêter sur la capacité de l'apprentissage machine à prévoir le moment où une rupture devrait se produire en fonction de différents paramètres. Cela permet à l'opérateur d'agir sur certains paramètres afin d'éviter l'incident et/ou de planifier la maintenance.

Dans le prototype, la donnée est récupérée sur le cloud AWS où elle est traitée notamment avec du *Machine Learning* avant une installation en production sur des infrastructures *edge* très probablement.

³ Un jumeau numérique (en anglais, *digital twin*) est une réplique numérique c'est-à-dire un modèle logiciel dynamique d'un objet, d'un processus ou d'un système qui peut être utilisé à diverses fins. Les jumeaux numériques participent à l'amélioration continue des processus au niveau de la conception du produit, de sa ligne de production mais aussi de sa performance dans le temps car cette représentation numérique est conçue pour suivre en temps réel les transformations de l'objet ou du process spécifique auquel il est attaché, de sa conception jusqu'à sa destruction. Les jumeaux numériques fonctionnent via la collecte d'une combinaison de données. Ils intègrent l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique et l'analyse des données pour créer des modèles de simulation numérique qui se mettent à jour et changent à mesure que leurs contreparties physiques changent.

Si cette technologie s'avère efficace, les possibilités de réplication au sein du groupe (au niveau global, européen, usine) sont importantes.

Les objectifs business sont doubles : évaluer les gains obtenus avec ce prototype (diminution des temps d'arrêt non prévus, réductions des déchets) et voir comment la solution peut être utilisée à l'échelle de l'usine et/ou de l'entreprise.

- Évaluer la nécessité d'une seule infrastructure pour toute l'entreprise ou pour un site ou alors pour une ligne de production.
- Identifier les gains d'échelle au niveau software et/ou hardware.

Partage d'une entreprise industrielle

1.4. Gestion locale de l'analyse et de la décision

Certaines machines industrielles produisent en flux continu. Tout arrêt génère de lourdes pertes financières et la remise en route des machines peut être très longue. Dans ce cas, gérer et prendre les décisions en local s'impose pour anticiper et éviter au maximum les arrêts. Dans d'autres cas, l'entreprise cherche avant tout à limiter les risques de défaillance ou de coupure de son réseau. C'est le cas pour des entreprises qui mettent en place des solutions de supervision et d'analyse assurant la sécurité des équipes en local avec le traitement et les décisions gérés sur site. Reprenons l'exemple présenté plus haut de l'entreprise qui assure la sécurité de ses techniciens isolés, en toute autonomie sur site, à partir d'un seul flux vidéo analysé en local par plusieurs algorithmes et tournant en parallèle (plusieurs traitements d'une vidéo) ; cette analyse de données vidéo doit être opérationnelle 24h sur 24 et ne doit en aucun cas être remise en cause par un problème de bande passante du réseau. Dans ce cas précis, cela a justifié le choix d'une solution *edge computing*. Et ce choix n'a pas empêché pour autant la transmission au cloud *computing* du jeu de données nécessaire à l'amélioration continue des algorithmes en mode asynchrone.

D'autres cas d'usage répondent à l'impératif de la gestion sur site de la décision. Par exemple le cas d'un capteur vérifiant la qualité d'un produit fabriqué en atelier d'usine ou encore celui du lampadaire intelligent doté de capteurs audio. L'objectif peut être de détecter un coup de feu ou un accident de voiture. Dans 99 % des cas, les données transmises par les capteurs n'ont pas de valeur. C'est la décision rapide qui en découle qui est importante. Lorsqu'un accident se produit, qu'un coup de feu retentit ou qu'une pièce d'usine présente un défaut, le système doit instantanément alerter la police ou arrêter la chaîne de production. Il est nécessaire de prendre les décisions là où est le capteur, à la périphérie, en une fraction de seconde. Mettre une capacité de calcul et de stockage à proximité des capteurs permet de réagir rapidement.

L'*edge computing* sera probablement une réponse « améliorée » pour les interventions de type AOG (Aircraft On Ground) de nos Opérateurs et Stations-Services auprès de nos avions civils Falcon : les données, les capacités de traitement sont alors au service du support au pied de l'avion.

Thierry Mousseaux, Dassault Aviation

2. Défis de l'*edge computing*

L'*edge computing* s'impose d'une part pour répondre aux limites du cloud, qu'elles soient physiques (latence, bande passante), juridiques (propriété des données et responsabilité) ou économiques (coûts de transfert, stockage, coût de traitement) mises en avant dans les cas d'usage. Mais il s'impose également car il apporte de la valeur que ce soit au niveau du *business*, du processus, du système ou de l'architecture.

Les projets *edge computing* doivent relever plusieurs défis pour tirer de la valeur des différentes données, croisées ou non entre elles, qui sont :

- récupérer des données très hétéroclites ;
- gérer les données de manière interopérable ;
- assurer la connectivité réseau ;
- assurer la sécurité globalement ;
- passer à grande échelle ;
- gérer les systèmes complexes ;
- diminuer l'empreinte carbone du numérique.

2.1. Interopérabilité

L'architecture des entreprises est hétérogène suite aux fusions/acquisitions, à l'utilisation de solutions cloud IaaS, PaaS, SaaS, etc. provenant de fournisseurs souvent différents auxquelles s'ajoutent maintenant, des solutions *edge computing*. Les produits et solutions utilisés en interne sont parfois disparates et pour certains bientôt obsolètes. Chez tous les industriels, les parcs d'outils et équipements sont très variés avec des machines anciennes mais toujours opérationnelles. Il est donc important de pouvoir continuer à exploiter ces données et les rendre intégrables (par exemple pour les jumeaux numériques). Ensuite, les capteurs, objets et systèmes connectés utilisent un nombre important de dispositifs pour communiquer avec les humains ou entre eux – Wifi, LoRa, Sigfox, 2, 3, 4G et bientôt 5G, etc. Cela crée un grand marché pour les fabricants de ces dispositifs. La multitude des bases de données nécessite de développer des passerelles pour agréger des modèles de données souvent disparates, avec des standards incohérents et qui se multiplient. Pour gérer et tirer de la valeur des différentes données, il faut tout d'abord les générer, les récupérer sous les formats disponibles, les traiter et parfois les croiser. Beaucoup d'équipements n'ont jamais été conçus pour la connectivité à l'internet. L'interopérabilité avec les appareils connectés utilisant différents protocoles de communication constitue un défi d'ordre technique de taille. L'existence d'une norme et de protocoles largement utilisés et connus supprimerait les barrières technologiques et linguistiques, ce qui augmenterait l'interopérabilité entre les appareils.

Aujourd'hui, les entreprises architectent leurs SI pour qu'ils évoluent rapidement sous l'influence de la concurrence, d'innovations technologiques ou de situations de crise demandant une amélioration des outils informatiques en continu. Elles adaptent donc l'architecture de leur SI de façon à répondre aux besoins de projets comme l'*edge computing* en termes d'exigences techniques, de sécurité ainsi que de disponibilité, de collecte et traitement de données. Plusieurs choisissent de **bâtir une organisation plus souple en structurant le SI sous forme de plateforme de services** pour pouvoir faire évoluer rapidement les outils et les technologies de production. L'intégration au SI doit être envisagée en respect des standards et bonnes pratiques habituels : désactivation des accès, cryptage, alertes sur intrusion, contrôle des versions logicielles, mises à jour, maintenance, ... et doit s'adapter aux contraintes d'architecture en configuration hybride ou/et multi-cloud imposés par le portefeuille d'applications, de services et des *datalakes* de l'entreprise.

La plupart des grandes entreprises orchestrent et gèrent des **architectures multi-cloud hybrides** (cloud privés et publics) pour répondre à l'agilité du *business*, aux différents cas d'usages et à la sécurité des données critiques. Ces différentes plateformes de services doivent être gérées en mode hybride IT, c'est-à-dire que la DSI va jouer un rôle de *broker* et d'intégrateur de services à travers l'IT traditionnelle virtualisée ou non (sur site et hors site). En plus des cloud privés et cloud publics, ces plateformes intègrent maintenant l'*edge computing*. Ces architectures hybrides impliquent l'intégration de silos technologiques à quatre niveaux différents :

- infrastructure hybride ;
- orchestration (Cloud hybride) ;
- applications / données hybrides ;
- gestion du SI hybride avec une vue unifiée.

La mise en œuvre des **architectures hybrides** et **interopérables** passe par des étapes de maturité, ce qui implique des **impacts sur les structures organisationnelles**, les **modèles de coûts**, les **outils**, les **processus de gouvernance** et les **compétences requises**. Pour gérer ces architectures hybrides multi-cloud, il faut mettre en place une démarche structurée :

- **Mettre en œuvre un *Framework* de placement des charges de travail** (applications et données) au bon endroit (privé, public ou hybride) basé sur des critères métier, technique, sécurité, résilience, performance/latence.
- **Se concentrer sur les intégrations spécifiques** entre les environnements plutôt que de tenter d'intégrer tous les environnements à tous les niveaux.
- **Créer un parcours client** à travers les architectures hybrides d'infrastructure, d'orchestration, d'application / données et de management.

- **Transformer l'organisation maintenant et investir dans les compétences et les technologies** nécessaires pour intégrer les architectures multi-cloud hybrides en incluant l'*edge computing*.

Dans le cadre de sa transformation numérique et du développement rapide de nouveaux produits et services innovants, le groupe Orange a lancé un programme de transformation « **Cloud Native⁴ & Data Driven** ». L'enjeu du développement d'applications cloud-native est de développer et d'exécuter des applications scalables, évolutives, interopérables, portables (éviter le risque de *vendor lock-in* avec les fournisseurs de Cloud) et résilientes dans toute architecture, que ce soit un cloud public, privé, *edge* ou multi-cloud hybride. Les plateformes Cloud Native de type *Container as a Service*, *Platform as a Service* ou *Serveless* permettent de déployer des applications Cloud Natives. Pour répondre aux enjeux d'interopérabilité et de portage des applications / données dans un environnement multi-cloud hybride, il faut utiliser les solutions de *Container as a Service* basées sur l'orchestrateur Kubernetes et les conteneurs Docker⁵ pour déployer ses applications Cloud Native. Le *Cloud Native* permet d'être indépendant des fournisseurs d'infrastructure, qu'elle soit physique / virtuelle ou cloud, et doit être **ouvert** en se basant sur les technologies **open source**.

Dans le cadre de l'*edge computing*, les applications doivent être aussi *Cloud Native* et basées sur des architectures microservices (*edge application*, modèles IA, services IA, *Edge Analytic*, *Edge Data*). Les microservices sont conteneurisés et orchestrés sur toute la chaîne de valeur de l'*edge computing* (*edge devices*, *edge server/gateway*, *edge network/micro datacenter/* multi-cloud hybride). Pour répondre aux enjeux d'agilité, d'automatisation, de standardisation, de résilience, d'interopérabilité en architecture multi-cloud hybride, les entreprises doivent adopter cette stratégie Cloud Native autour des technologies de Kubernetes et Docker pour orchestrer et gérer les microservices conteneurisés quelle que soit l'architecture, Cloud Privé, Cloud Public, Edge, Telco Cloud ou multi-cloud hybride.

Dominique Vo, Orange

2.2. Passage à l'échelle – Industrialisation

S'il est facile de mettre en œuvre un POC (*Proof of Concept*) ou MVP (*Minimum Viable Product*) pour une solution *edge computing*, son passage à l'échelle représente tout autre chose sur le plan de la gestion technique et opérationnelle ainsi que de la sécurité. Le passage à l'échelle nécessite en effet d'avoir la capacité de gérer des volumes de données massifs et de définir à quel niveau - *edge/cloud* -

⁴ Cloud Native : les technologies Cloud Native permettent aux entreprises de construire et d'exploiter des applications élastiques dans des environnements modernes et dynamiques comme des cloud publics, privés ou bien hybrides. Les conteneurs, les services maillés (services mesh), les microservices, les infrastructures immuables et les API déclaratives illustrent cette approche. Source CNCF (*Cloud Native Computing Foundation*).

⁵ La stratégie Cloud Native autour des technologies d'orchestration Kubernetes et de conteneur Docker (devenues des standards du marché et largement adoptées par les industriels et entreprises) est supportée par la CNCF.

les données seront analysées. Cela dépend de plusieurs critères : capacités de stockage et de traitement, temps de latence, bande passante, connectivité, contraintes de sécurité, etc. listés plus loin dans ce rapport.

Ensuite, il faut garantir la sécurité de la chaîne de transmission de données ainsi que leur anonymisation. C'est le rôle indispensable de la gouvernance. Pour exemple, le CROUS de Rennes avait mis en place un système de surveillance pour étudier le taux d'usure de son mobilier qui était anormalement élevé. Le projet était prêt à commencer lorsque le CROUS s'est rendu compte qu'il n'avait pas mis dans la boucle les étudiants, pourtant directement concernés. Le projet n'a jamais abouti faute d'avoir mis en place la gouvernance en parallèle. Il est en effet indispensable, pour réussir le passage à l'échelle, d'avoir identifié et aligné toutes les parties prenantes – dirigeants, responsables informatiques, principaux intéressés, etc... La gouvernance détermine à qui appartient la donnée, le lieu où elle est stockée, qui la pilote, qui l'exploite.

Enfin, un autre défi est de pouvoir établir des indicateurs de réussite et de les suivre, une fois l'étude de la rentabilité établie.

2.3. Maintenance et Sécurité

La maintenance du système est un point important à anticiper au regard de la multiplication rapide des éléments du système : les capteurs, les objets connectés même s'ils sont à distance nécessitent de la maintenance. L'alimentation est également un point important. Un objet connecté requiert une alimentation dédiée, contrairement à un capteur qui a une consommation très faible et peut donc intégrer une batterie. L'exemple du smartphone l'illustre. Cet objet connecté présente une autonomie plutôt faible et qui dépend de son utilisation. Les solutions *edge computing* doivent pouvoir être alimentées selon leur besoin et maintenues avec des mises à jour assurées via le cloud.

Concernant la sécurité, les environnements IoT sont par défaut permissifs puisque l'information portée par le capteur n'est en général pas cruciale. Ce n'est pas forcément le cas pour l'objet connecté si c'est une caméra par exemple et encore moins pour les systèmes connectés. Quoi qu'il en soit, les éléments constituant l'*edge computing* – dont les capteurs, même grand public, les « *devices* », les caméras, compteurs, etc. – ne doivent pas constituer des failles pour le système d'information et doivent donc être sécurisés. L'*edge computing* doit amener une couche de sécurité, d'isolation entre le monde connecté unitaire et l'exploitation des données.

La notion d'attaque est aujourd'hui polymorphique. Il est important d'étudier comment sécuriser le système et le rendre résilient. En effet, les avantages tirés de la mise en œuvre de projets *edge computing* disparaissent le plus souvent si la solution n'est pas sécurisée. Le risque n'en vaut pas la peine. Cependant, il est difficile de gérer et de sécuriser les projets *edge computing* au regard de la

multitude des solutions, des types de capteurs ou objets connectés, des interfaces existantes, des différents réseaux utilisés.

Les axes cyber et maintenance ne doivent pas être sous évalués et doivent être étudiés dès la conception car les données issues de ces systèmes connectés constituent un actif à sécuriser.

2.4. Gestion des systèmes complexes

L'*edge computing* implique d'accéder aux données – lors de leur génération, de leur capture et du traitement d'analyse – avec des formats parfois très différents. En outre, la plupart des données seront de plus en plus générées en dehors des *datacenters* et donc éparpillées ce qui complexifiera d'autant leur gestion.

Le besoin de croiser les données entre elles en ne prenant en compte que celles qui sont pertinentes, et d'effectuer des traitements analytiques implique la présence d'IA à la périphérie. La complexité du management de ces « *devices* » nécessite de les traiter de façon industrielle. C'est pourquoi, il est vivement conseillé d'**inclure le passage à l'échelle / l'approche industrielle en amont du projet, c'est-à-dire au moment du *design* et de la conception du projet**, et ce, sans oublier de définir précisément l'organisation et la gouvernance.

Malgré ces impératifs contraignants, les entreprises attendent un traitement et une analyse des données en quasi temps réel avec un coût qui doit rester abordable tout en maintenant le niveau de sécurité. L'endroit où est générée la donnée doit être sécurisé ainsi que son analyse. Et cela, malgré l'explosion attendue du nombre d'objets et d'appareils connectés ces prochaines années.

Les objets connectés sont voués à devenir de plus en plus complexes et pourtant la décision doit continuer à être rapide, locale et sécurisée. La 5G déployée prochainement ouvrira de nouvelles possibilités en termes de connexion, qualité de service, débit, etc.

2.5. Sobriété numérique

Les entreprises et organisations publiques sont conscientes de l'impact croissant du numérique sur l'émission de gaz à effet de serre, entre autres. Elles cherchent à contribuer à l'agenda « bas carbone » au-delà de leur contribution à la RSE (Responsabilité Sociale de l'Entreprise).

L'*edge computing* en répondant aux enjeux de latence, de bande passante, de connexion réseaux, de gestion locale, constitue un levier pour réduire l'empreinte environnementale du numérique. Cependant si l'*edge computing* promet de réduire les besoins en bande passante du réseau et le trafic des données, il pourrait en parallèle entraîner une multiplication des points de calcul et de stockage et donc une moindre optimisation des *datacenters*.

Les prérequis à la mise en place d'une démarche de sobriété numérique, et les leviers que les entreprises peuvent actionner sont identifiés et étudiés au sein du groupe de travail Cigref qui vient de publier le rapport Cigref « Sobriété numérique, une démarche d'entreprise responsable », synthèse de son année de travail.

3. Différents acteurs du marché *edge computing*

3.1. Solutions hardware proposées par les fournisseurs

Plusieurs briques *hardware* sont proposées dans les architectures *edge computing* : la brique qui assure des capacités de calcul, d'intelligence et de stockage est souvent appelée *Gateway* : tous les acteurs historiques s'y sont positionnés. D'autres acteurs spécialisés proposent des composants, comme par exemple Atos qui développe ses propres cartes mères en utilisant ses experts HPC (*High Performance Computer*, en français calcul haute performance). Des cas d'usage ont lieu parfois dans un milieu « hostile » et nécessitent des solutions hardware renforcées. C'est le cas de *gateways* installées dans des zones dont la température varie entre -5°C et +45°C dans lesquelles il n'y a pas de ventilateur malgré la présence de GPU. Le matériel utilisé représente alors un facteur de différenciation important notamment au niveau des capacités de calcul et de traitement. Les fournisseurs de matériel répondent à ce besoin particulier de développement sur le hardware en fabriquant certains composants spécifiques.

L'information filtrée au niveau de l'objet connecté est poussée vers un deuxième niveau d'*edge gateway*, passerelle *edge*, qui possède une capacité de stockage, de concentration et d'analyse supérieure à celle du premier niveau tout en étant proche de la source de la donnée. La proximité avec l'objet et/ou système connecté supprime la problématique de latence. Elle assure une analyse utilisant une intelligence artificielle ainsi que le traitement des données en temps réel. Ce niveau intermédiaire pousse ensuite tout ou partie de l'information vers le cloud si nécessaire. Ces calculs à la périphérie réduisent donc les coûts de transfert des données puisque ne sont transférées dans le cloud que les données nettoyées qui apportent de la valeur. Ils impliquent cependant l'appui des architectes d'entreprise pour l'intégration de l'infrastructure *edge computing* dans les SI.

3.2. Fournisseurs de plateforme

Certaines plateformes permettent aux différents Métiers d'échanger et de partager les données, pour optimiser le pilotage et les performances de la production dans un contexte d'objets connectés, à l'instar de *Mindsphere* de Siemens. Ce partage des données permet la validation et la certification de jumeaux numériques qui participent à l'amélioration continue des processus. Les opérations sont basées sur le retour d'information via des capteurs et évoluent en fonction des changements des caractéristiques de fonctionnement de l'entité gérée. L'industrie 4.0 est concernée en premier lieu mais également d'autres secteurs. Par exemple, le Maire de Séoul a confirmé lors du CES⁶ 2019, l'intérêt d'un jumeau numérique de sa ville, pour simuler la conséquence d'un choix politique ou

⁶ *Consumer Electronics Show* : salon consacré à l'innovation technologique qui se tient à Las Vegas en janvier.

organisationnel. Les entreprises cherchent à s'appuyer sur des plateformes assurant la collecte, la compilation et l'analyse de données de façon industrielle. *Mindsphere* est comme un cloud industriel mondial sur lequel chaque acteur au sein d'un même écosystème a la possibilité de bâtir des boucles d'automatisation, de gérer les boucles de pilotage, de faire de la gestion préventive ou toute autre application métier. La recherche de performance peut être menée grâce au partage d'applications métiers au sein de l'écosystème concerné : entreprise, fournisseurs, support client, ..., au niveau de la supervision, de la visualisation, ou autre sur lesquelles on branche des traitements analytiques. L'objectif est d'optimiser le ROI avec le moindre investissement. Avec ce type de plateforme, les applications même si elles sont développées localement peuvent être déployées à l'échelle mondiale.

Le développement d'applications analytiques de big data nécessite en général l'implication et l'interaction entre plusieurs équipes dont certaines ne sont pas forcément familières avec l'informatique. Les équipes parties prenantes souhaitent développer ces applications en mode agile et éviter les développements spécifiques chronophages et souvent beaucoup plus chers. C'est pourquoi des plateformes *Low-Code* se développent actuellement car elles répondent à ces demandes. L'interface utilisateur est stratégique dans ce type de plateformes pour pouvoir accueillir les différents métiers concernés. La plateforme reçoit les flux de la ligne de produit, des ERP, CRM ou tout autre actif de l'entreprises via des connecteurs, des webservices, etc., et les interfaces applicatives sont adaptées en fonction des utilisateurs à qui elles s'adressent.

4. *Edge computing* : recommandations sur la mise en œuvre

4.1. Critères de décision de mise en œuvre d'un projet *edge*

Au cours des sessions de travail, les participants du GT Cigref ont pu répertorier les différents critères qui permettent de s'orienter vers une architecture englobant des capacités d'*edge computing* :

- **Valeur d'usage des données selon qu'elles sont en local ou dans le cloud.** Au regard de la quantité de données produites, il est important de déterminer l'endroit où il est pertinent de les traiter. En effet, beaucoup de données ne sont importantes qu'au moment où elles sont créées et perdent de leur intérêt peu après. Cependant, utiliser l'information en temps réel n'empêche pas d'envoyer tout ou partie dans le cloud si nécessaire pour augmenter la performance du système.
- **Temps de latence accepté.** Le cas d'usage de la voiture connectée comme bien d'autres nécessite typiquement une prise de décision instantanée et donc n'accepte pas la latence liée au transport de l'information. La 5G, une fois déployée, sera susceptible de modifier la donne dans les zones couvertes par cette technologie.
- **Bande passante requise pour la connectivité.** La maintenance par vidéo ou système d'objets connectés génère parfois une quantité de données trop importante pour la transférer dans le cloud sans qu'elle occupe toute la bande passante pendant un temps inacceptable. Les réseaux ne sont pas forcément dimensionnés pour absorber de tels envois quotidiennement. Le projet *edge* représente une solution dans ce type de cas.
- **Coûts de transfert.** Si nous reprenons l'exemple précédent, le coût de transfert dans le cloud peut également devenir prohibitif pour des données trop volumineuses.
- **Capacité de calcul et de traitement.** L'intelligence à positionner près des capteurs dépend du temps de réaction nécessaire au bon fonctionnement du cas d'usage et de la masse de données à analyser. ***L'edge computing offre une capacité de traitement avec de l'IA et permet donc du prédictif au service des actions locales.*** Lorsque le choix de l'*edge computing* est fait, l'algorithme du traitement en local peut également être entraîné, mis à jour en central et bénéficier des volumes indispensables à du Machine Learning si les systèmes sont standardisés. Cependant le dimensionnement matériel et logiciel nécessaire pour traiter les données peut s'avérer trop lourd et trop cher pour l'assurer en local.
- **Contraintes de sécurité.** La décentralisation offerte par l'*edge computing* peut être une solution intéressante pour limiter les risques. Le traitement des données en local évite également toutes les pertes de connexion.

- **Sensibilité des données.** Le stockage et traitement en local est une façon de répondre aux réglementations de type RGPD.
- **Résilience.** Une mauvaise connexion réseau peut avoir des conséquences inacceptables. Dans certains cas, il n'y a tout simplement pas le choix faute de connexion comme sur les bateaux ou sur une plateforme isolée ou en mer. Cela vaut pour tous les cas d'usage requérant de l'autonomie.
- **Bilan carbone / empreinte carbone.** Les entreprises sont soucieuses de limiter au maximum leur empreinte écologique et incluent ce paramètre dans leur étude de cas d'usage.

4.2. Étapes clés à considérer

De l'avis de Sia Partner, il est essentiel **d'identifier avant tout le service ou la valeur ajoutée apportée par le produit**. Il peut s'agir par exemple d'offrir un service d'accès à une bibliothèque, d'un service pour agréger des données, etc. Ensuite, il faut être capable de capturer des données sur l'ensemble de la chaîne, d'où l'importance de la penser en amont pour positionner les serveurs *edge* aux bons endroits et les dimensionner en conséquence. Cela est d'autant plus vrai que les données deviennent de plus en plus volumineuses.

Ensuite, il faut **bâtir des *business cases* robustes** avec pour objectif d'identifier les investissements nécessaires, l'OPEX et le ROI, en tenant compte des gains indirects (prédictif, maintenance, recyclage, etc.).

Il est également nécessaire de **déterminer les compétences clés capables de tirer la valeur des données**. L'exercice est complexe dans la mesure où plusieurs de ces compétences sont **émergentes** comme le Data *cleaning*, algorithmie Data. Les profils de type data analyste, data scientifique ou expert data, etc. nécessitent pour certains plusieurs années de formation. D'où l'importance de mettre en place une filière d'évolution ou d'expertise pour les collaborateurs.

Enfin, pour **appuyer le changement** lié aux projets *edge*, l'entreprise doit mettre en place une communication et un soutien aux acteurs internes. Au vu de l'importance de la disponibilité des données et de leur qualité, il est nécessaire que l'ensemble des collaborateurs aient une culture «techno et donnée» pour comprendre et organiser de manière exploitable la donnée. Des entreprises participantes préconisent que chaque entité soit responsable de la production et de la valorisation de ses données. L'*edge computing* est une incitation supplémentaire à ce que les entreprises s'ouvrent aux acteurs extérieurs, écosystèmes concernés, internes ou externes à l'entreprise. Il stimule l'innovation ouverte et la mobilisation de l'intelligence collective, et accélère la dynamique d'innovation et de croissance.

4.3. Accompagnement de l'organisation et gestion du changement

La mise en place d'une organisation flexible, agile et apprenante est cruciale pour la pérennité de la transformation numérique et la recherche continue de performances supplémentaires. L'organisation doit être distribuée avec des correspondants opérationnels sur différents sites qui relayent et échangent les bonnes pratiques. Cela nécessite une communication en interne efficace.

La mise en œuvre des solutions *edge computing* induisent une forme de décentralisation en allant d'une logique centrale du cloud vers une gestion locale à la périphérie. Mais dans certains domaines comme l'industrie 4.0, le chemin du changement est inverse car il faut sensibiliser les collaborateurs métiers aux contraintes des systèmes d'information, notamment lors d'un passage à l'échelle : développer certaines compétences et acculturer les collaborateurs métiers à la standardisation des services et aux contraintes liées aux applications, appliquer les standards de formats des données et d'interfaces fournisseurs, anticiper le support et la maintenance en amont, surveiller et gérer les versions dans le temps (patches), sécuriser les projets avec des tests d'intrusion logiques et physiques.

Enfin, les projets *edge computing* nécessitent **d'adapter les compétences** en :

- **Identifiant les nouvelles compétences complémentaires** : architectes IT, interface utilisateur, expérience utilisateur, juriste etc.
- **Formant les employés en continu** : choisir le type de formation efficace : e-learning, MooC ou micro formation.
- **Adaptant les modèles d'organisation et de management** pour gagner en flexibilité, apprendre à travailler en réseau et mieux collaborer. Cela nécessite également d'adapter le management en mettant en place de nouveaux objectifs, des KPI (Key Performance Indicator), de la gestion de proximité.
- **Impliquant tous les acteurs, clients, sous-traitants dans le projet** : les SI sont à analyser dans un processus plus global et intégré, au-delà des besoins d'une seule entité ou d'une usine. Cela nécessite un dialogue avec la DSI.

5. Conclusion

Les entreprises et organisations publiques ont compris l'urgence de valoriser les données produites en interne ou au sein de leur écosystème. Pour répondre à cette injonction vitale, elles ouvrent leur SI et mettent en œuvre les différentes technologies disponibles comme le cloud *computing*. Cependant, il devient inimaginable d'envoyer toutes les données produites par l'entreprise dans le cloud compte tenu des limites de la bande passante, du dimensionnement des réseaux, du temps de réponse requis pour plusieurs cas d'usage, des contraintes de sécurité et de réglementation, de la résilience système nécessaire, ou encore de la volonté de répondre aux enjeux de sobriété. L'*edge computing* apporte une réponse en stockant, analysant et traitant avec des outils d'IA les données d'objets et systèmes connectés à la périphérie du réseau, au plus près de leur source.

L'*edge computing* promet de réduire les besoins en bande passante du réseau et le trafic des données mais pourrait entraîner en parallèle, une multiplication des points de calcul et de stockage, et donc une moindre optimisation des *datacenters* au sein de l'entreprise.

Certains réseaux de communication privés, industriels ou régaliens ainsi que les infrastructures intelligentes nécessaires aux véhicules autonomes exigeront dans un avenir proche une résilience des nœuds de réseaux qui ne peut être garantie que par du calcul et du stockage local obtenus grâce à l'*edge computing*. La généralisation de l'*edge computing* s'accompagnera d'une évolution des pratiques de sécurisation des données et des dispositifs de mise en conformité réglementaires pour pouvoir passer à l'échelle de l'entreprise. De nombreux acteurs du cloud, de l'industrie, des opérateurs d'infrastructures de mobilité et des équipementiers se positionnent sur ce marché très prometteur. Le matériel utilisé représente un facteur de différenciation important que ce soit au niveau des capacités de calcul et de traitement hardware qu'au niveau du milieu de fonctionnement.

L'*edge computing* connaîtra probablement son essor avec le déploiement de la 5G (Cf. rapport Cigref « 5G : Anticipation et opportunités »⁷). En effet, la 5G va offrir des solutions de connectivité avec la qualité de service souhaitée, lesquelles solutions favoriseront de nouveaux déploiements d'architecture *edge computing*.

⁷ <https://www.cigref.fr/5g-anticipation-opportunités-influence-sur-architectures>



Au service de la croissance économique et de la compétitivité de nos membres, grandes entreprises et administrations publiques françaises, utilisatrices de solutions et services numériques, par la réussite du numérique

Le Cigref est un réseau de grandes entreprises et administrations publiques françaises qui a pour mission de développer la capacité de ses membres à intégrer et maîtriser le numérique. Par la qualité de sa réflexion et la représentativité de ses membres, il est un acteur fédérateur de la société numérique. Association loi 1901 créée en 1970, le Cigref n'exerce aucune activité lucrative.

Pour réussir sa mission, le Cigref s'appuie sur trois métiers, qui font sa singularité.

1/ Appartenance :

Le Cigref incarne une parole collective des grandes entreprises et administrations françaises autour du numérique. Ses membres partagent leurs expériences de l'utilisation des technologies au sein de groupes de travail afin de faire émerger les meilleures pratiques.

2/ Intelligence :

Le Cigref participe aux réflexions collectives sur les enjeux économiques et sociétaux des technologies de l'information. Fondé il y a près de 50 ans, étant l'une des plus anciennes associations numériques en France, il tire sa légitimité à la fois de son histoire et de sa maîtrise des sujets techniques, socle de compétences de savoir-faire, fondements du numérique.

3/ Influence :

Le Cigref fait connaître et respecter les intérêts légitimes de ses entreprises membres. Instance indépendante d'échange et de production entre praticiens et acteurs, Il est une référence reconnue par tout son écosystème.

www.cigref.fr

21 av. de Messine, 75008 Paris
+33 1 56 59 70 00
cigref@cigref.fr