

Internet industriel des objets et technologies avancées : les leviers d'une transformation digitale réussie

Comment faire converger les opérations,
l'organisation et la technologie pour généraliser
la création de valeur

Andreas Behrendt, Enno de Boer, Valerio Dilda, Tarek Kasah,
Bodo Koerber, Niko Mohr, Gérard Richter, Julie Rose et
François Soubien



Préface

Advanced analytics, automatisation, Internet industriel des objets (IIoT), Industrie 4.0, *machine learning*, intelligence artificielle (IA), plateformes dans le cloud... l'espace industriel foisonne aujourd'hui de technologies avancées. Chacune de ces innovations a le potentiel de stimuler la productivité des entreprises. Chez les acteurs historiques, les technologies avancées peuvent favoriser la création de nouveaux modèles économiques axés sur le numérique et contribuer à améliorer l'efficacité opérationnelle et l'expérience client en matière de production et de logistique. Les entreprises manufacturières qui effectuent une transformation de leur modèle ne peuvent plus rester dans une posture d'observation de ces tendances. Bon nombre de grandes entreprises du secteur mettent déjà ces technologies en pratique, tout au moins dans une certaine mesure.

Parmi celles-ci, le potentiel de l'IIoT – ou Industrie 4.0, ces termes recouvrant dans ce document la même signification – est massif. Pourtant, si de nombreuses entreprises manufacturières testent aujourd'hui ces approches digitales innovantes à travers des projets pilotes, très peu parviennent à faire passer leurs cas d'usage à grande échelle de manière à générer des retours sur investissement opérationnels et financiers significatifs. La tendance conduisant à tomber dans ce "piège des pilotes" s'explique probablement par le fait que l'IIoT est souvent considéré comme une problématique technique dont la mise en œuvre est à confier en priorité à des spécialistes des technologies de l'information (TI) et des technologies opérationnelles (TO).

L'expérience montre cependant que les efforts de mise en place de l'IIoT ne génèrent de gains économiques réels que lorsque les dirigeants s'attachent à en favoriser la mise en place à tous les niveaux de l'entreprise, ouvrant la voie à une création de valeur durable et à grande échelle. Par exemple, la connexion d'une machine au cœur de l'usine à Internet permet de réduire ses temps d'arrêt, grâce à l'amélioration de sa productivité fondée sur l'analytique. Mais si les processus connexes ne sont pas modifiés et optimisés de la même manière, le gain sera limité à l'unité concernée. Pour maximiser les bénéfices liés à l'IIoT, les collaborateurs et les processus doivent également évoluer pour tirer pleinement parti des avantages des données associées, en recevant des informations en temps réel (pour réagir plus rapidement), ou de meilleure qualité (pour mener des actions plus

ciblées). Cela nécessite l'engagement des dirigeants, afin que le déploiement de l'IIoT ne soit pas circonscrit aux équipes informatiques mais relève bien d'une dynamique globale au sein de l'entreprise.

Le déploiement de l'IIoT à large échelle peut aussi se heurter à des obstacles techniques. Ainsi, de nombreuses entreprises peinent encore à surmonter les difficultés engendrées par la superposition de systèmes et d'applications hétérogènes, ou à déterminer quels systèmes choisir pour appuyer quelles fonctions (par exemple, des systèmes de gestion du cycle de vie des produits, des systèmes de gestion intégrés – ERP –, des outils de pilotage de la production ou de gestion de la chaîne d'approvisionnement). Se pose aussi la question de déterminer où déployer ces systèmes : en périphérie de réseau, sur le site de production ou dans le cloud. Cette interrogation relève de la gouvernance entre les fonctions TI et TO et impose de tenir compte des impératifs en matière de latence et de sécurité.

En raison de ces complexités, même les acteurs qualifiés de "bons élèves" en matière d'IIoT sont susceptibles de rencontrer des difficultés s'ils ne prennent pas soin de se inscrire dans une logique écosystémique. Les écosystèmes IIoT techniques se développent et s'améliorent en effet de jour en jour, et le mode collaboratif peut procurer un avantage concurrentiel, en particulier si les parties prenantes retenues possèdent une expertise dans des domaines tels que l'analytique, l'IIoT et les plateformes dans le cloud appartenant à la pile de logiciels industriels. Au-delà de la nécessité d'instituer ce type de collaborations, la complexité des écosystèmes émergents suscite également des interrogations en matière d'investissement, de leadership et de gouvernance.

La maîtrise de ces sujets complexes implique de relever le défi de l'intégration des opérations, de l'organisation et de la technologie. Dans ce rapport, nous proposons des repères à suivre pour réussir sa transformation digitale, en alignant efficacement ces trois sphères. Notre objectif est ici d'aider les acteurs leaders de l'industrie manufacturière et des technologies à naviguer avec succès dans le paysage de l'IIoT et à en capturer le plein potentiel.

Sommaire

Introduction	6
Partie A	
Des tendances sectorielles prometteuses pour la digitalisation de la production manufacturière	12
1. Aperçu des évolutions technologiques et de leurs implications dans le domaine de la fabrication numérique	12
1.1 Les tendances technologiques sont plutôt prometteuses	12
1.2 En s'appuyant sur un cœur de réseau optimisé par l'IloT, les usines du Global Lighthouse Network enregistrent des résultats significatifs sur leurs indicateurs de performance	15
2. Les entreprises manufacturières doivent poursuivre leur engagement en faveur de l'innovation digitale et réévaluer leurs initiatives en la matière	18
Partie B	
Généralisation de la création de valeur de l'IloT : les facteurs de réussite	22
1. Opérations (Fabrication)	24
1.1 Identification et priorisation des cas d'usage	24
Etape 1 – Etablir une liste exhaustive des cas d'usage en combinant des approches descendantes et ascendantes	25
Etape 2 – Répertorier, qualifier et prioriser les cas d'usage	25
Etape 3 – Mettre en place des cas d'usage phares pour établir des plans d'action de référence	26
1.2 Déploiement et mise en service dans les usines	28
Etape 1 – Mener un déploiement axé sur la valeur et l'impact	28
Etape 2 – Initier la collecte et l'agrégation des données, tout en menant les activités importantes en parallèle	31
Etape 3 – Définir les processus et les stratégies de collaboration nécessaires à chaque déploiement	31
2. Organisation	32
2.1 Création de valeur : conduite du changement et gestion de la performance	32
Etape 1 – Définir la feuille de route générale de la transformation IloT et les valeurs cibles des cas d'usage	33
Etape 2 – Mettre en place une organisation, un modèle et un mécanisme de création de valeur	33
Etape 3 – Mettre en œuvre une gestion cohérente des écarts par rapport aux valeurs cibles	33
2.2 Développement des compétences et nouvelles méthodes de travail	34
Etape 1 – Etablir les changements structurels à apporter à l'organisation et mettre en œuvre la gouvernance ainsi que les nouvelles méthodes de travail associées	34
Etape 2 – Identifier et combler les écarts en termes de compétences	37
Etape 3 – Gérer les changements de rôle et faire évoluer la culture d'entreprise ainsi que les états d'esprit à tous les niveaux hiérarchiques	39

3.	Technologie	42
3.1	IloT et infrastructure de données : conception de la plateforme centrale (incluant la cybersécurité TI-TO)	42
	Etape 1 – Evaluer intégralement la configuration existante, tant pour la TI que pour la TO	48
	Etape 2 – Créer l'architecture cible nécessaire à la mise en œuvre des cas d'usage	50
	Etape 3 – Gérer efficacement les défis de cybersécurité liés à la convergence TI-TO	57
	Etape 4 – Sélectionner un partenaire plutôt qu'un fournisseur pour faciliter la mise en œuvre de la plateforme	61
3.2	Plateforme IloT : l'impératif du cloud dans l'industrie manufacturière	62
	Etape 1 – Rendre le cloud rentable à court terme	64
	Etape 2 – Gérer étroitement la transformation par le cloud	66
	Etape 3 – Mettre en place une équipe "Infrastructure" capable de fonctionner à la manière d'une équipe de développement d'applications	66
3.3	Ecosystème technologique	67
	Etape 1 – Comprendre les éléments essentiels d'un écosystème durable	67
	Etape 2 – Sélectionner les bons partenaires afin de diversifier les prestataires de son écosystème en plateforme	68
	Etape 3 – Mettre sur pied des équipes <i>ad hoc</i> agiles centrées sur le développement commercial, capables de gérer la complexité de l'écosystème	70
	Perspective : comment amorcer une transformation digitale dans l'industrie manufacturière	71
	Lexique	72
	Les auteurs	74

Introduction

Les innovations observées dans la pile logicielle industrielle, de même que les applications d'*advanced analytics*, d'intelligence artificielle, de *machine learning*, ou encore de connectivité 5G, d'*edge computing* et d'Internet industriel des objets (IIoT) peuvent constituer de précieux atouts pour les industriels. Pour de nombreuses entreprises manufacturières, sélectionner la bonne technologie ne constitue pas un défi majeur. En revanche, capter la valeur et mettre à l'échelle les cas d'usage à forte valeur ajoutée peut s'avérer plus complexe.

Alors qu'il est en effet nécessaire d'optimiser les cas d'usage par le digital, l'hétérogénéité des systèmes et des applications en place au sein de l'organisation peut constituer un obstacle. Cette multiplicité découle souvent d'une conservation de logiciels existants, d'opérations de croissance externe ou encore de décisions d'approvisionnement décentralisées en matière de solutions et de technologies. Ces problématiques techniques, combinées aux écueils de l'imprécision du business plan et d'un manque de compétences, peuvent aboutir à un arrêt des programmes engagés dès la phase pilote, sans passage à l'échelle. C'est ce que nous appelons le "piège des pilotes".

Ces dernières années, les avancées technologiques ont accéléré de manière considérable, en particulier dans le domaine de la connectivité et de l'intégration évolutive. Ces progrès permettent enfin aux entreprises manufacturières d'étendre la palette de solutions existantes tout en les affinant, plutôt que de les abandonner et de les remplacer. Si elles sont utilisées à bon escient, ces technologies ouvriront les portes d'une mise à l'échelle des cas d'usage à valeur ajoutée, pour un coût marginal minimum.

Dans le cadre de nos recherches et de nos observations sur le terrain, nous avons remarqué que les industriels qui adoptent une approche technologique intégrée sont ceux qui obtiennent les meilleurs résultats. En effet, ils parviennent à capter une valeur commerciale par la digitalisation, et ce tout au long de la chaîne de valeur, depuis les fournisseurs jusqu'aux clients. Dès les premières étapes du projet de transformation, ils perçoivent l'importance des changements à opérer en termes d'organisation comme de technologies, et comprennent que ces évolutions doivent être considérées de façon globale.

Ce rapport porte sur la fabrication numérique et sur les changements organisationnels et technologiques sous-jacents (figure 1).

Il a pour ambition d'apporter des éclairages approfondis et directement exploitables sur les différentes problématiques soulevées par l'afflux de nouvelles technologies, qui sont autant de catalyseurs d'affaires. Il vise également à déterminer l'approche à suivre pour extraire de la valeur de ces technologies et mettre en place des cas d'usage à l'échelle. Un groupe d'experts de l'IIoT et de l'industrie manufacturière de McKinsey & Company a lancé un effort de recherche pour comprendre les catalyseurs qui sous-tendent cette génération de valeur à grande échelle par l'IIoT. Ce document synthétise les résultats de leurs travaux. Il explique pourquoi les entreprises doivent continuer à tirer parti de la technologie IIoT et formule des préconisations sur la façon de procéder. Le rapport s'appuie et sur les éclairages récents recueillis auprès de sources reconnues, et notamment :

- Les études de McKinsey menées en partenariat avec le Forum Economique Mondial, dont une étude menée auprès de 54 acteurs phares de la fabrication numérique : le Global Lighthouse Network¹,
- L'expérience tirée de notre accompagnement d'entreprises manufacturières de premier plan, sur des problématiques telles que la transformation IIoT, les analytics et les transformations optimisées par le cloud. Ces éclairages s'appuient sur les toute dernières technologies en matière de connectivité, d'architecture de données et d'*edge computing*,
- Les principaux enseignements tirés de transformations digitales et data réussies, avec un accent particulier sur la transformation et le développement des compétences, ainsi que sur la conduite du changement,

¹ "Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing", Forum Economique Mondial et McKinsey & Company, septembre 2020.

- Les travaux et échanges approfondis menés par McKinsey auprès de centres de recherche universitaires et d'associations professionnelles reconnus, complétés d'enquêtes sectorielles.

Ce rapport n'est pas uniquement destiné aux responsables de la TI, de la TO et du numérique dans l'environnement manufacturier. Il s'adresse également aux responsables d'un large éventail de fonctions et de domaines incluant les opérations, la chaîne d'approvisionnement, ou encore l'ingénierie des processus et des services.

Figure 1

Capitaliser sur l'Internet industriel des objets nécessite d'adopter une approche intégrée, pour réaliser une transformation de bout en bout qui concernera à la fois les opérations, l'organisation et la technologie



Opérations

Augmentation du chiffre d'affaires		Réduction des coûts			Optimisation de la trésorerie		
 Ventures et marketing digitaux	 Conception de produits digitaux / R&D agile	 Achats digitaux	 Design to cost / Design for X (DFX)	 Fabrication numérique	 Processus de back / middle / front office digitaux	 Chaîne d'approvisionnement / gestion des stocks digitaux	 Comptabilité fournisseurs et clients / dépenses d'investissement

L'objet de cette étude



Organisation

Infrastructure de la performance : "Le cerveau"	Imposer une cadence soutenue pour garantir une exécution de haut niveau et générer de la valeur financière par un pilotage fin des initiatives financières ainsi que des objectifs et des résultats clés à atteindre
Transparence financière : "L'œil"	Instaurer une politique de transparence financière et mettre en place des leviers d'extraction de valeur liés au compte de résultat, pour que les améliorations réalisées sur le terrain se traduisent en gains financiers
Conduite du changement : "Le cœur"	Favoriser l'évolution de l'état d'esprit et des comportements nécessaires au fonctionnement de l'entreprise dans un environnement digitalisé et à la pérennisation de la transformation
Développement des compétences digitales : "Le muscle"	Développer de nouvelles compétences en terme de leadership, de fonctionnement, de numérique et de transformation
Organisation agile : "Le yogi"	Capitaliser sur les principes du fonctionnement agile pour organiser, fonctionner, innover et transformer de façon transverse et itérative



Technologie

Infrastructure IIoT : "Le squelette"	Elaborer une planification et une architecture IIoT holistiques pour étendre les cas d'usage du digital à l'ensemble de l'entreprise
Infrastructure de données : "Le sang"	Collecter des données de qualité, au bon moment, pour faciliter le déploiement des cas d'usage du digital et de l'analytique
Ecosystème technologique : "La communauté"	Etendre le réseau d'entreprises à envisager pour des partenariats et des licences afin de bénéficier de l'apport de nouvelles compétences

Source : Services de transformation digitale de McKinsey

Les principaux éclairages apportés par les recherches et les analyses effectuées dans le cadre de cette étude sont les suivants :

I. Les raisons pour lesquelles les entreprises manufacturières devraient s'appuyer sur l'IloT et les technologies avancées pour opérer leur transformation digitale

Il existe de multiples raisons pour lesquelles les entreprises devraient commencer ou continuer à s'appuyer sur l'IloT et les technologies avancées :

Les obstacles à l'IloT commencent à être levés

- Le déploiement des cas d'usage à l'échelle s'accélère à mesure que les plateformes deviennent de plus en plus faciles à utiliser – avec leurs logiciels Low-code / No-code – et que les boîtes à outils développées rendent le déploiement et la mise en œuvre plus rentables que jamais.
- Le calcul décentralisé – de la périphérie de l'atelier jusqu'au cloud – devient la norme, car les solutions d'infrastructure permettent de gérer facilement des réseaux dispersés et de répondre aux exigences en temps réel.
- L'intégration et la connectivité sont considérablement améliorées par des cadres tels que le protocole OPC (Open Platform Communications) Unified Architecture et l'arrivée de la 5G, des innovations qui offrent des solutions à haut débit, à faible latence, très flexibles et hautement sécurisées, là où les alternatives actuelles échouent.
- La puissance de calcul et de traitement des données a augmenté de façon exponentielle, tandis que les coûts du stockage et des unités centrales ont très largement diminué.

Les avantages de l'IloT sont considérables

- Des améliorations significatives en termes de productivité, de performance, de durabilité, d'agilité, de vitesse de commercialisation et de personnalisation peuvent être obtenues par une mise en œuvre adéquate de l'IloT, comme le démontre une étude menée par le Forum Economique Mondial réalisée auprès de 54 acteurs mondiaux phares² (figure 4).
- L'évolution vers l'industrie 4.0 augmente significativement la résilience des acteurs, en leur permettant de réagir plus rapidement aux crises grâce à des outils digitaux modernes de planification du travail.

II. Les moyens pour les industriels d'aligner leurs opérations, leur organisation et les technologies pour généraliser la création de valeur

La réussite de la mise en œuvre à l'échelle de l'IloT passe par sept actions clés à déployer dans trois domaines :

- **Opérations.** Il est d'abord nécessaire d'identifier et de prioriser les cas d'usage et de les tester dans le cadre de pilotes. Ensuite, il convient de définir la feuille de route à mettre en œuvre pour déployer ces cas d'usage au sein des fonctions TI et TO, ainsi que dans l'ensemble de l'écosystème de l'entreprise. Dans le même temps, il s'agit également d'identifier les mesures à prendre concernant la création de valeur et la gestion des compétences technologiques. L'ensemble de ces étapes doivent être envisagées de façon à générer un impact global au sein de l'organisation, en évitant l'écueil de se limiter à des solutions locales. Cela ne signifie pas que des initiatives locales ne peuvent pas être mises en place, mais une politique d'amélioration continue et de suivi doit être impulsée à ce niveau.

² "Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing", Forum Economique Mondial et McKinsey & Company, septembre 2020.

- **Organisation.** Des objectifs clairs doivent être fixés pour chaque étape de la transformation, accompagnés de la mise en place d'une cellule chargée de suivre l'avancement et d'opérer les recadrages nécessaires tout au long du processus. De nouvelles méthodes de travail peuvent dans ce cadre être mises en place pour faciliter les interactions transverses et permettant de développer les compétences et les savoir-faire nécessaires.
- **Technologie.** Il s'agira, tout d'abord, de définir la situation de départ et l'architecture cible de la plateforme IIoT, en donnant la priorité à la collecte, la connexion, l'ingestion et l'intégration des données qui permettront de déployer les cas d'usage — y compris en matière de gestion de la cybersécurité de la plateforme. Ensuite, il sera crucial de développer des clés de compréhension de l'impact du *cloud computing* sur la fabrication, et de prendre en compte ce paramètre dans la conception globale de la plateforme. Enfin, il conviendra de mettre en place un écosystème de fournisseurs et de partenaires pertinents pour soutenir sa mise en œuvre, en tenant compte du niveau de complexité de chaque usine (type de fabrication et de produits, taille de l'usine et paysage TI-TO).

Ces différentes actions sont décrites de manière détaillée dans ce rapport (une vue d'ensemble est présentée dans le Tableau 1). Néanmoins, avant même d'engager la première étape du processus, les industriels gagneront à définir leurs objectifs, et à faire une revue critique de leur maturité digitale et du degré de préparation de leur organisation, pour anticiper les enjeux auxquels ils risquent d'être confrontés et pouvoir y faire face.

Tableau 1

Vue d'ensemble des sept processus d'optimisation d'une transformation digitale dans l'industrie manufacturière et des principales étapes correspondantes

Dimension	Processus	Etapes clés	Page
Opérations (Fabrication)	1.1 Identification et priorisation des cas d'usage	— Etape 1. Etablir une liste exhaustive des cas d'usage en combinant des approches descendantes et ascendantes	25
		— Etape 2. Répertorier, qualifier et prioriser les cas d'usage	25
		— Etape 3. Mettre en place des cas d'usage phares pour établir des plans d'action de référence	26
	1.2 Déploiement et mise en service dans les usines	— Etape 1. Mener un déploiement axé sur la valeur et l'impact	28
		— Etape 2. Initier la collecte et l'agrégation des données, tout en menant les activités importantes en parallèle	31
		— Etape 3. Définir les processus et les stratégies de collaboration nécessaires à chaque déploiement	31
Organisation	2.1 Création de valeur : conduite du changement et gestion de la performance	— Etape 1. Définir la feuille de route générale de la transformation IIoT et les valeurs cibles des cas d'usage	33
		— Etape 2. Mettre en place une organisation, un modèle et un mécanisme de création de valeur	33
		— Etape 3. Mettre en œuvre une gestion cohérente des écarts par rapport aux valeurs cibles	33
	2.2 Développement des compétences et nouvelles méthodes de travail	— Etape 1. Etablir les changements structurels à apporter à l'organisation et mettre en œuvre la gouvernance ainsi que les nouvelles méthodes de travail associées	34
		— Etape 2. Identifier et combler les écarts en termes de compétences	37
		— Etape 3. Gérer les changements de rôle et faire évoluer la culture d'entreprise ainsi que les états d'esprit à tous les niveaux hiérarchiques	39

Dimension	Processus	Etapes clés	Page
Technologie	3.1 IIoT et infrastructure de données : conception de la plateforme centrale (incluant la cybersécurité TI-TO)	— Etape 1. Evaluer intégralement la configuration existante, tant pour la TI que pour la TO	48
		— Etape 2. Créer l'architecture cible nécessaire à la mise en œuvre des cas d'usage	50
		— Etape 3. Gérer efficacement les défis de cybersécurité liés à la convergence TI-TO	57
		— Etape 4. Sélectionner un partenaire plutôt qu'un fournisseur, pour faciliter la mise en œuvre de la plateforme	61
	3.2 Plateforme IIoT : l'impératif du cloud dans l'industrie manufacturière	— Etape 1. Rendre le cloud rentable à court terme	64
		— Etape 2. Gérer étroitement la transformation par le cloud	66
		— Etape 3. Mettre en place une équipe "Infrastructure" capable de fonctionner à la manière d'une équipe de développement d'applications	66
	3.3 Ecosystème technologique	— Etape 1. Comprendre les éléments essentiels d'un écosystème durable	67
		— Etape 2. Sélectionner les bons partenaires afin de diversifier les prestataires de son écosystème en plateforme	68
		— Etape 3. Mettre sur pied des équipes <i>ad hoc</i> agiles centrées sur le développement commercial, capables de gérer la complexité de l'écosystème	70

Partie A

Les tendances de l'industrie qui ouvrent à la fabrication numérique une perspective prometteuse

De nombreux acteurs industriels peinent encore à généraliser la création de valeur à partir de l'IloT et du digital. Néanmoins, de nombreux éléments concourent à démontrer que la numérisation constitue un formidable levier de croissance et que celle-ci est à portée de main. L'industrie manufacturière doit donc résolument poursuivre ses efforts dans la voie de l'innovation numérique.

1. Aperçu des évolutions technologiques et de leurs implications dans le domaine de la fabrication numérique

La mise en œuvre de cas d'usage fondés sur l'IloT est technologiquement réalisable depuis quelques années déjà. Aujourd'hui, des possibilités totalement nouvelles apparaissent pour déployer des cas d'usage sophistiqués et innovants. Les usines du Global Lighthouse Network du Forum Economique Mondial font actuellement la démonstration de leurs compétences les plus pointues en la matière. Avec la bonne approche, l'exploitation d'un cœur de réseau optimisé par l'IloT peut conduire à une amélioration significative de la performance (indicateurs) des entreprises manufacturières dans tous les secteurs industriels et sur un large spectre de cas d'usage.

1.1 Les tendances technologiques sont plutôt prometteuses

Trois principales tendances peuvent être identifiées autour de l'IloT concernant les cas d'usage et les technologies de la connectivité :

I. Il devient plus facile de déployer des cas d'usage

Aujourd'hui, le déploiement des cas d'usage est simplifié par quatre évolutions :

- **Les effets de réseau.** Les plateformes IloT deviennent de plus en plus faciles à utiliser à mesure que les logiciels prennent en charge l'élargissement du champ des utilisateurs. En outre, l'accès au développement de logiciels IloT devient plus étendu et l'expérimentation s'intensifie, ce qui profite à l'ensemble de l'écosystème IloT.
- **Un développement simplifié.** Avec un large panel d'interfaces de programmation d'applications (API) prêtes à l'emploi ou d'éditeurs utilisables nécessitant peu ou pas de code existant sur le marché, créer des cas d'usage et les mettre en œuvre devient plus rentable. Ces plateformes Low-code / No-code permettent en effet aux petites et moyennes entreprises d'accéder aux fonctionnalités des logiciels IloT sans avoir besoin des talents de codeurs dont devaient disposer les entreprises pionnières.
- **Une mise à l'échelle intégrée.** Grâce aux routines de provisionnement et de mises à jour rapides des applications dans des bases de données réutilisables, à la "conteneurisation" qui permet un déploiement logiciel agnostique sur différents appareils périphériques, ainsi qu'aux solutions sophistiquées de gestion de l'ensemble de la pile logicielle / matérielle, il est possible de mettre en œuvre des méthodologies de type DevSecOps³ et de généraliser rapidement la connexion des usines et des équipements aux plateformes.

³ Le DevSecOps englobe le développement de logiciels, la sécurité informatique et les opérations informatiques. Il complète l'approche DevOps déjà existante avec la composante clé qu'est la cybersécurité. La définition détaillée est incluse dans le lexique.

- **Disponibilité croissante des cas d'usage** . La puissance de calcul et de traitement a considérablement augmenté, tandis que les coûts de stockage et des unités centrales ont chuté de façon spectaculaire (figure 2).

II. L'edge computing devient la norme

Du fait de la conjonction de trois facteurs clés, il est aujourd'hui possible de transférer la capacité de calcul des infrastructures du cloud vers les sites de production : tout d'abord, les technologies en périphérie de réseau ont une connectivité intermittente qui les rend capables d'élargir leur champ de fonctionnalités au-delà de ce que permettent les technologies à connexion continue. Ensuite, les appareils sophistiqués dépendent de la prise de décision en temps réel. Enfin, les décisions requises ne reposent pas sur une plus grande puissance de calcul.

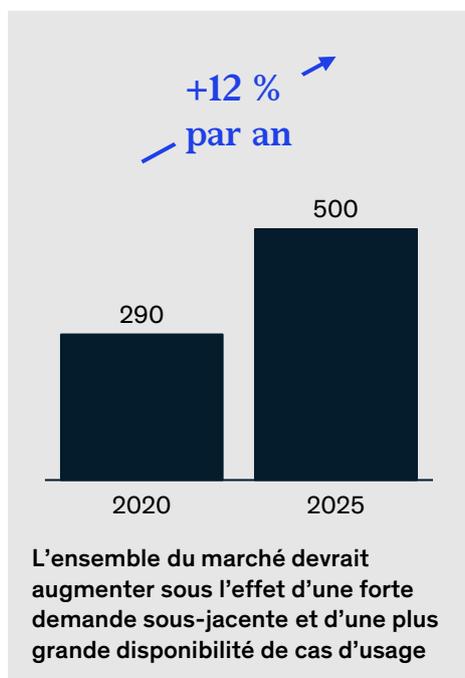
D'ici 2025, l'edge computing devrait ainsi représenter une valeur potentielle de 175 à 215 Md\$ en matériel. Les principales industries qui génèreraient cette valeur matérielle sont le voyage, le transport et la logistique, ainsi que la grande distribution. Elles représentent environ 32 % des environnements de cas d'usage actuels.

Figure 2

Le marché de l'IloT atteindra une valeur de 500 Md\$ en 2025 du fait d'une demande soutenue par les avancées technologiques

Estimation globale

Dépenses liées à l'IloT, 2020-2025¹, Md\$



Principaux facteurs de croissance

	Début des années 2000	Aujourd'hui
Coût des capteurs	Le prix unitaire moyen par capteur était supérieur à 1,30 \$	Le prix unitaire est descendu à moins de 0,50 \$ par capteur
Coût du stockage des données	Le stockage de 1 Go de données coûtait plus de 500 \$	Il est possible de stocker 1 Go de données pour moins de 0,02 \$
Ubiquité des appareils	Les appareils de l'IoT étaient largement limités à des applications spécialisées (caméras de sécurité, etc.)	8,4 milliards d'appareils de l'IoT sont actuellement en utilisation ; le consommateur numérique moyen possède environ 4 appareils connectés
Connectivité	Les téléphones fonctionnaient via des réseaux 2G à environ 50 kbps ; ce n'était que le début du Wi-Fi et du Bluetooth	La puissance du réseau mobile 5G peut aller jusqu'à 20 Go / s (soit une multiplication de la puissance initiale par 400 000) et le Wi-Fi et le Bluetooth sont devenus des technologies standard

1. Dans les secteurs de la construction, de la fabrication, de la production de matières non transformées et du transport

Source : IDC, analyse McKinsey

III. La 5G offre aux fabricants une solution de connectivité là où les alternatives actuelles s'avèrent inopérantes

Pour les fabricants qui s'ouvrent à l'Industrie 4.0, la 5G offre à court terme des opportunités intéressantes autour de l'IoT. La nette amélioration de la performance qu'elle induit permet en effet aux usines de surmonter les fortes interférences inhérentes aux ateliers conçus avant l'ère de l'Industrie 4.0. L'industrie manufacturière devrait ainsi représenter plus de la moitié des ventes de solutions 5G pour les cas d'usage où la 5G apporte des avantages significatifs (figure 3).

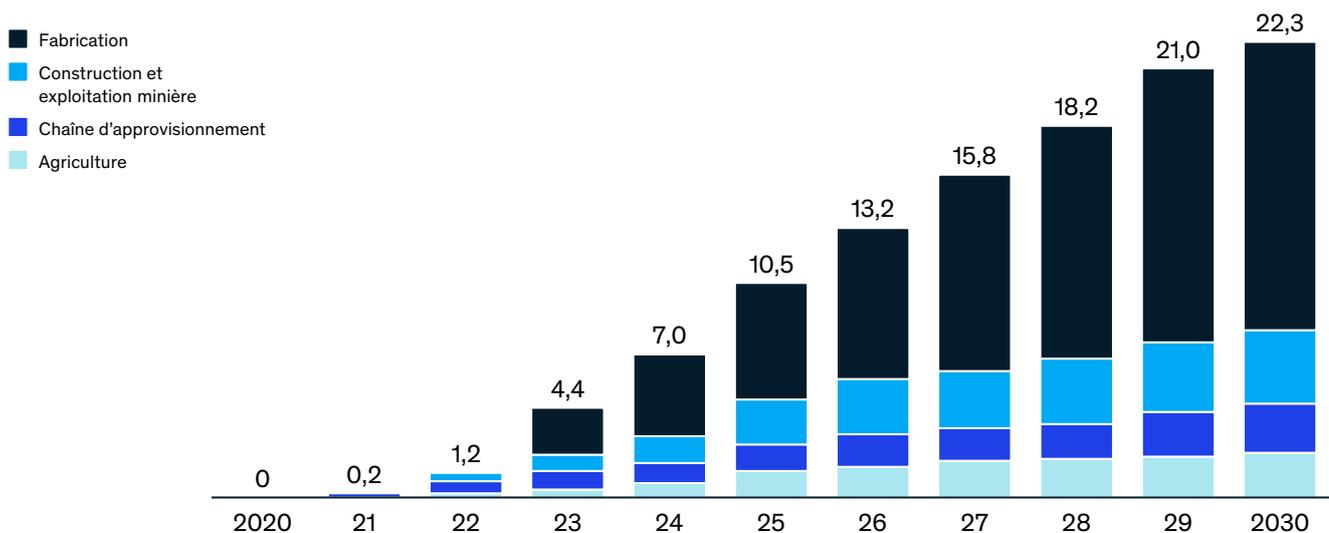
Les véhicules autoguidés et la maîtrise des processus en temps réel comptent parmi les cas d'usage de l'application de la 5G les plus convaincants. Aujourd'hui, les véhicules autoguidés sont généralement activés par le Wi-Fi et utilisent un logiciel embarqué pour gérer le routage et l'exécution des tâches. La 5G permettrait une bien meilleure connectivité via le réseau périphérique ou le cloud, facilitant ainsi le partage des données entre véhicules et la coordination de la flotte en temps réel. Cela leur permettrait de s'affranchir des trajets prédéfinis et favoriserait une meilleure adaptation à un environnement en constante évolution au sein des usines.

Autre avantage, la 5G améliore la fiabilité en offrant une connectivité fluide, ce qui permet aux véhicules autoguidés d'évoluer partout dans l'usine et de passer d'un point d'accès à un autre suivant le besoin. En ce qui concerne la maîtrise des processus en temps réel, il est possible depuis des années d'utiliser des contrôleurs et des capteurs câblés, mais la 5G ouvre un nouvel espace de solutions en aidant à connecter des modules pour effectuer, de façon relativement facile, des analyses ciblées à partir de capteurs. Ceci s'avère particulièrement intéressant pour équiper des machines anciennes dont les systèmes de commande et d'alimentation peuvent être moins adaptables aux technologies modernes.

Figure 3

Pour les cas d'usage de l'Industrie 4.0 qui bénéficient considérablement de la 5G, une majorité des ventes de matériels conçus pour l'IoT 5G concernera l'industrie manufacturière

Prévisions de ventes de matériels IoT 5G pour les applications de l'Industrie 4.0 (uniquement pour les cas d'usage B2B qui bénéficient considérablement de la 5G), en millions d'unités



Les cas d'usage de l'Industrie 4.0 qui bénéficient considérablement de la 5G devraient déclencher une forte augmentation des ventes de matériels IoT 5G à partir de 2023

Source : analyse McKinsey

1.2 En s'appuyant sur un cœur de réseau optimisé par l'IloT, les usines du Global Lighthouse Network enregistrent des résultats significatifs sur leurs indicateurs de performance

Plus de 70 % des entreprises éprouvent des difficultés à mettre en œuvre les technologies avancées et à les développer à suffisamment grande échelle pour générer un retour sur investissement significatif ou une amélioration réelle des indicateurs clés de performance (KPIs) opérationnels. Depuis 2016, le Forum Economique Mondial, en collaboration avec McKinsey & Company, identifie les acteurs les plus en pointe en matière d'adoption des technologies de l'Industrie 4.0 et bâtit un réseau autour de ces acteurs phares et de leur succès. L'objectif de cette analyse est de déterminer les bonnes pratiques et d'apporter des éclairages permettant d'accélérer l'adoption des technologies de fabrication avancées. En 2018, plus de 1 000 sites de production ont été étudiés et 16 entreprises ont été reconnues comme des leaders de la production manufacturière avancée. Ces leaders affichent des résultats opérationnels et financiers significatifs. En 2019, 28 sites supplémentaires ont été ajoutés à ce qui est désormais connu sous le nom "Global Lighthouse Network", suivis de 10 autres en 2020.

Sur le plan technologique, ces 54 entreprises phares désignées par le Forum Economique Mondial ont en commun un système d'exploitation innovant, dont le cœur de réseau est une plateforme IloT intégrée qui permet et facilite l'intégration entre les processus opérationnels et les systèmes de gestion. Leur méthode de travail consiste souvent à créer un produit minimum viable (MVP) à partir du système d'exploitation IloT, qui peut ensuite être reproduit et mis à l'échelle dans l'entreprise. Le fait de travailler en premier lieu sur un produit minimum viable leur permet très rapidement de réaliser des itérations, grâce à des modes de travail agiles, avant de devoir investir des ressources à l'échelle de l'entreprise.

L'infrastructure IloT et les méthodes de travail agiles offrent ainsi la possibilité aux usines phares de développer de nouveaux cas d'usage en un minimum de temps et pour un coût minimal. Par conséquent, elles sont nombreuses à disposer d'un large éventail de cas d'usage avancés déployés le long de leur réseau d'approvisionnement, dans des domaines tels que développement, la planification et la livraison de produits de bout en bout, la connectivité des clients ou encore la durabilité activée par le digital. Tous ces cas d'usage ont en commun l'intégration fluide de multiples systèmes informatiques tels que les systèmes de gestion intégrés (ERP), de gestion du cycle de vie du produit et de gestion des opérations de fabrication (MOM). On utilise souvent indifféremment dans ce cadre le terme MOM et le terme MES, lesquels désignent les systèmes de pilotage de la production (voir le lexique pour plus de détails).

Les entreprises membres du Global Lighthouse Network obtiennent des résultats sans équivalents par rapport à leurs homologues qui n'appartiennent pas à ce groupement. Si l'on regarde à l'échelle de l'usine, un exemple intéressant est celui d'un site de production de semi-conducteurs de Singapour qui est parvenu à réduire de 22 % son volume de déchets collectés grâce à une installation intelligente compatible avec l'IloT. Autre exemple : l'automatisation des processus avancés basée sur l'IloT a directement permis une réduction à deux chiffres de coûts d'une usine de production de lentilles de contact. Le diagramme d'impact de la figure 4 présente les performances des 54 entreprises et résume l'éventail des impacts opérationnels et financiers observés au sein du Global Lighthouse Network⁴.

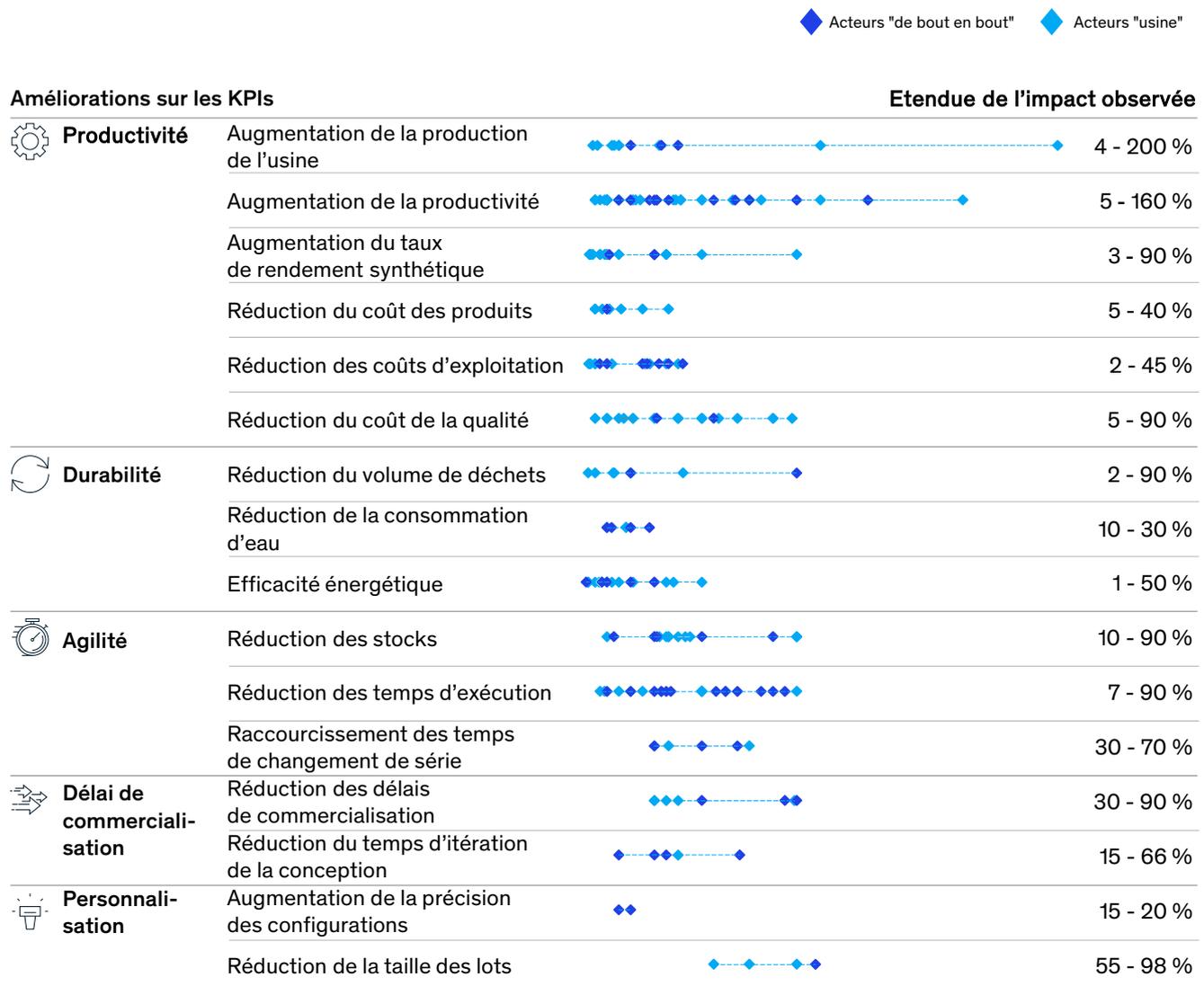
⁴ ["Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing"](#), Forum Economique Mondial et McKinsey & Company, septembre 2020.

Selon nos analyses, la vitesse d'adoption de la technologie s'avère être la variable qui va creuser inévitablement les écarts entre les pionniers, les suiveurs et les retardataires. En 2018, une étude du McKinsey Global Institute prévoyait un écart considérable entre les entreprises qui adopteraient et absorberaient l'IA dans les cinq à sept premières années et celles qui resteraient à la traîne (figure 5).

Les pionniers, c'est-à-dire ceux qui ont déjà adopté les technologies de l'IA, peuvent s'attendre à voir leurs flux de trésorerie cumulés augmenter de 122 %, contre seulement 10 % pour les suiveurs. En sus, les entreprises qui n'auront pas adopté l'IA dans les cinq à sept ans verront leurs flux de trésorerie diminuer de 23 %.

Figure 4

Les entreprises phares du Global Lighthouse Network améliorent leur performance opérationnelle et financière à divers degrés, tant au niveau de l'usine que dans la production de bout en bout, sur toute une série d'indicateurs



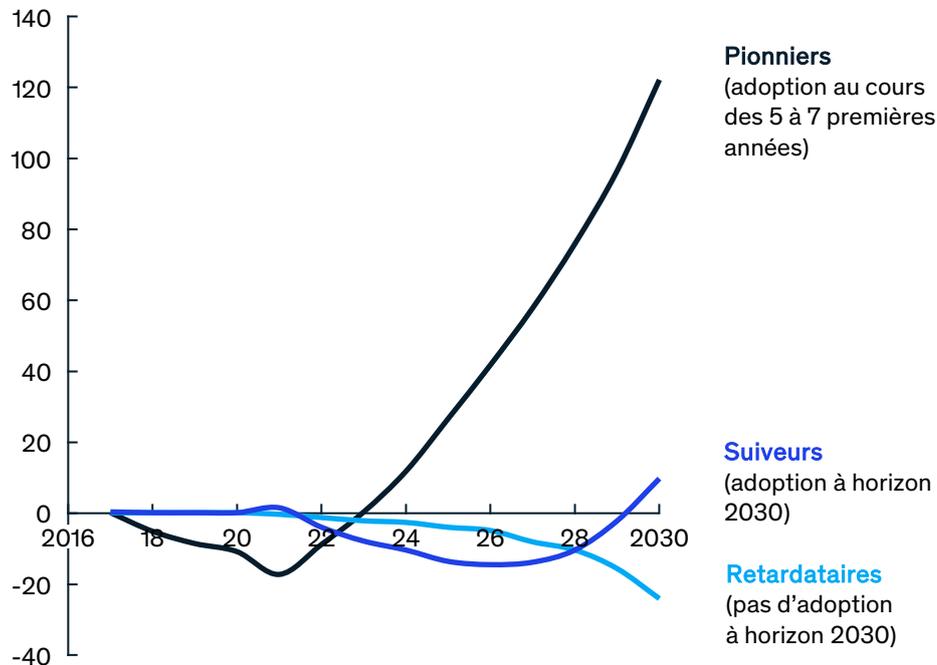
Source : Forum Economique Mondial, analyse McKinsey

Figure 5

Les gains obtenus par les pionniers, les suiveurs et les retardataires de l'IA confirment l'intérêt d'une adoption précoce

Simulation

Evolutions relatives de la trésorerie par cohorte d'adoption de l'IA
 Pourcentage d'évolution par cohorte, cumulé



Décomposition

Pourcentage d'évolution par cohorte

Gains de production de l'ensemble de l'économie

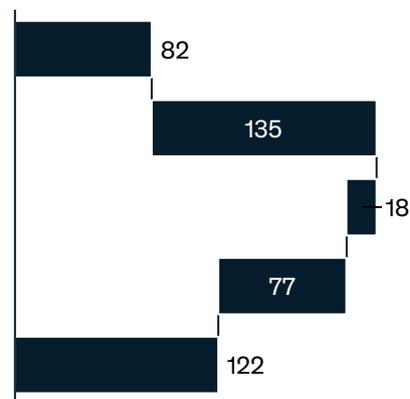
Gain ou perte de production par rapport aux pairs

Coût de la transition

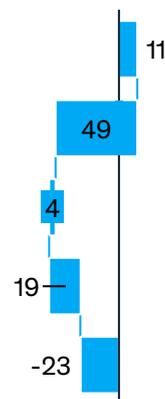
Dépenses d'investissement

Total

Pionniers



Retardataires



Note : les nombres indiqués sont des chiffres simulés, pour donner des perspectives d'orientation plutôt qu'une prévision

Source : McKinsey Global Institute

2. Les entreprises manufacturières doivent poursuivre leur engagement en faveur de l'innovation digitale et réévaluer leurs initiatives en la matière

Comme le montre l'exemple des acteurs phares, les solutions IIoT et de fabrication numérique peuvent constituer pour les entreprises des leviers majeurs pour améliorer leur rentabilité et leur compétitivité futures. En raison de l'importance croissante que prennent la donnée et l'interconnectivité, il apparaît aussi plus clairement qu'adopter une position attentiste afin d'obtenir une technologie moins onéreuse et plus performante n'est pas une stratégie payante, car les pionniers capteront *a priori* les bénéfices les plus importants. Les entreprises – en particulier celles qui sont bloquées dans le "piège des pilotes" – doivent rapidement réévaluer leurs initiatives numériques et concevoir un programme holistique de transformation digitale permettant la création de valeur à grande échelle.

Afin de nourrir les réflexions des dirigeants d'entreprises manufacturières, nous proposons ici six éclairages qui mettent en lumière les potentiels liés à l'innovation numérique, ainsi que les considérations fondamentales que les entreprises doivent prendre en compte, et les actions qu'elles doivent engager dans ce contexte :

L'adoption de l'IIoT est réelle, bénéfique et aide les fabricants à rester pertinents (sur le plan du numérique)

Si l'adoption de l'IIoT semble plus lente que prévu, elle n'en est pas moins réelle et se répand de plus en plus (figure 6). Alors que la fabrication numérique devrait capter une part importante du marché global de l'IoT d'ici 2025, il est clair que les gains à réaliser seront significatifs.

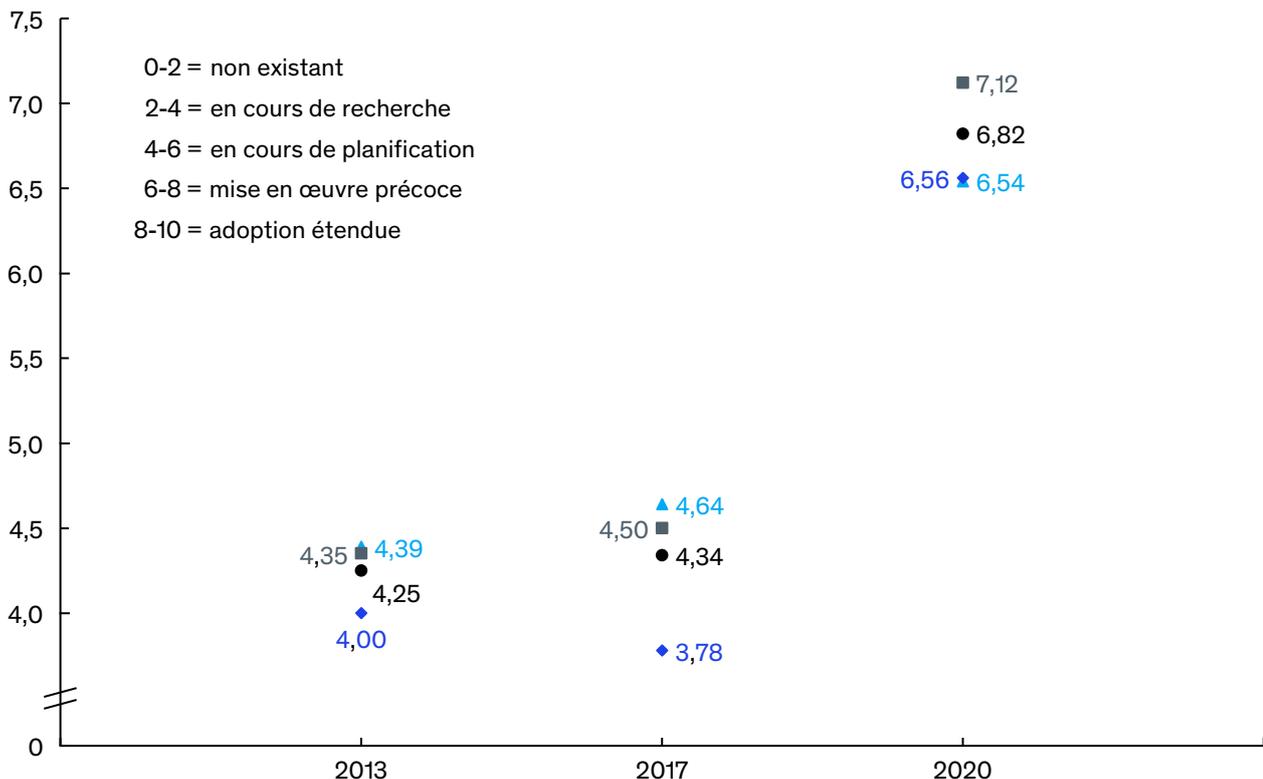
Figure 6

La dynamique d'adoption de l'IIoT s'accélère

Evolution de l'IIoT Business Index

Avancées enregistrées dans l'adoption de l'IIoT de 2013 à 2020

Opérations internes



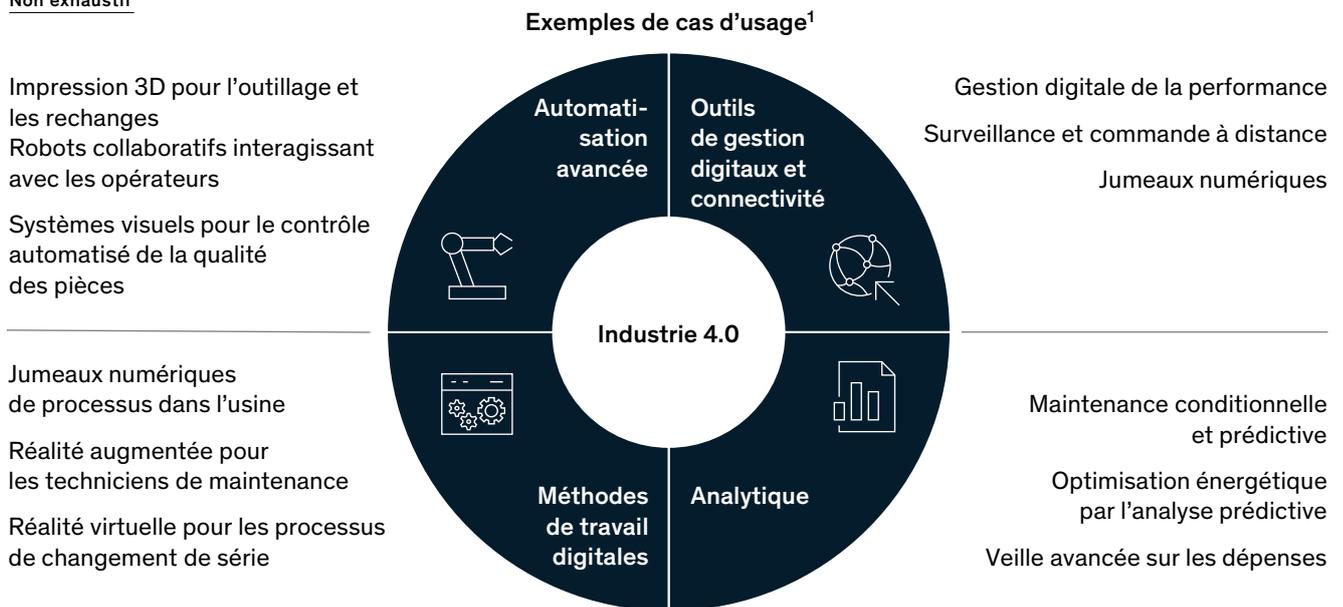
Source : Economist Intelligence Unit

Cette valeur, dont une part substantielle proviendra de gains d'efficacité majeurs (voir le chapitre 1.2 et la figure 4), est accessible aux entreprises manufacturières de toutes tailles, pour peu qu'elles soient déterminées à s'engager dans la voie de l'innovation digitale et à s'appuyer sur les principales technologies de l'Industrie 4.0. Ces dernières permettent déjà de mettre en œuvre de nombreux cas d'usage dans tous les secteurs (figure 7).

Figure 7

Les principales technologies de l'IloT permettent déjà une multitude de cas d'usage dans tous les secteurs

Non exhaustif



1. La bibliothèque de cas d'usage numériques de McKinsey comprend plus de 300 cas d'usage couvrant l'ensemble des secteurs

Source : analyse McKinsey

Au-delà d'améliorer l'efficacité et de stimuler l'innovation, les transformations IloT dans le secteur de la production sont particulièrement déterminantes, dans la mesure où elles impliquent d'intégrer des systèmes informatiques et de mettre en place des écosystèmes complexes, imposant ainsi aux acteurs à la traîne de rattraper leur retard en matière d'adoption. Si une entreprise opère sa transformation IloT, toutes les autres devront en effet lui emboîter le pas⁵ si elles veulent rester pertinentes et conserver leur place sur leur marché.

⁵ ["Taking supplier collaboration to the next level"](#), McKinsey & Company, juillet 2020.

Aucune application ne générera à elle seule une croissance massive : celle-ci dépendra plutôt du passage à l'échelle d'un ensemble de cas d'usage

Le saut de croissance espéré ne pourra pas venir d'une seule et même application. La croissance par l'IloT viendra d'un ensemble d'applications générant dans leur ensemble entre 10 et 100 M\$ de chiffre d'affaires. Autrement dit, aucun cas d'usage isolé de l'IloT ne peut constituer une solution miracle à l'échelle. C'est l'exécution globale (c'est-à-dire la mise en œuvre de multiples cas d'usage et leur mise à l'échelle au fil du temps) qui importe, bien plus que de trouver le cas d'usage optimal. L'exemple des acteurs phares recensés par le Forum Economique Mondial montre que des améliorations substantielles de la performance des opérations sont possibles en termes de productivité, de durabilité, d'agilité, de rapidité de commercialisation et de personnalisation.

La fabrication avancée accroît la résilience des industriels

Les bouleversements induits par la pandémie de COVID-19 démontrent l'importance de poursuivre, et dans certains cas d'accélérer, les transitions en cours vers la fabrication avancée. C'est particulièrement vrai dans le domaine des outils numériques de planification et de gestion, et sur le plan de la digitalisation des outils utilisés par les collaborateurs :

- **Outils numériques de planification et de gestion.** La crise a montré que les structures opérationnelles digitalisées peuvent réagir plus finement et plus rapidement aux chocs externes, notamment grâce aux outils numériques de planification qui permettent aux entreprises d'anticiper et d'ajuster leur capacité de production avec rapidité.
- **Collaborateurs connectés et digitalisés.** Les niveaux élevés de digitalisation ont contribué à la résilience pendant la première phase de la pandémie de COVID-19 en augmentant la capacité à travailler à distance.

Les fabricants à la pointe de l'IloT ont connu une mise à l'épreuve inédite de l'efficacité de la digitalisation de leurs opérations durant la pandémie. Cet épisode leur a permis de tirer des enseignements pour l'avenir.

Il existe des facteurs clés de réussite universels pertinents pour les dimensions "opérations", "organisation" et "technologie"

Pour échapper au "piège des pilotes" et passer à l'échelle, les entreprises manufacturières doivent réévaluer fondamentalement leurs initiatives digitales en travaillant sur plusieurs dimensions – à savoir les opérations, l'organisation et la technologie – avec l'engagement plein et entier de leurs dirigeants. En effet, si les obstacles technologiques (tels que les systèmes techniques, les applications, ou encore les équipements des usines ne fonctionnant pas sur le même système d'exploitation) constituent un obstacle important pour la mise à l'échelle des programmes pilotes, les écueils organisationnels présentent un défi encore plus conséquent pour les acteurs industriels.

Le périmètre et l'étendue des secteurs manufacturiers représentés au sein du Global Lighthouse Network conduisent à une observation fondamentale : les facteurs clés de succès identifiés dans leur contexte manufacturier revêtent une pertinence quasi universelle⁶.

⁶ ["Preparing for the next normal via digital manufacturing's scaling potential"](#), McKinsey & Company, avril 2020.

Si certaines entreprises mènent la danse et peuvent servir d'exemples, toutes ont cependant la possibilité de se lancer.

Les acteurs phares sur le terrain de l'IloT montrent l'exemple, quant à la façon de réussir pleinement sa transformation digitale, en généralisant la création de valeur et en montrant comment réinventer et rééquilibrer les activités opérationnelles dans le cadre du "prochain normal" de la fabrication numérique. Pour autant, bien qu'aujourd'hui premiers de cordée, même ces acteurs phares ne sont pas encore au bout de leur parcours de transformation : ils commencent tout juste à libérer le véritable potentiel des technologies de l'Industrie 4.0.

Dans ces conditions, un constat s'impose : les fabricants devraient tous dès maintenant revoir leurs initiatives digitales. En s'appliquant à définir un programme de transformation digitale complet qui permette de généraliser la création de valeur, ils devraient pouvoir bénéficier du "cadre de la réussite" que la présente étude présente et commente de façon synthétique dans sa Partie B.

Partie B

Généralisation de la création de valeur de l'IIoT : les facteurs de réussite

Opérer une transformation digitale durable et évolutive dans les industries d'assemblage et de process constitue un projet ambitieux qui relève pour une grande part de l'engagement de l'organisation tout entière. Si la mise en œuvre des premiers cas d'usage peut généralement s'effectuer en l'espace de six à huit semaines, la réalisation d'une transformation véritablement holistique prendra en revanche deux à trois ans (selon le périmètre et la taille de l'entreprise) et s'articulera autour de trois phases et ensembles d'actions (figure 8) :

- **Etablir une base de référence et une feuille de route pour la création de valeur.** Identifier le plein potentiel de l'entreprise en créant une feuille de route de la transformation articulée autour des leviers numériques et opérationnels, et soutenue par des catalyseurs organisationnels et technologiques.
- **Mobiliser l'ensemble de l'organisation.** Mobiliser l'organisation dans l'élaboration d'un plan de transformation détaillé comprenant des initiatives ascendantes que les directeurs opérationnels doivent s'approprier de manière pleine et entière.
- **S'appuyer sur des méthodes agiles pour mettre en œuvre la transformation.** Conduire la transformation sous forme de "sprints" (processus de mise en œuvre rapide, itérative et incrémentale) tout en alimentant continuellement la liste des tâches à exécuter, lancer un effort à grande échelle pour générer de la valeur visible en termes de résultats, et enfin généraliser et institutionnaliser les nouvelles méthodes de travail agiles.

Figure 8

Les transformations digitales complètes prennent en général deux à trois ans entre la base de référence initiale et la matérialisation de l'impact sur le compte de résultat



Opérations (Fabrication)

1.1 Identification et priorisation des cas d'usage	Etablir une liste exhaustive des cas d'usage	Mettre en place des cas d'usage phares pour établir des plans d'action de référence
	Répertorier, qualifier et prioriser les cas d'usage	
1.2 Déploiement et mise en service dans les usines	Mener un déploiement axé sur la valeur	
	Initier la collecte et l'agrégation des données	
	Définir les processus et les stratégies de collaboration nécessaires à chaque déploiement	

Organisation

2.1 Création de valeur : conduite du changement et gestion de la performance	Définir une feuille de route générale	Mettre en œuvre une gestion cohérente des écarts par rapport aux valeurs cibles
	Mettre en place une organisation pour la création de valeur	
2.2 Développement des compétences et nouvelles méthodes de travail	Identifier et combler les écarts en termes de compétences	
	Etablir les changements structurels à apporter à l'organisation et mettre en œuvre de nouvelles méthodes de travail	
	Gérer les changements de rôle et faire évoluer la culture d'entreprise et les états d'esprit à tous les niveaux hiérarchiques	

Technologie

3.1 IIoT et infrastructure de données : conception de la plateforme centrale (incluant la cybersécurité TI-TO)	Evaluer intégralement la configuration existante de l'usine, tant pour la TO que pour la TI	Créer l'architecture cible nécessaire à la mise en œuvre des cas d'usage
	Sélectionner un partenaire plutôt qu'un fournisseur, pour faciliter la mise en œuvre de la plateforme	
	Gérer efficacement les défis de cybersécurité liés à la convergence TI-TO	
3.2 Plateforme IIoT : l'impératif du cloud dans l'industrie manufacturière	Rendre le cloud rentable court terme	Gérer étroitement la transformation par le cloud
	Mettre en place une équipe "Infrastructure" capable de fonctionner à la manière d'une équipe de développement d'applications	
3.3 Ecosystème technologique	Comprendre les principales composantes d'un écosystème durable	Sélectionner les bons partenaires afin de parvenir à la mise en place d'un écosystème optimisé par la plateforme
	Mettre sur pied des équipes agiles centrées sur le développement commercial, capables de gérer la complexité de l'écosystème	

Source : analyse McKinsey

Afin de fournir des éclairages pragmatiques, nous avons détaillé les sept catalyseurs associés aux domaines des opérations, de l'organisation et de la technologie.

Du point de vue de l'entreprise, l'identification des cas d'usage par une approche descendante, ainsi que l'établissement d'une feuille de route pour le déploiement au sein de l'usine sont des étapes essentielles pour définir les objectifs et la voie à suivre.

Une fois les cas d'usage applicables identifiés, il est nécessaire de déterminer une feuille de route pour leur mise en œuvre, incorporant notamment le déploiement au sein des usines. La création associée – qui dépend fortement des méthodes de travail et des compétences nouvellement introduites – fait partie du pilier organisationnel de la plateforme IIoT. La dimension technologique comprend la conception de la plateforme IIoT, ce qui implique de faire un usage intensif de l'offre technologique existante sur toute la pile technologique IIoT, ainsi que la gestion de la transformation par le cloud. Un concept d'écosystèmes est alors créé en mettant l'accent sur les opérations et la gestion du cycle de vie du système IIoT dans son ensemble.

Pour différentes raisons, la tentation peut être grande de privilégier certains catalyseurs. Dans la pratique, cependant, l'objectif primordial doit consister à réaliser une transformation digitale globale et holistique. Les effets en seront nettement plus importants et plus durables.



1. Opérations (Fabrication)

1.1 Identification et priorisation des cas d'usage

Le processus d'identification et de priorisation des cas d'usage (pour une définition complète de ce terme clé, voir l'encadré intitulé "Définition d'un cas d'usage") comprend trois étapes. Il est itératif en ce sens que, si de nouvelles informations apparaissent lors d'une étape donnée, les étapes précédentes devront être revues et les modifications nécessaires devront être apportées, par exemple via l'ajout de nouveaux cas d'usage ou la révision des priorités entre les cas d'usage existants.

Définition d'un cas d'usage

Un cas d'usage digital et analytique de l'IIoT a pour visée de résoudre un problème pour l'utilisateur ou d'augmenter la productivité, le rendement et la praticité, essentiellement à l'aide d'un logiciel dédié. Le cas d'usage se différencie d'une mesure ou d'une activité de type "amélioration continue" de par les caractéristiques suivantes :

- Sa taille est significative
- Il est mesurable en termes d'impact
- Il nécessite un investissement et un effort distinct
- Il implique une prise de décision avant toute poursuite du processus ou affectation de ressources

▶ Etape 1 – Etablir une liste exhaustive des cas d'usage en combinant des approches descendantes et ascendantes

Il est nécessaire d'établir une liste complète et qualifiée des cas d'usage en suivant une approche à la fois descendante et ascendante.

Approche descendante / entrante. Les bibliothèques de cas d'usage contiennent des études de cas et des exemples de bonnes pratiques tirées de secteurs ou de fonctions internes identiques ou similaires au secteur ou à la fonction considéré⁷. L'approche descendante consiste à sélectionner dans ces bibliothèques un certain nombre de cas d'usage potentiellement adaptés, en guise de point de départ. A l'issue d'un processus itératif d'évaluation et de sélection, les exemples de cas d'usage choisis seront directement mis en œuvre ou utilisés comme références.

Approche ascendante / sortante. Cette approche consiste en premier lieu à analyser les problèmes existant dans les processus actuels (physiques), comme les goulots d'étranglement, puis à mener des diagnostics et des consultations sur les comportements des utilisateurs afin d'identifier des opportunités d'amélioration. Ensuite, des sessions d'idéation peuvent être organisées en vue de résoudre ces problèmes. On peut ainsi définir les cas d'usage et créer des prototypes de solution. Enfin, les cas d'usage réussis seront documentés, codifiés puis ajoutés à la bibliothèque des cas d'usage en vue de leur reproduction.

Lorsque l'on suit l'approche ascendante, il est recommandé de toujours faire reposer les cas d'usage sur des KPIs opérationnels correspondant aux besoins réels de l'entreprise, afin de s'assurer que les problématiques importantes sont bien traitées. Si l'on souhaite concevoir des changements de long terme et plus radicaux que des changements incrémentiels, il est conseillé d'employer la méthode dite du "*clean sheet*", soit une analyse construite en partant d'une feuille blanche.

▶ Etape 2 – Répertoire, qualifier et prioriser les cas d'usage

L'impact sera généralement quantifié en termes de résultat financier attendu pour chaque cas d'usage, c'est-à-dire le montant exact des économies de coûts supplémentaires ou des bénéfices qui seront obtenus en réalisant le cas d'usage. Il sera ensuite possible d'établir les priorités entre les différents cas d'usage en fonction de leur facilité de mise en œuvre. Pour y parvenir, il est nécessaire d'estimer l'effort global à fournir, l'investissement financier à concéder pour la réalisation des cas d'usage considérés, ainsi que la complexité de ces cas d'usages. Enfin, il conviendra de représenter ces cas d'usage sur une matrice et de les regrouper en fonction de leur facilité de mise en œuvre et de leur impact financier (figure 9).

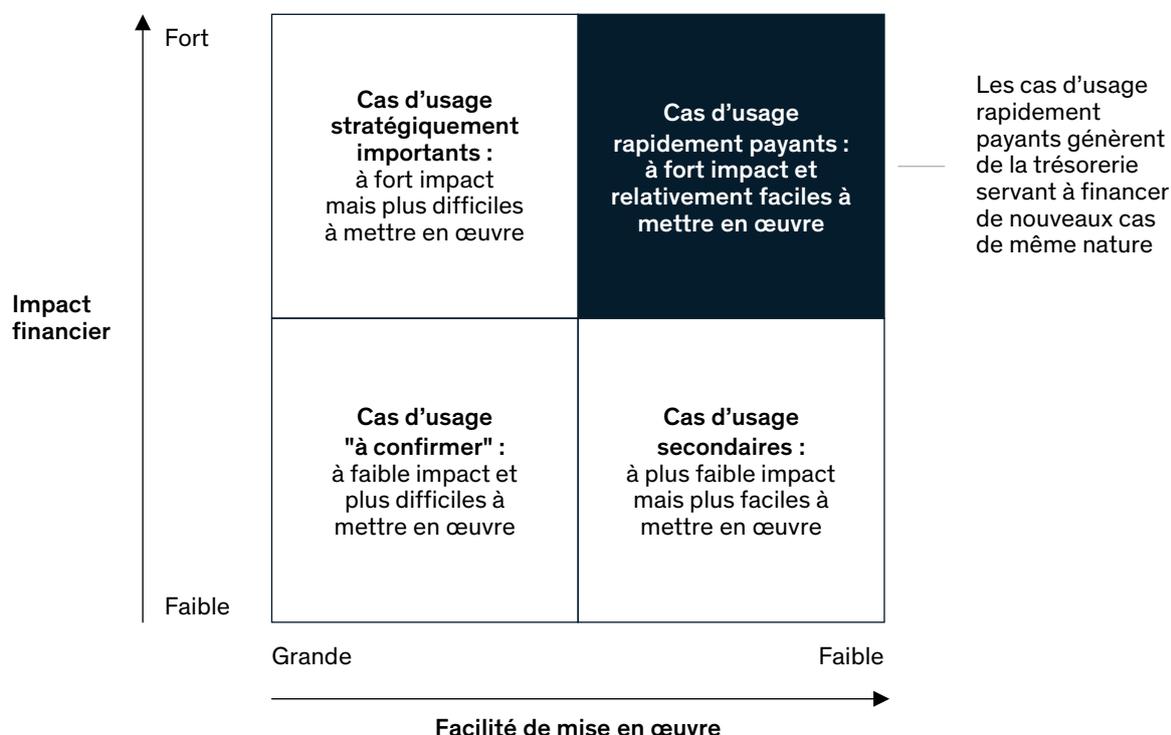
Cette cartographie devrait aider à déterminer l'intérêt relatif de chaque cas. Les cas d'usage relativement faciles à mettre en œuvre et à fort impact devront être étudiés prioritairement. A l'autre extrémité du spectre, on trouvera les cas d'usage difficiles à mettre en œuvre et qui n'auraient qu'un faible impact financier. Sans pour autant les rejeter ou les écarter, on classera ces cas d'usage dans la catégorie des cas "à confirmer". Etant donné la vitesse de progression de la technologie, et en fonction de l'évolution de la situation, il est possible que la mise en œuvre s'avère beaucoup plus facile dans deux ans et que le cas d'usage soit priorisé à ce moment-là.

Les cas d'usage qui sont plus difficiles à mettre en œuvre mais qui ont un impact financier élevé appartiennent à la catégorie des cas "stratégiquement importants". Les entreprises les plus promptes à trouver la solution pour ces cas précis tireront des avantages certains du fait d'être les premières à les mettre en place et amélioreront leur position concurrentielle. Les cas d'usage relativement faciles à mettre en œuvre mais à faible impact peuvent être réalisés, mais dans le cadre d'une action secondaire, après le déploiement des cas d'usage les plus générateurs d'impact.

⁷ La bibliothèque de cas d'usage digitaux de McKinsey, par exemple, comprend actuellement plus de 300 cas d'usage couvrant l'ensemble des secteurs.

Figure 9

Les cas d'usage doivent être priorisés en fonction de leur impact financier et de leur facilité de mise en œuvre



Source : analyse McKinsey

Une fois ce premier filtre de priorisation appliqué, des cas phares devraient se détacher parmi les cas d'usage prioritaires. Ceux-là constituent les meilleurs candidats pour un déploiement à l'échelle. Etant donné la nature technique de la plupart des cas, ce choix sera déterminé en appliquant des critères techniques tangibles, mais aussi une série de critères intangibles relevant de la culture et des connaissances internes. Un exemple de cette approche mixte est donné en figure 10.

► **Etape 3 – Mettre en place des cas d'usage phares pour établir des plans d'action de référence**

A ce stade, il convient d'évaluer les cas d'usage selon leur potentiel de reproduction dans l'ensemble du réseau d'usines. Certains resteront des cas ponctuels et isolés, tandis que d'autres seront reproductibles au moins une fois ou encore le seront un grand nombre de fois.

Dans cette perspective, il est pertinent d'initier le processus à l'aide d'un cas d'usage général phare : celui-ci servira à résoudre un problème précis lorsqu'il est rencontré pour la première fois. Dès le départ, l'équipe devra non seulement se focaliser sur la mise en œuvre technique, mais aussi consacrer du temps à la codification, à la formation, aux tutoriels et à d'autres dispositifs de soutien, afin de faciliter une mise à l'échelle et un lancement rapides dans les autres sites et usines concernés. Ce projet initial impliquera un coût supplémentaire en termes de temps et d'effort, mais il permettra en retour d'aboutir à l'adoption et à la reproduction rapides du cas d'usage sur d'autres sites et à d'autres situations rencontrées par l'ensemble du réseau d'usines.

Figure 10

L'évaluation des cas d'usage repose à la fois sur des critères tangibles et sur des critères intangibles

Lors de la première vague de mise en œuvre, l'évaluation des cas d'usage s'appuie sur des critères tangibles et intangibles

Illustratif

	Critères de sélection (à titre indicatif uniquement)	NON	OK	Bon	Idéal	Description des caractéristiques idéales
Oppor- tunités	Dimension de l'opportunité : quelle est l'ampleur de l'opportunité ?				✓	Impact financier substantiel (en cohérence avec la stratégie d'optimisation)
	Maturité des données : avons-nous assez de données brutes qui soient suffisamment détaillées ?			✓		Données directement disponibles et non fragmentées sur les variables clés de l'année précédente
	Etat des machines : faut-il prévoir des réparations, de la maintenance, ou des arrêts plus longs pour l'année à venir ?			✓		Pas de maintenance ni d'arrêts majeurs pendant le pilote
Culture	Expérience de l'innovation : avons-nous acquis de l'expérience dans le cadre de projets technologiques (ex. : logique floue, big data) et de transformation (ex. : maintenance) antérieurs ?			✓		Ingénieurs / opérateurs désireux d'apprendre, d'évoluer et d'innover Expérience acquise dans le cadre de projets digitaux / d'innovation antérieurs
	Capacité d'ingénierie : avons-nous une capacité disponible pour procéder à un essai d'analytique sur site ?			✓		Ingénieurs de production, responsables TI / TO / automatisation disponibles
	Facteur de "l'acteur phare" : dans quelle mesure notre réussite en tant qu'acteur phare sera-t-elle visible et impactante ?				✓	Usine considérée comme un "point de référence" pour l'entreprise (en termes de compétence technique, d'expérience, etc.)

Source : analyse McKinsey

1.2 Déploiement et mise en service dans les usines

A ce stade, les cas d'usage ont été identifiés, priorisés et classés en fonction de leur nombre de mises en œuvre potentielles au sein de l'ensemble du réseau d'usines. La phase suivante consiste à élaborer une feuille de route pour l'adoption des cas d'usage. Le processus se déroule suivant les trois étapes présentées plus bas et tient compte des critères suivants :

- Impact maximal, local et consolidé, en termes de profit en un minimum de temps
- Ressources et compétences disponibles et employées à recruter et à former
- Flux logique de la réalisation de l'impact, compte tenu des aspects juridiques et fiscaux ainsi que d'autres contraintes structurelles
- Pressions du marché et investissements possibles en matière de soutien et de technologie
- Rythme de déploiement de la technologie catalyseur (lacs de données, capteurs, plateformes IIoT, etc.)

La feuille de route sera probablement établie à deux à trois ans, et induira un travail plus intense au cours des 12 à 18 premiers mois. Elle définira le "quoi" (c'est-à-dire les cas d'usage qui seront réalisés), le "comment" (la façon dont ils seront réalisés) et le "qui" (qui sera responsable de leur mise en œuvre). Un plan directeur comportant des actions concrètes, des livrables, des délais et des étapes de réalisation permettra de suivre l'ensemble des mesures avec précision et de fournir des mises à jour régulières à des fins de suivi et d'ajustement.

► Etape 1 – Mener un déploiement axé sur la valeur et l'impact

Le déploiement des premiers cas d'usage constitue un investissement. C'est pourquoi il est important d'inclure le processus dans une démarche stratégique (comme l'illustre l'exemple de la figure 11 relatif au secteur automobile). Dans la plupart des cas, il est recommandé de déployer les cas d'usage en fonction de leur valeur / faisabilité. Pour cela, il est important de sélectionner en priorité les cas d'usage créant une valeur immédiate, en évitant ceux qui imposent de créer de nouvelles bases de données ou de réunir des conditions préalables exigeant un travail de fond. Bien que l'accent soit généralement mis sur les cas d'usage à haute valeur et faible effort, il existe des arguments solides en faveur des cas d'usage présentant peu ou pas de retour sur investissement. Par exemple, un cas d'usage peut ne pas entraîner de génération de valeur immédiate, mais permettre ultérieurement de créer d'autres cas d'usage le permettant. Ce choix doit être examiné dès le départ, et ses justifications clairement communiquées, afin que toutes les parties prenantes concernées aient conscience de l'investissement et de la valeur en jeu, même si la génération de cette valeur est retardée.

Les meilleures pratiques identifiées pour un déploiement réussi des cas d'usage sont les suivantes :

- **Travailler de façon agile.** Le déploiement doit s'effectuer suivant une méthode agile en définissant des vagues de déploiement et en les partageant avec les équipes. Il convient d'être flexible et d'ajuster les futures vagues si nécessaire, mais il est conseillé d'éviter d'apporter des ajustements en cours de vague, car cela entraînerait des perturbations inutiles et ralentirait le déploiement dans son ensemble.
- **Suivre des normes et permettre l'apprentissage.** Il peut être pertinent de déployer les cas d'usage dans les différentes usines avec un léger décalage dans le temps, que le réseau d'usines soit homogène ou hétérogène. Ainsi, les enseignements tirés d'un déploiement dans l'une de ces usines pourront être appliqués aux déploiements ultérieurs sur les autres sites. Il est dans ce cadre conseillé de mettre en place un processus stable de retour d'expérience pour alerter les équipes chargées du déploiement des difficultés à venir, et de s'assurer d'un dispositif d'échange du code d'exécution (sur site si nécessaire, et en utilisant de préférence le même back-end du cloud) pour tirer parti des connaissances acquises et éviter la duplication des efforts.

Figure 11

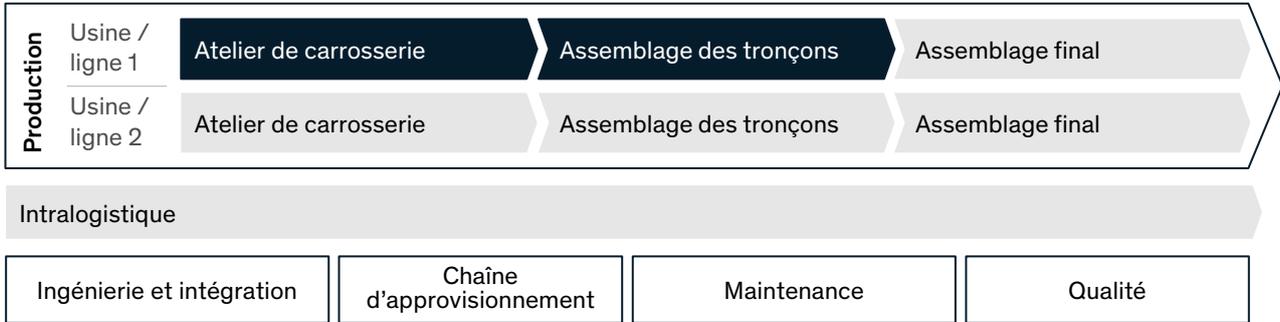
Pour obtenir un impact à grande échelle, il est nécessaire d'adopter une approche claire et progressive de déploiement en plusieurs vagues

Exemple tiré du secteur de l'automobile

■ Vérification du cas d'usage et évaluation de la valeur

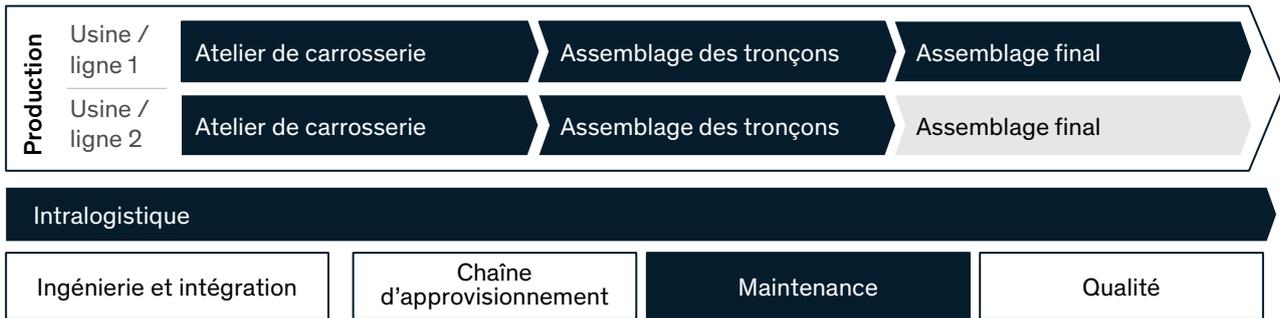
■ Mise en œuvre / déploiement

Vague 1 : Vérification du cas d'usage et mise en œuvre sélective d'un produit minimum viable



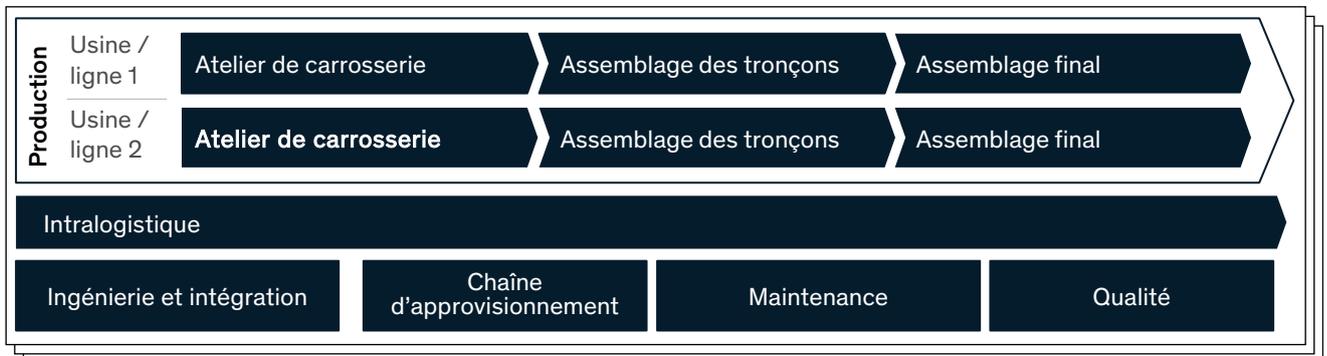
Mettre l'accent sur l'estimation de l'impact dans tous les principaux domaines de production et de logistique, ainsi que sur l'installation de produits minimum viables et de preuves de concept, pour les cas d'utilisation dans les domaines ciblés

Vague 2 : Poursuite du lancement des cas d'usage et introduction des fonctions indirectes



Lancer les initiatives prioritaires issues de la Vague 1 dans tous les secteurs de la production en ajoutant des applications choisies dans les secteurs de soutien

Vague 3 : Lancement dans l'ensemble de l'usine et du réseau étendu



Lancer les initiatives prioritaires issues de la Vague 2 dans tous les secteurs de chaque ligne de production incluse dans la transformation digitale

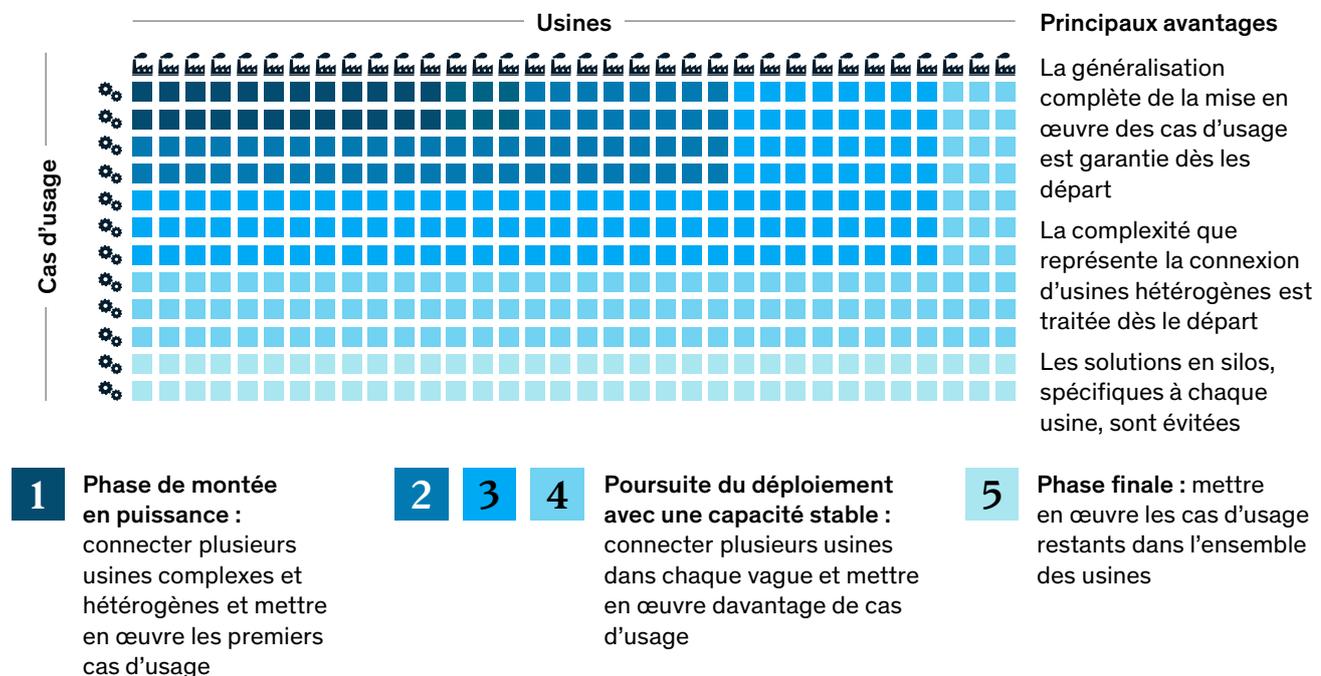
La figure 12 dessine une vue d'ensemble du déploiement d'un cas d'usage sur un grand nombre de sites de production. Ce déploiement spécifique a été réalisé pour une entreprise pouvant mettre en œuvre le même cas d'usage sur plusieurs sites en raison de la similitude de ses lignes de production et de ses produits.

Si le réseau d'usine est hétérogène (lignes, produits et secteurs industriels différents), il est recommandé d'établir un plan de lancement différencié au cas par cas, en gardant toujours à l'esprit la meilleure approche pour regrouper les efforts à fournir. En suivant une approche axée sur la valeur, il est facile d'identifier un premier groupe de sites – qui pourra toujours être affiné pendant le lancement – afin de démarrer rapidement la mise en œuvre.

La seule couche pouvant se révéler différente dans chaque usine est celle de la connectivité des machines en périphérie et de la collecte des données. Dans ce cas, sachant qu'il y aura des machines de différents types, intégrant des matériels différents (et fonctionnant suivant des protocoles différents), et de différents niveaux d'ancienneté, cette couche est la plus hétérogène et appelle des solutions spécifiques. S'il y a davantage de groupes à définir, le fait d'utiliser le même matériel / logiciel pour connecter des types de sources de données spécifiques (types de marques d'automates, etc.) contribuera néanmoins à faciliter la maintenance future car le nombre de systèmes différents sera ainsi le plus limité possible.

Figure 12

Amorcer le déploiement de quelques cas d'usage dans plusieurs usines



Source : analyse McKinsey

► **Etape 2 – Initier la collecte et l'agrégation des données, tout en menant les activités importantes en parallèle**

Il n'est pas nécessaire que tout soit finalisé avant d'initier le déploiement. En effet, avant même que les données ne soient connectées, la priorisation des cas d'usage fournira une vue d'ensemble des sources de données utiles à collecter et permettra d'identifier les données qui devraient être disponibles et pouvant être connectées. Sur la base de ces informations, il sera alors possible d'ajuster ou de définir l'architecture de la collecte de données en fonction du matériel TO et des sources de données.

Dans le même temps, cependant, le développement du noyau de la plateforme ne doit pas être négligé, et doit être amorcé simultanément au développement des cas d'usage. Les sources doivent être connectées le plus rapidement possible pour la collecte automatisée des données. Selon l'état d'avancement de la mise en œuvre de l'architecture cible, il sera éventuellement possible de déployer le cas d'usage sur un serveur situé sur site, sur la base de l'architecture définie. Cela implique l'utilisation des cadres qui seront finalement utilisés dans le back-end. La mise en œuvre de l'architecture finale, avec la priorisation des premiers cas d'usage, devrait ainsi être plus rapide, et la migration des premiers cas d'usage devrait être réalisable après quelques semaines seulement. Ultérieurement, chaque cas d'usage sera mis en œuvre dans l'architecture cible. Pour ce faire, chaque vague de cas d'usage devra être examinée et activée en étant connectée aux sources de données nécessaires identifiées lors des vagues précédentes.

Il faut ici rappeler néanmoins que de nombreux cas d'usage nécessitent un temps de préparation plus long, parce que certaines sources de données n'existent pas encore. Pour pallier ce manque, il peut être nécessaire d'ajouter des capteurs, de modifier la logique des automates, de mettre à jour les systèmes, etc.

► **Etape 3 – Définir les processus et les stratégies de collaboration nécessaires à chaque déploiement**

Il est primordial d'établir un processus normalisé afin de s'assurer que les équipes soient préparées, au sein des usines, lorsque le déploiement sera mis en œuvre. En effet, ce type de déploiement implique une transformation des méthodes de travail et de l'état d'esprit de l'organisation. Il est donc clé d'inclure une politique de conduite du changement au cœur de la démarche, une telle politique étant aussi importante que le déploiement en lui-même. Si les bénéficiaires du cas d'usage n'ont pas été clairement expliqués en interne, et si les collaborateurs n'adoptent pas la nouvelle application ou le nouveau système dans leurs usages quotidiens, ou encore s'ils les utilisent de manière incorrecte, la réussite du cas d'usage devient compromise.

L'équipe centrale chargée du déploiement de l'IoT doit être attentive aux besoins des différentes usines et veiller à ce que tout soit en place en amont du déploiement. Cela inclut d'être vigilant quant aux compétences et aux bases techniques exigées par le cas d'usage. L'équipe IoT centrale doit donc identifier les collaborateurs capables de gérer concrètement le déploiement sur le site. Elle doit également partager ses compétences en matière de résolution de problèmes, notamment lorsque des questions apparaissent en raison des spécificités inconnues du site. Il lui appartient aussi de suivre l'avancement du déploiement et les problèmes qui se présentent. Cela lui permettra d'avoir une vue complète des avantages et de l'état de la mise en œuvre, ainsi que des solutions proposées aux problèmes rencontrés afin d'en tirer les meilleures pratiques pour les prochains déploiements du même type. Une analyse plus approfondie des cas d'usage ne manquera pas de révéler le besoin en compétences n'existant pas encore au sein de l'organisation ou dans les usines concernées. A cet égard, l'intégration de nouveaux talents ou la formation des collaborateurs actuels doit être initiée le plus tôt possible, afin que les compétences requises soient en place au moment voulu.

La formation des collaborateurs doit, elle aussi, être initiée en amont du déploiement (voire simultanément) afin de leur permettre de prendre conscience des nouvelles opportunités, d'y adhérer et de tirer parti des cas d'usage. L'organisation de sessions de formation est indispensable. Il sera également primordial de prévoir des temps d'échanges dédiés pour répondre aux questions et préoccupations des équipes.

Le développement des compétences et le renforcement des capacités relèvent d'un effort continu car le déploiement des cas d'usage est, lui-même, sans fin. Investir dans ce sujet est donc incontournable pour toute organisation qui souhaite réussir sa conversion à l'Industrie 4.0.

Par ailleurs, impliquer dans le processus de développement les collaborateurs qui seront amenés à utiliser la nouvelle application ou le nouvel outil, et solliciter leurs remarques pourra en outre permettre le développement d'un outil qui réponde mieux à leurs besoins, mais aussi une meilleure adhésion au projet et, enfin, une utilisation renforcée de la nouvelle application ou du nouveau système. Il sera également important d'identifier les attentes et de définir les responsabilités des "propriétaires" des cas d'usage, car ceux-ci seront en charge des différentes itérations du processus et rendront compte de l'avancement des activités et de l'apparition de problèmes. Il est important que toutes les personnes impliquées dans la démarche communiquent clairement ensemble quant à l'état d'avancement et la progression du déploiement. Il est également essentiel d'établir un modèle de collaboration clair, où chaque flux de travail dépendra d'une personne bien identifiée, dont les responsabilités seront définies précisément. La conception d'un plan de communication efficace au sein de l'organisation entre les différentes usines, ainsi qu'entre l'organisation et ses partenaires devra être considérée comme une priorité. Les équipementiers industriels, les fournisseurs et intégrateurs de technologies ainsi que les spécialistes de domaines fonctionnels constituent des partenaires importants tout au long de la chaîne de valeur.

Au-delà de la feuille de route, le contexte de départ doit être lui aussi parfaitement compris, à la fois d'un point de vue technique (en particulier le paysage TI et TO, voir le chapitre 3.1) et d'un point de vue organisationnel.



2. Organisation

Bien qu'il puisse s'avérer tentant de sous-estimer ce levier "intangible", les entreprises doivent prendre conscience de la grande importance que revêt la dimension organisationnelle. Parvenir à surmonter les obstacles organisationnels est en effet l'une des conditions requises pour une maîtrise réussie des composantes technologiques de toute transformation digitale opérée dans le domaine de l'industrie manufacturière. C'est pourquoi nous nous concentrons dans cette partie sur deux catalyseurs majeurs de la création de valeur : la mise en place de nouvelles méthodes de travail et le développement des compétences associées.

2.1 Création de valeur : conduite du changement et gestion de la performance

Il est essentiel de générer de la valeur de ces cas d'usage pour piloter avec succès la transformation IIoT. Pour cela, l'entreprise doit définir des valeurs cibles précises qui jalonnent la feuille de route de la transformation, et mettre en place des outils de suivi et de reporting tout en gérant les écarts par rapport aux objectifs fixés. Le suivi holistique de la transformation est indispensable pour soutenir le déploiement et prioriser les cas d'usage à mettre en œuvre ultérieurement (planification de la vague suivante).

▶ **Etape 1 – Définir la feuille de route générale de la transformation IIoT et les valeurs cibles des cas d'usage**

Les principales pierres angulaires d'une approche structurée de création de valeur dans une transformation digitale sont les suivantes : la conception d'une feuille de route rigoureuse comportant les principaux jalons des projets et des cas d'usage, et la définition des valeurs cibles de ces cas d'usage au fur et à mesure du déploiement. Outre la valeur estimée de l'impact des cas d'usage, ces valeurs cibles devraient aussi s'accompagner de KPIs budgétaires et d'indicateurs d'avancement globaux tout au long du calendrier prévu. L'estimation de l'impact peut aussi favoriser l'établissement des priorités, l'achèvement de la mise en œuvre, et la planification du déploiement des cas d'usage.

▶ **Etape 2 – Mettre en place une organisation, un modèle et un mécanisme de création de valeur**

Pour capturer de la valeur dans le cadre d'une transformation digitale dans l'industrie manufacturière, il est recommandé d'établir une structure dédiée à la création de valeur. Celle-ci pourra agir en tant que cellule centrale responsable de la coordination du reporting et de la communication sur l'état d'avancement global de la transformation, et chargée de transmettre ses messages au comité de direction et aux parties prenantes. Pour pouvoir suivre l'impact de la mise en œuvre des cas d'usage sur les valeurs cibles définies, il est nécessaire de mener un travail de suivi et de reporting (idéalement automatisé). Pour éviter les conflits entre les différentes versions et pour permettre la rapidité dans la mise à jour des données, il est indispensable de disposer d'une base de données centrale en tant que source unique et de confiance. Les rapports et chiffres communiqués devront être adaptés aux différents niveaux hiérarchiques impliqués dans le pilotage du programme.

Au-delà du simple travail de reporting, le bureau chargé de la création de valeur aura également pour mission de surveiller l'atteinte des valeurs cibles et d'intervenir si la création de valeur n'est pas à la hauteur des objectifs fixés. Le bureau pourra à cet effet déployer et piloter des groupes d'intervention (par exemple à partir d'un panel central d'experts) pour accompagner la mise en œuvre des cas d'usage (par exemple dans les usines).

▶ **Etape 3 – Mettre en œuvre une gestion cohérente des écarts par rapport aux valeurs cibles**

Le bureau responsable de piloter la création de valeur doit prendre l'initiative de mettre en œuvre une gestion efficace des écarts. Cette mission consiste à :

- a) Identifier les écarts par rapport au plan de mise en œuvre et en rechercher les causes sous-jacentes, ce qui inclut les difficultés générales et les goulots d'étranglement observés dans l'ensemble du programme au-delà des cas d'utilisation individuels.
- b) Définir des mesures de réduction des écarts, afin de remettre le développement et la mise en œuvre des cas d'usage sur la bonne voie.
- c) Aider les responsables de projet à mettre en place les mesures en découlant, par exemple en déployant des groupes d'intervention dédiés.

2.2 Développement des compétences et nouvelles méthodes de travail

Dans l'industrie manufacturière, la transformation digitale s'accompagne de changements organisationnels massifs. Cela implique de modifier les structures organisationnelles, de redéfinir les partenaires et les types de collaboration souhaités, ainsi que de réévaluer les profils et les rôles nécessaires à la transformation. Il faut par conséquent impulser de nouvelles méthodes de travail et construire un nouveau socle de compétences commun permettant de mettre en œuvre les cas d'usage digitaux et liés à l'IloT et de les déployer à grande échelle. Les actions présentées ci-après sont cruciales pour une transformation réussie. Nous les avons définies comme des "étapes", mais la question de savoir si elles doivent être mises en œuvre de façon séquentielle ou simultanée dépendra des spécificités de l'organisation et du contexte de départ.

► Etape 1 – Etablir les changements structurels à apporter à l'organisation et mettre en œuvre la gouvernance ainsi que les nouvelles méthodes de travail associées

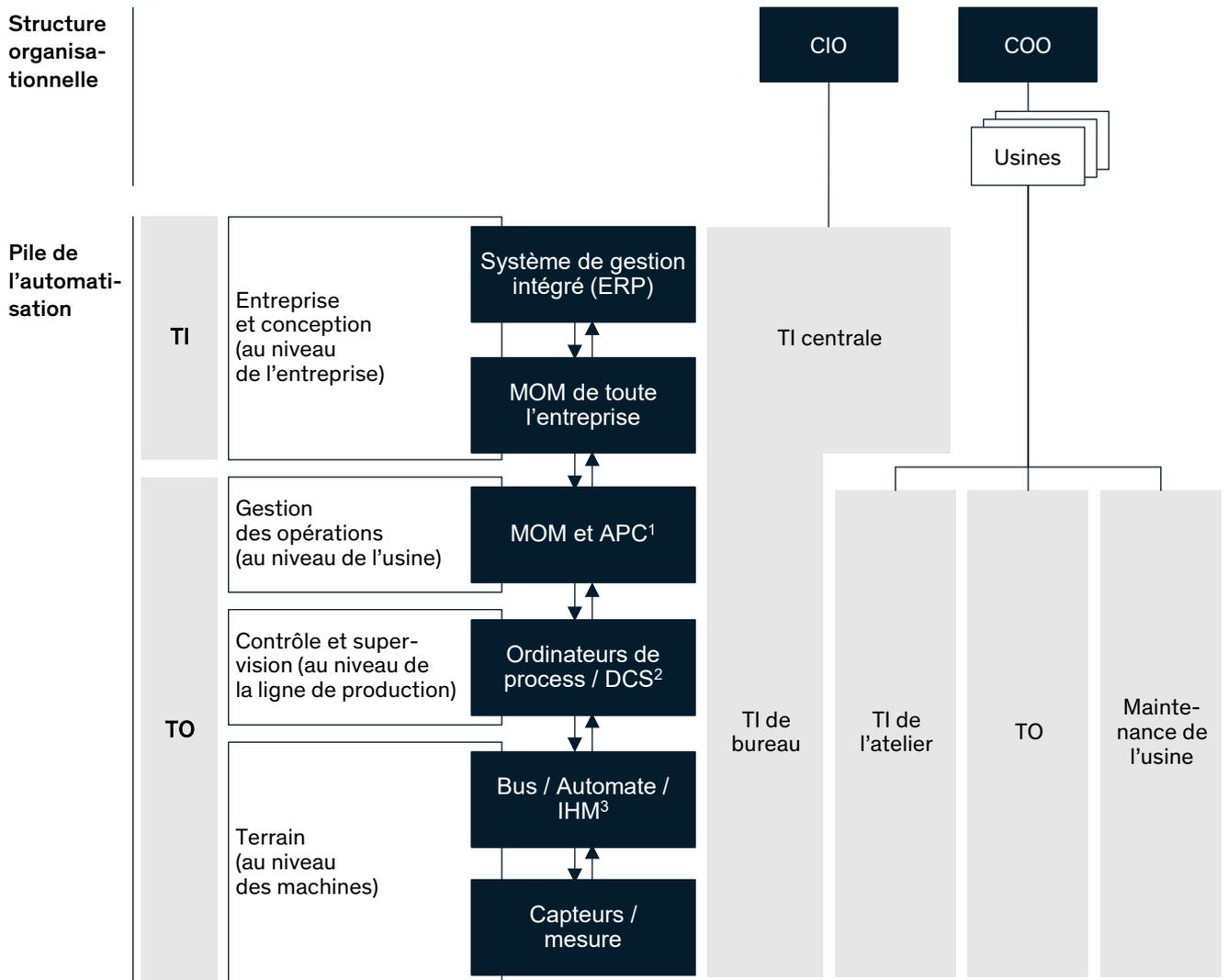
La conduite d'une transformation digitale holistique dans l'industrie manufacturière implique plusieurs fonctions et entités (organisation de l'usine, TI, TO et entités de production centrales, par exemple), ce qui nécessite la mise en place de nouvelles interfaces fonctionnelles et l'établissement de modes de collaboration transverses, en supprimant les silos existants. Lorsqu'elles cherchent à faire converger les fonctions TI et TO, les entreprises se heurtent généralement à plusieurs difficultés (figure 13) :

- Complexité de la prise de décision, puisque les responsabilités sont souvent dispersées entre TI et TO, en particulier en ce qui concerne la cybersécurité
- Absence d'organes et de structures de gouvernance communs permettant d'aligner les intérêts et les besoins des deux fonctions
- Lenteur de l'adoption des nouvelles technologies – telles que le cloud, l'intégration continue et l'exécution continue – dans les environnements TO
- Gestion et exécution conjointes limitées des stratégies et des projets inter-technologiques (TI et TO)
- Manque de standardisation et d'harmonisation des processus entre les usines
- Doublons et chevauchements importants dans les processus entre TI et TO
- Manque de compétences interdisciplinaires répondant aux besoins à la fois TI et TO

En outre, l'intégration de nouveaux partenaires externes, dont les organisations et les méthodes de travail sont différentes, impose de revoir l'organisation actuelle au sein de l'entreprise. Pour coordonner le développement des cas d'usage dans les usines, une équipe centrale d'experts aux compétences transverses couvrant à la fois les besoins TI et TO peut, en collaboration avec le service TI, faciliter les efforts de développement, apporter une expertise technique, et aider au déploiement technique, par exemple de la technologie IloT dans le cloud sous la forme d'une plateforme IloT. Cette équipe fixera les normes et communiquera aux équipes sur le terrain les meilleures pratiques identifiées et tiendra compte des exigences des usines pour soutenir le déploiement d'une plateforme IloT et des cas d'usage (figure 14). Cette équipe centrale peut aussi être sollicitée par le bureau pilotant la création de valeur pour déployer des groupes d'intervention en cas de retard dans la mise en œuvre.

Figure 13

Les technologies TI et TO sont généralement gérées par des fonctions différentes, ce qui peut ralentir la mise en œuvre et l'adoption de l'IIoT



Observations

Les technologies TI et TO sont souvent gérées de façon indépendante et sont traitées comme des technologies isolées, car la plupart des entreprises n'ont pas prévu la nécessité de les faire converger.

La TI est gérée par le DSI (CIO), mais les systèmes TO sont gérés par le COO ou par le directeur de la BU.

Par conséquent, la mise en œuvre de la TI et de la TO répond à des problèmes différents et emploie des architectures et des protocoles différents.

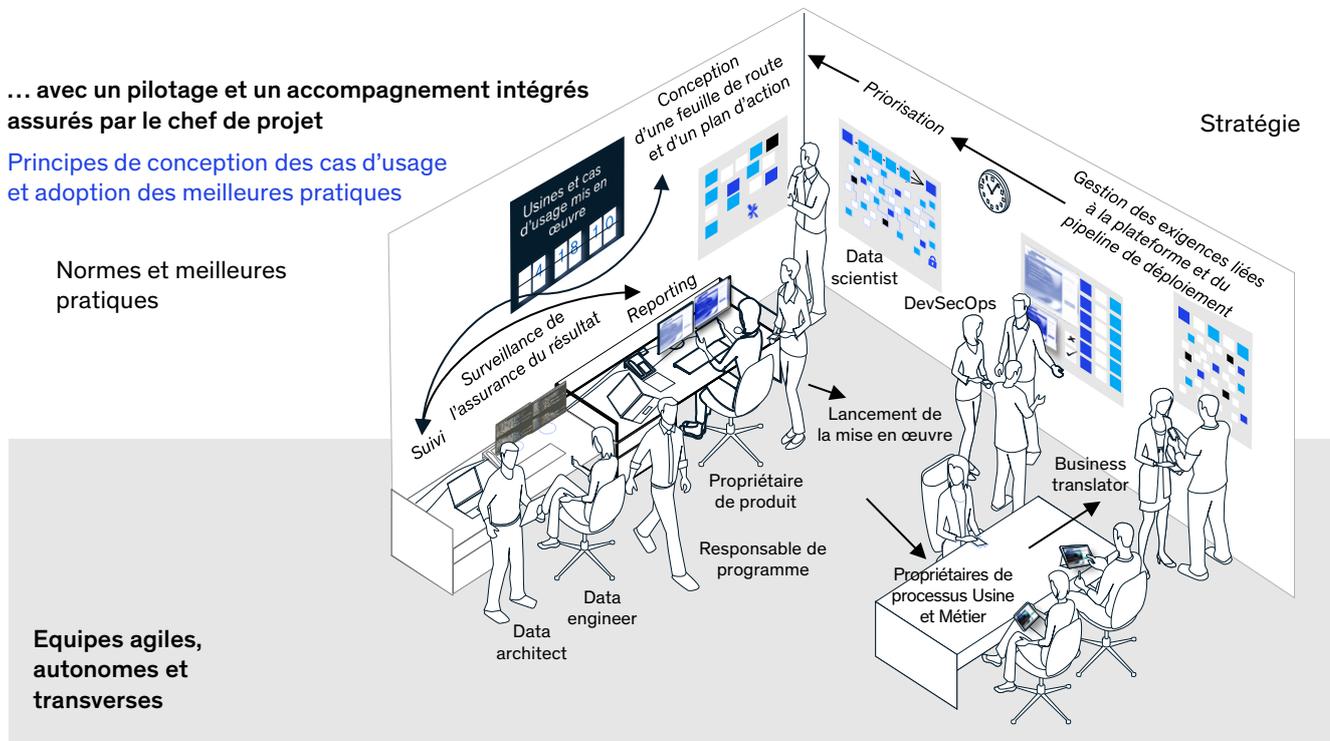
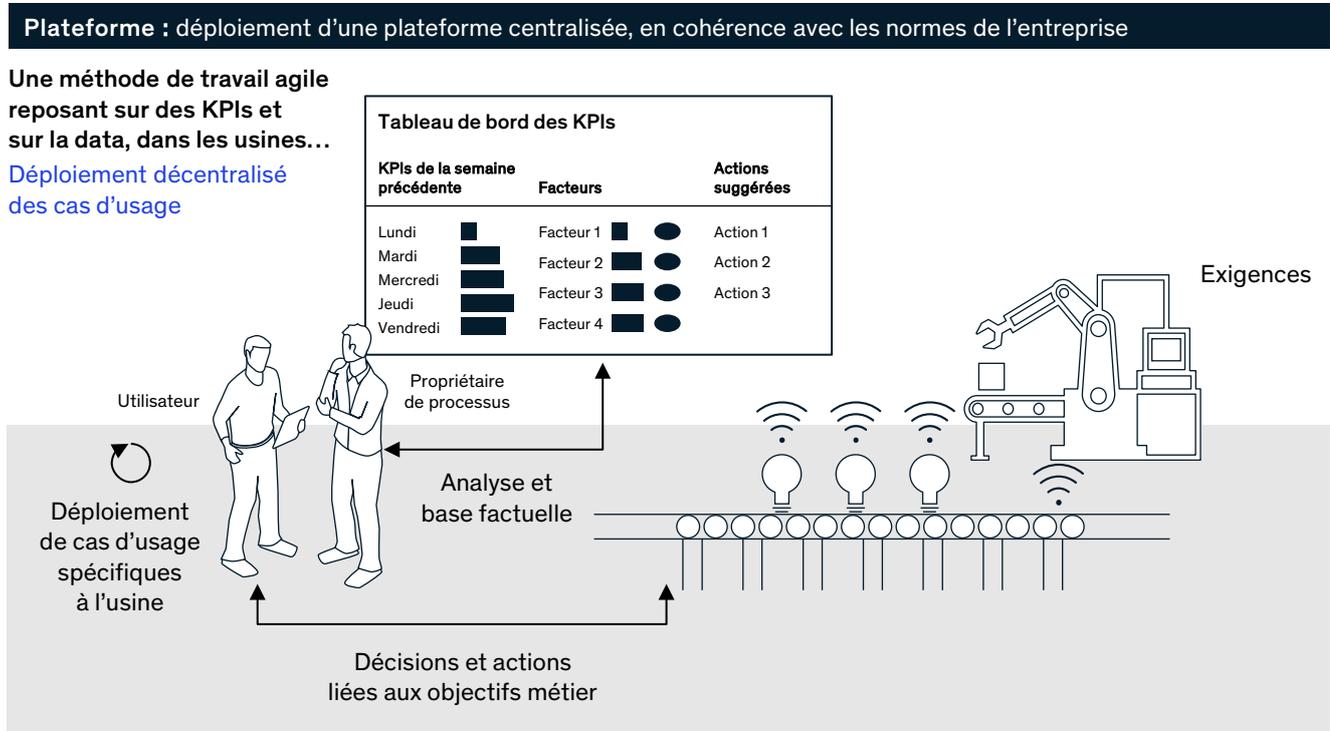
Résultat : la mise en place est inefficace et coûteuse et apporte peu d'innovation et de standardisation.

1. Maîtrise de procédé avancée (*Advanced Process Control*)
2. Système numérique de contrôle-commande (*Distributed Control System*)
3. Interface Homme-Machine

Source : analyse McKinsey

Figure 14

La technologie de production digitale implique de nouvelles méthodes de travail dans lesquelles un chef de projet central pilotera et accompagnera le déploiement des plateformes et des cas d'usage dans l'ensemble des usines



Source : analyse McKinsey

S'il n'existe certainement pas d'approche standardisée pour la mise en place d'une organisation TI-TO convergente, les conclusions du présent rapport ainsi que ce que nous avons pu observer chez les acteurs les plus performants ayant adopté ce type d'organisation, nous permettent d'identifier plusieurs conditions pour réussir la convergence entre TI et TO :

— **Un modèle de gouvernance commun**

- Etablir des organes de gouvernance centraux intégrant une expertise à la fois TI et TO, afin de définir des principes directeurs à suivre pour la TI et la TO
- Définir un modèle d'architecture TI-TO commun fondé sur les normes du secteur

— **Harmonisation des processus**

- Harmoniser les processus pour éviter que ceux-ci ne se chevauchent entre TI et TO, en suivant les grands principes directeurs définis et en établissant un modèle organisationnel intégré
- Normaliser les processus dans l'ensemble des usines pour renforcer la gestion de la qualité

— **Des KPIs communs**

- Mettre en œuvre un ensemble commun de KPIs (mesurant les processus de mise en œuvre et la création de valeur), à la fois pour la TI et la TO, afin d'encourager la convergence TI-TO
- Assurer une mise en œuvre rapide et continue des nouveaux produits ainsi que des nouvelles technologies et caractéristiques dans les processus de fabrication, afin de réduire les coûts et les délais de commercialisation

— **Gestion centralisée des données et de la sécurité**

- Formaliser des politiques de gouvernance et de sécurité pour la TO
- Etablir les responsabilités concernant la sécurité TO et TI
- S'appuyer sur une approche intégrée de la gestion de la sécurité et des incidents pour l'ensemble de la TI et de la TO, de manière à faciliter le renforcement des mesures de sécurité contre les menaces extérieures et à favoriser une gouvernance centrale de la sécurité pour tous les niveaux de la chaîne de valeur

— **Transformation des compétences**

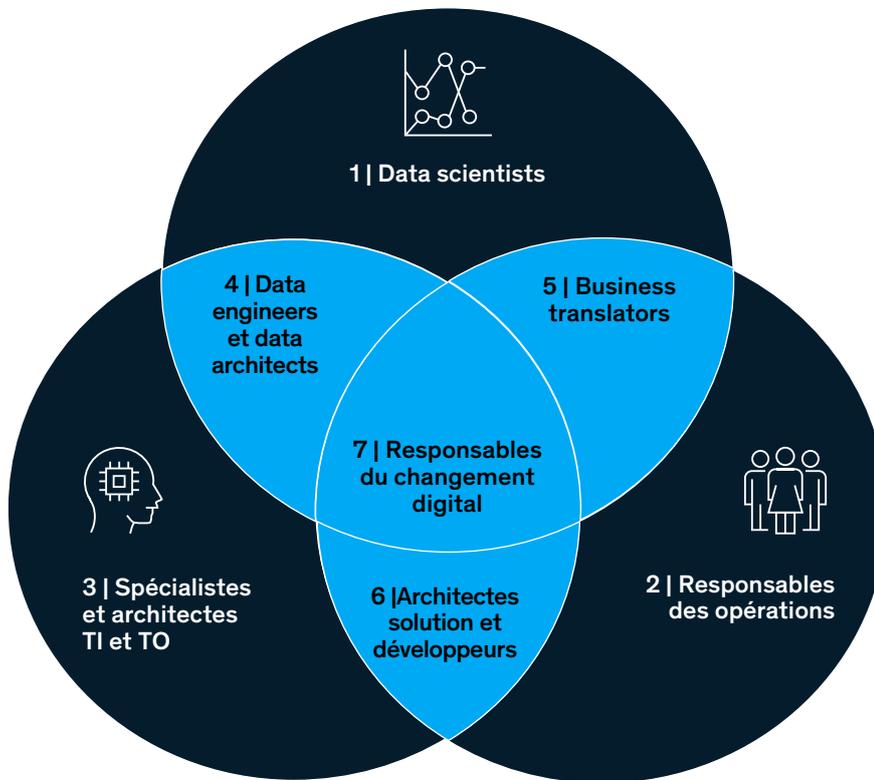
- Définir les rôles et compétences nécessaires au soutien du modèle opérationnel intégré et à la gouvernance de ce fonctionnement
- Définir la méthode de requalification des ressources existantes et établir le plan de recrutement à long terme associé

► **Etape 2 – Identifier et combler les écarts en termes de compétences**

Pour capturer la valeur de la transformation digitale dans l'industrie manufacturière de manière durable, il est crucial que les collaborateurs, en particulier dans les usines, embrassent désormais des compétences en matière d'IIoT et de digital. Cela implique de définir le plus tôt possible les rôles et les compétences nécessaires au bon fonctionnement de la future organisation. Ces compétences devront en effet être déjà en place au moment du développement, du déploiement et de l'exploitation des cas d'usage digitaux. Les *data scientists*, les experts TI et TO ainsi que les responsables opérationnels devront travailler main dans la main, aux côtés des collaborateurs qui endosseront les nouveaux rôles dont l'entreprise aura besoin (figure 15).

Figure 15

En matière de compétences, un nouveau paradigme émerge et fait l'interface entre les fonctions traditionnelles



Description des rôles

- 1** Créent des structures de données adaptées et appliquent des modèles analytiques permettant d'éclairer la situation actuelle et d'anticiper les événements futurs
- 2** Apportent des informations sur les opérations en tant qu'utilisateurs fonctionnels, pour développer et gérer eux-mêmes ultérieurement les cas d'usage
- 3** Gèrent les aspects techniques des projets d'automatisation ainsi que le paysage technologique
- 4** Gèrent l'infrastructure de données en s'assurant de la robustesse des pipelines, nettoient et structurent les données
- 5** Identifient les opportunités du digital et facilitent l'interface entre les opérations et les *data scientists*
- 6** Développent l'architecture de la solution et l'interface utilisateur
- 7** Coordonnent les ressources et les exigences de manière à garantir le résultat opérationnel attendu

Source : analyse McKinsey

Les *data engineers*, les *business translators* (qui font l'interface entre les équipes techniques et opérationnelles) et les *architectes solution*, qui n'existent généralement pas au sein des entreprises manufacturières non digitalisées, ne sont que quelques exemples de ces nouveaux rôles (figure 16). Parallèlement au recrutement externe, le vivier de collaborateurs existant au sein de l'entreprise constituera une formidable source de nouvelles compétences, grâce à la réaffectation des ressources, à la formation ou à la requalification des effectifs existants. Une grande partie des rôles de demain résulteront d'une évolution des compétences déjà présentes au sein de l'organisation. Par exemple, les changements de processus fondés sur les cas d'usage seront mis en œuvre par les ingénieurs de processus. De même, la connectivité et la mise à niveau de la TO s'ajouteront aux compétences requises de la part des techniciens de maintenance ou d'automatisation.

La figure 16 présente des exemples de synergies entre les rôles actuels et les nouveaux rôles. Elle montre qu'il est indispensable de prévoir une formation ciblée pour les collaborateurs des différentes divisions. Cela implique de tenir compte des niveaux et des connaissances de chacun. Le fait de prévoir un volet initial de "montée en puissance" en matière de formation permettrait néanmoins à tous les collaborateurs concernés d'acquérir, dans un premier temps, un socle de connaissances minimum avant d'amorcer un apprentissage plus ciblé.

► Etape 3 – Gérer les changements de rôle et faire évoluer la culture d'entreprise ainsi que les états d'esprit à tous les niveaux hiérarchiques

Faire évoluer les collaborateurs pour leur faire acquérir le nouveau socle de compétences requises nécessite d'adopter la plus grande vigilance sur la transition d'un rôle à un autre. Ce processus implique en effet d'identifier toutes les compétences nécessaires à acquérir et de concevoir des parcours de développement tenant compte de la transition entre les "anciens" et les "nouveaux" rôles.

Les parcours de développement doivent ainsi être définis en profondeur et être parfaitement transparents pour l'ensemble des collaborateurs. En outre, l'apport de perspectives claires sur le développement personnel et professionnel de chacun ainsi que sur les exigences à venir contribuera à susciter la confiance et l'adhésion vis-à-vis des nouvelles technologies.

Pour que l'ensemble des effectifs parvienne à exploiter pleinement le potentiel de l'IoT, il est nécessaire de développer un processus de conduite du changement et d'intégration des nouvelles compétences.

Les entreprises manufacturières qui s'engagent dans la transformation digitale doivent impérativement intégrer le fait que la transformation des compétences ne peut pas être "accessoire". Elle concerne en effet l'ensemble de l'organisation, jusqu'à 90 % des effectifs (en particulier dans les usines) pouvant être concernés par la formation, la requalification ou le recrutement de talents externes (figure 17).

Le développement de compétences adéquates et la préparation des effectifs pour l'avenir constituent des facteurs de réussite essentiels pour générer des bénéfices durables. Pour les grandes entreprises en particulier, la qualité de la conception et de l'exécution de la transition des compétences sera essentielle à la bonne santé de l'organisation. Celle-ci recouvre différents champs, tels que la motivation et la satisfaction des collaborateurs ou encore la préservation des savoir-faire et des compétences. L'impact sur les résultats et la santé de l'entreprise sont tous deux essentiels à la réussite d'une transformation digitale dans l'industrie manufacturière.

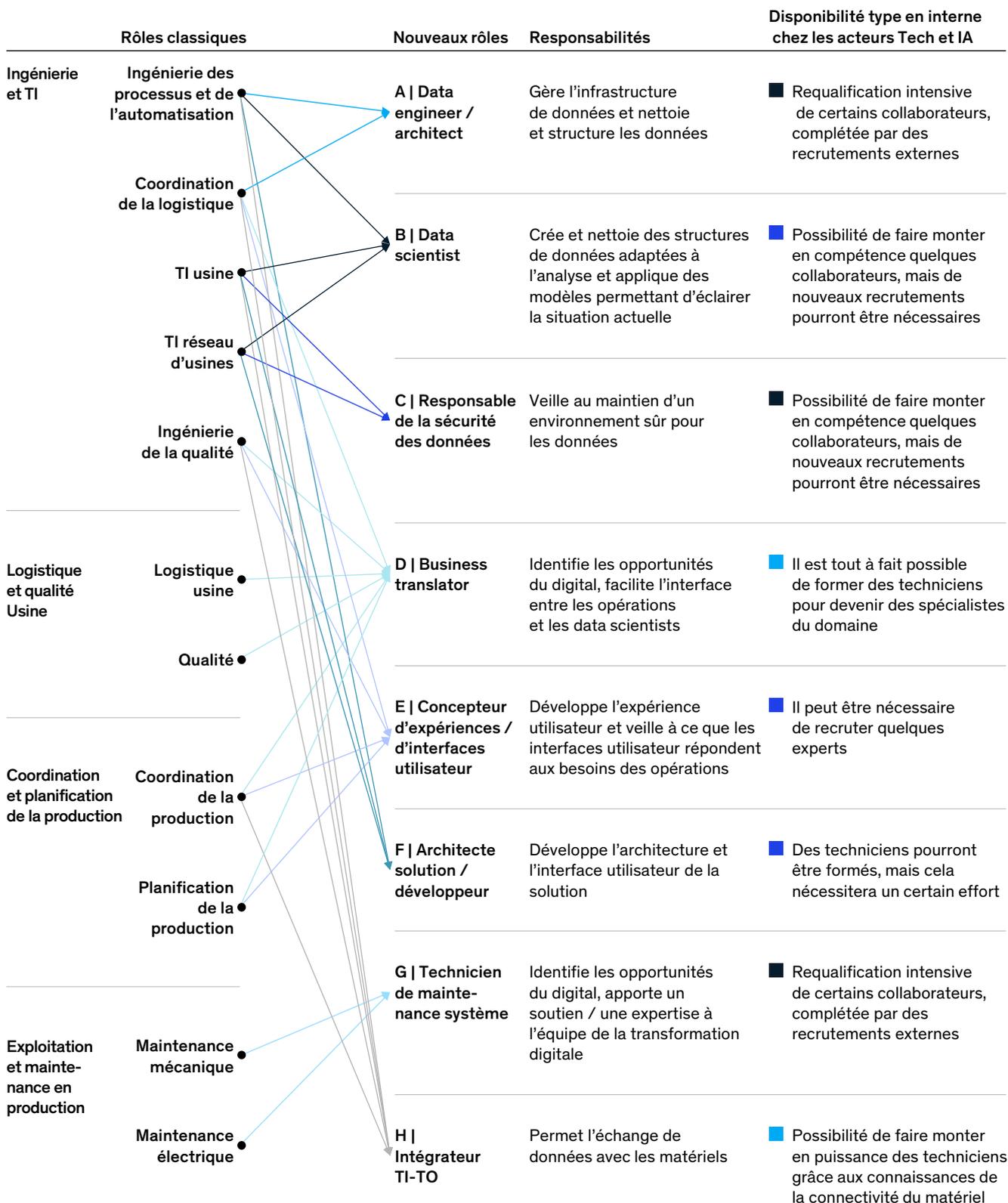
Figure 16

Une partie des nouveaux rôles peut être confiée aux collaborateurs existants, après requalification

Exemple

Possibilité de pourvoir les nouveaux rôles en puisant dans les ressources internes

Facile Médian Difficile



Source : analyse McKinsey

Figure 17

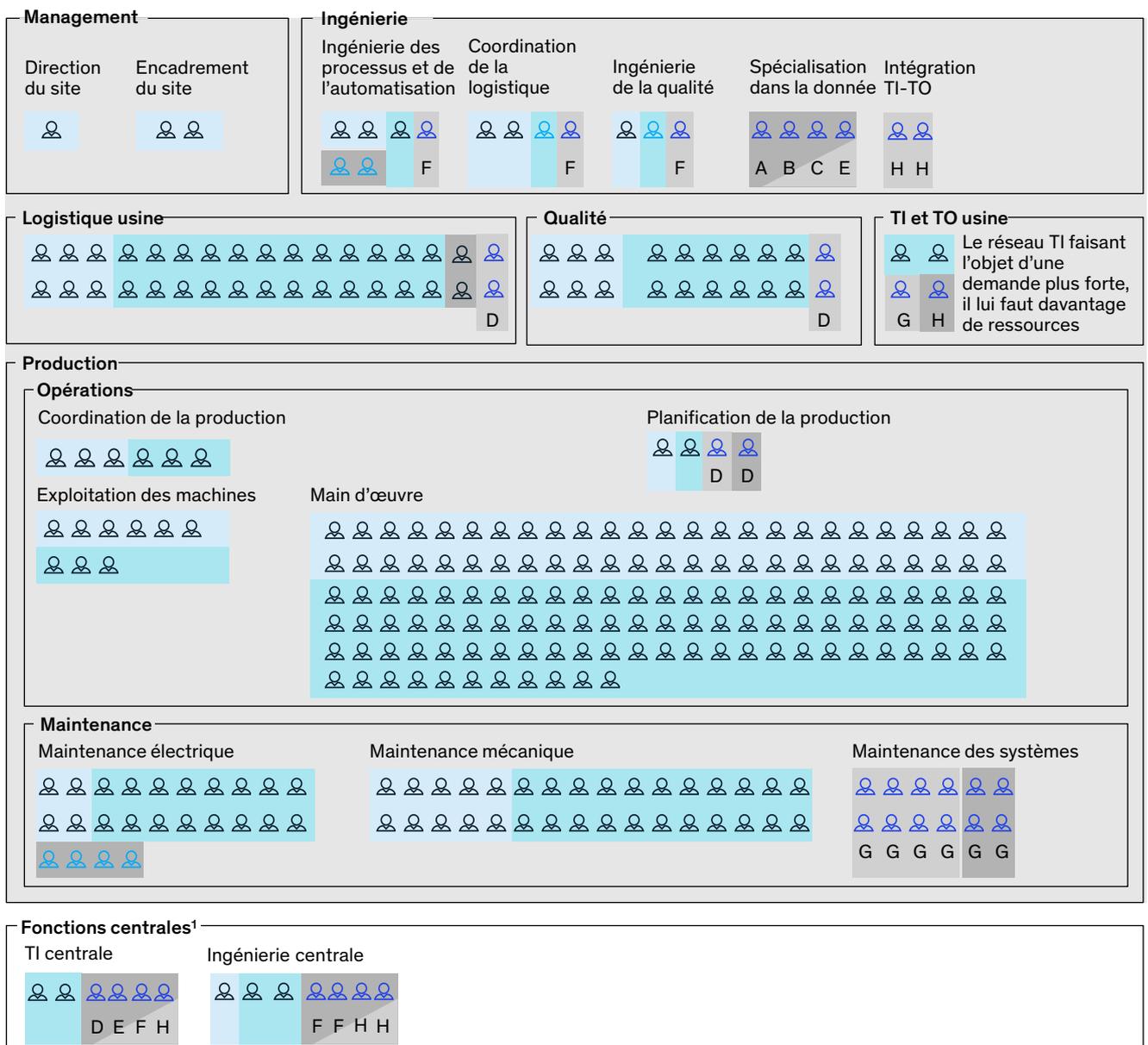
L'usine du futur peut acquérir ces nouvelles compétences à travers la formation, la requalification ou encore le recrutement

Exemple

10–25 %	50–65 %	10–15 %	15–20 %
Aucune action à engager Les compétences existent déjà, car les rôles ne font pas l'objet d'évolutions importantes – s'applique principalement pour les rôles liés au management et à la coordination	Formation Les compétences nécessaires aux nouvelles tâches associées aux rôles existants peuvent être développées en interne, à travers un parcours de formation de bout en bout – s'applique à tous les rôles de l'usine	Requalification Les compétences associées aux nouveaux rôles peuvent être développées en interne par l'identification et la requalification de la main d'œuvre interne – les nouveaux rôles associés aux fonctions TI, ingénierie et maintenance peuvent être pourvus en interne en suivant cette approche	Recrutement Les compétences ne peuvent pas être développées en interne via la formation et la requalification et doivent être trouvées à l'extérieur, via le recrutement – s'applique tout particulièrement pour les rôles liés au digital qui ont un lien important avec la TI

Situation cible

■ Usine 👤 Main d'œuvre existante 👤 Main d'œuvre supplémentaire 👤 Nouveaux rôles × Titre du rôle repris de la figure 16



1. Double rattachement des rôles des usines internes à la fonction TI centrale, afin d'éviter le développement isolé de solutions dans des BU séparées

Source : analyse McKinsey



3. Technologie

Une fois avoir mené l'analyse de la pile industrielle à développer et établi les cas d'usage correspondants, l'étape suivante relève de la technologie. Cette étape se compose de trois niveaux : l'infrastructure de données, l'intégration dans le cloud et l'écosystème.

3.1 IIoT et infrastructure de données : conception de la plateforme centrale (incluant la cybersécurité TI-TO)

La conception de la plateforme centrale repose principalement sur la création de la future architecture cible de la plateforme IIoT. Cette architecture cible doit couvrir les exigences techniques importantes relatives aux cas d'usage identifiés sur la base des flux de données recueillis dans la plateforme IIoT et tenir compte du contexte actuel (figures 18 et 19).

La conception de la plateforme de base nécessite en préalable de comprendre les avancées apportées par la technologie des plateformes IIoT à l'automatisation industrielle et à l'intégration TI-TO et d'initier le processus par des cas d'usage bien définis et hiérarchisés (figure 20).

La technologie des plateformes IIoT permet des avancées en matière d'automatisation industrielle et d'intégration TI-TO

Depuis des décennies, les acteurs industriels du monde entier investissent massivement dans le digital en vue de générer des économies de coûts, d'améliorer leur efficacité opérationnelle et, *in fine*, d'accroître leur rentabilité. Les professionnels des technologies de l'information ont ainsi posé les bases de ce que l'on nomme aujourd'hui "l'entreprise digitale" : une organisation se servant de la technologie comme d'un avantage concurrentiel dans ses opérations internes et externes. Cependant, alors que le numérique concernait auparavant essentiellement les services de back office (finance, comptabilité, RH ou productivité des bureaux), une entreprise entièrement digitale exploite désormais l'informatique et les appareils connectés aux endroits où elle crée concrètement de la valeur pour ses clients. Par exemple, pour les entreprises industrielles, il s'agira d'exploiter le digital dans la fabrication, la conception ou encore les services. C'est pourquoi, pour les industries extractives, l'industrie manufacturière et la logistique, le passage à l'entreprise digitale implique la TO⁸.

Les entreprises manufacturières ont de ce fait massivement investi dans la TO, notamment via l'acquisition de machines et de systèmes de plus en plus intelligents permettant d'automatiser les tâches relatives aux industries d'assemblage et de process. Des plateformes de contrôle de l'automatisation et de gestion générale de la TO ont ainsi été développées pour exploiter, surveiller et optimiser les performances de la TO et maximiser l'utilisation des équipements.

S'agissant de l'intégration TI-TO, les acteurs industriels ont été nombreux par le passé à mettre en œuvre des systèmes MOM (pour la gestion des opérations manufacturières). Ces systèmes fournissent des informations précises sur la production, souvent en temps quasi réel, telles que le taux de rendement synthétique, les coûts de production, les incidents de maintenance ou encore le niveau de qualité. Pendant un temps, les résultats obtenus ont été satisfaisants, les systèmes MOM conférant une meilleure visibilité et permettant de mieux gérer les opérations courantes, en programmant les ajustements adéquats.

Toutefois, avec la mondialisation et l'externalisation induisant un éclatement de la production et des chaînes d'approvisionnement à l'échelle mondiale, de nouvelles problématiques ont fait leur apparition. En effet, les systèmes MOM conçus pour les usines ne suffisent plus, les opérations et les KPIs devant désormais être alignés d'une ligne de production et d'une usine à l'autre.

⁸ Pour de plus amples informations sur la TO en général, et en particulier sur la terminologie et sur les standards d'intégration TI-TO (tels que l'ISA-95) de l'International Society of Automation, voir : "[ISA95, Enterprise-Control System Integration](#)", International Society of Automation, 2020.

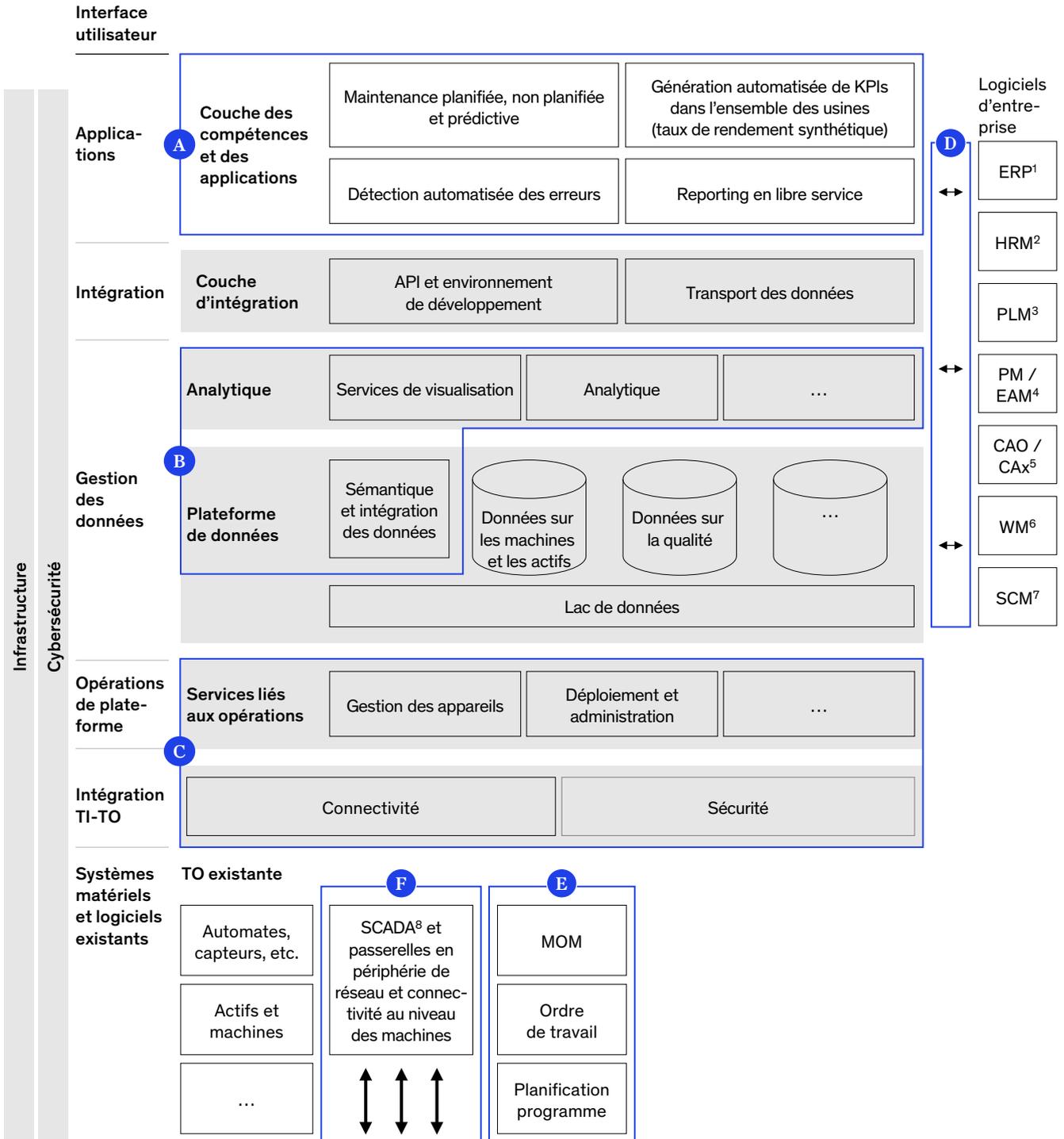
Figure 18

L'architecture cible d'une entreprise manufacturière intègre les systèmes ERP, MOM, PLM et IIoT dans une seule et même plateforme

Exemple : plateforme IIoT en production et logistique Illustratif

□ Fonctions clés et ajout de valeur de la plateforme IIoT

■ Éléments de la plateforme IIoT



1. Système de gestion intégré (*Enterprise Resource Planning*)
2. Gestion des ressources humaines (*Human Resources Management*)
3. Gestion du cycle de vie des produits (*Product Lifecycle Management*)
4. Maintenance usine / Gestion des actifs de l'entreprise (*Plant Maintenance / Enterprise Asset Management*)
5. Conception / technologie assistée par ordinateur (*Computer-aided design / technology*)
6. Gestion des entrepôts (*Warehouse Management*)

7. Management de la chaîne d'approvisionnement (*Supply Chain Management*)
8. Automate (*Programmable Logic Controller*)
9. Contrôle et acquisition de données (*Supervisory Control and Data Acquisition*)
10. Gestion des opérations de fabrication (*Manufacturing Operations Management*)

Source : analyse McKinsey

Figure 19

Plusieurs éléments clés doivent être détaillés et pris en compte dans l'architecture cible et dans la feuille de route associée

Fonction clé (reprise de la figure 18)



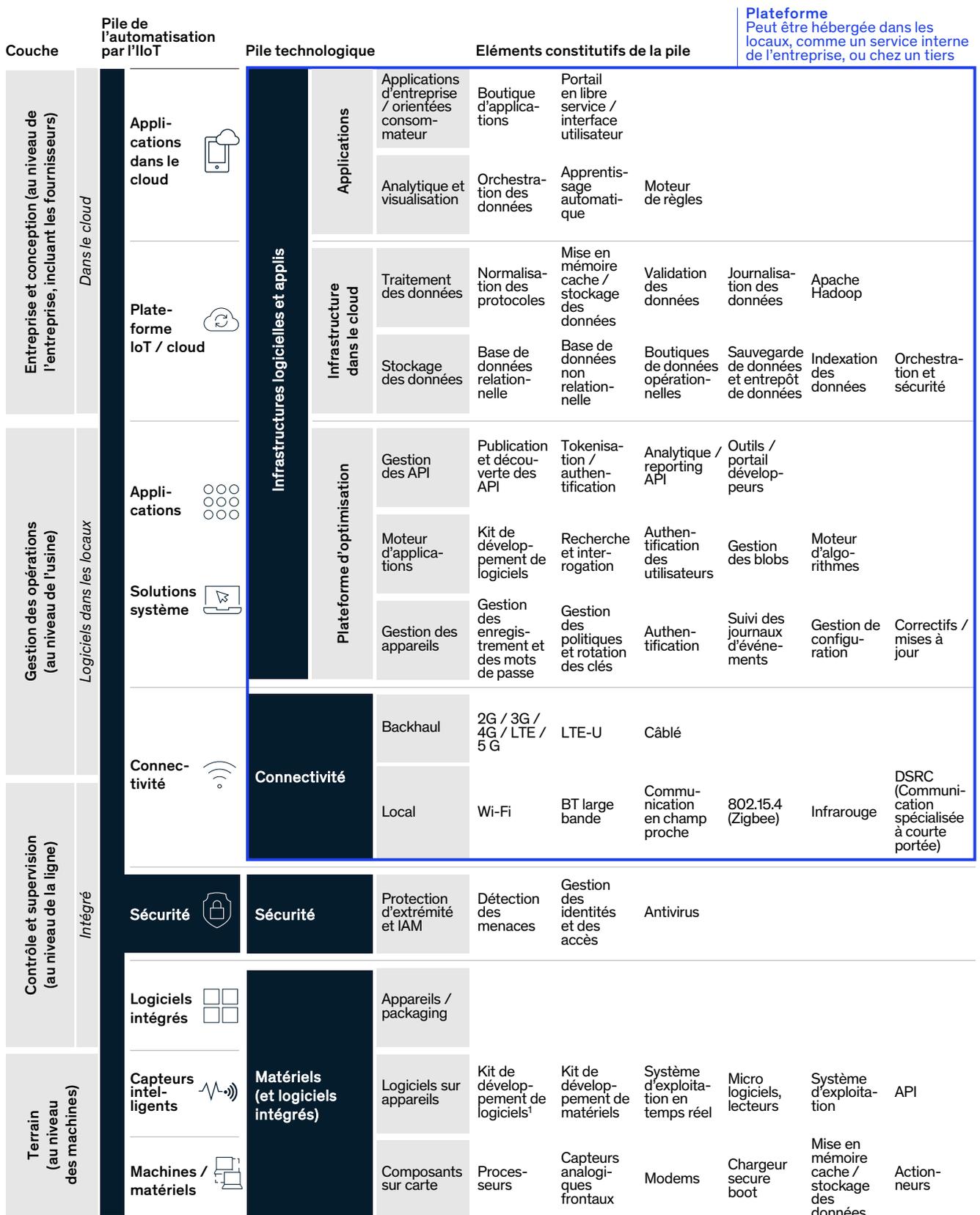
Source : analyse McKinsey

Capter tout le potentiel de l'IIoT nécessite d'appréhender l'intégration d'une façon plus sophistiquée que ne le prévoient les protocoles d'automatisation actuels

En connectant les deux sphères de la TI et de la TO, il est possible de concevoir une entreprise véritablement digitale de bout en bout. La pleine intégration des deux structures pose en effet les bases nécessaires à l'établissement d'une plateforme IIoT rapide, fiable, sécurisée et moderne (figure 21). Malheureusement, et c'est le cas d'un grand nombre d'entreprises, le partage des données entre ces deux sphères peut s'avérer complexe, de par leurs infrastructures de réseau insuffisamment à jour ou connectées.

Figure 20

Démystifier la plateforme – la combinaison des technologies d’optimisation au service des applications et de l’analytique

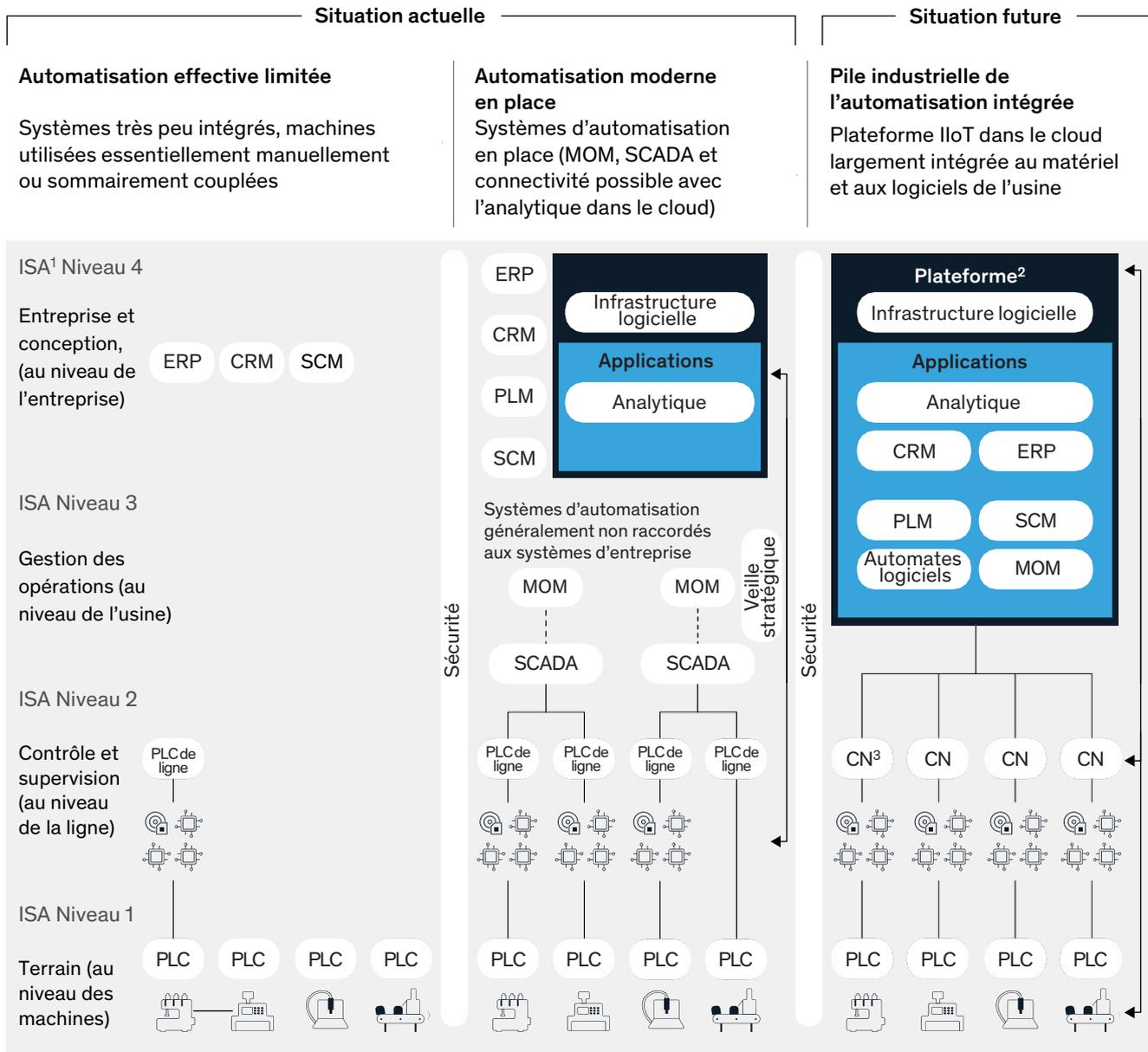


1. Inclut le bus de messages

Source : analyse McKinsey

Figure 21

Avec une plateforme IIoT, la pile traditionnelle sera interconnectée et optimisée par le digital



Note : PLC = Automate

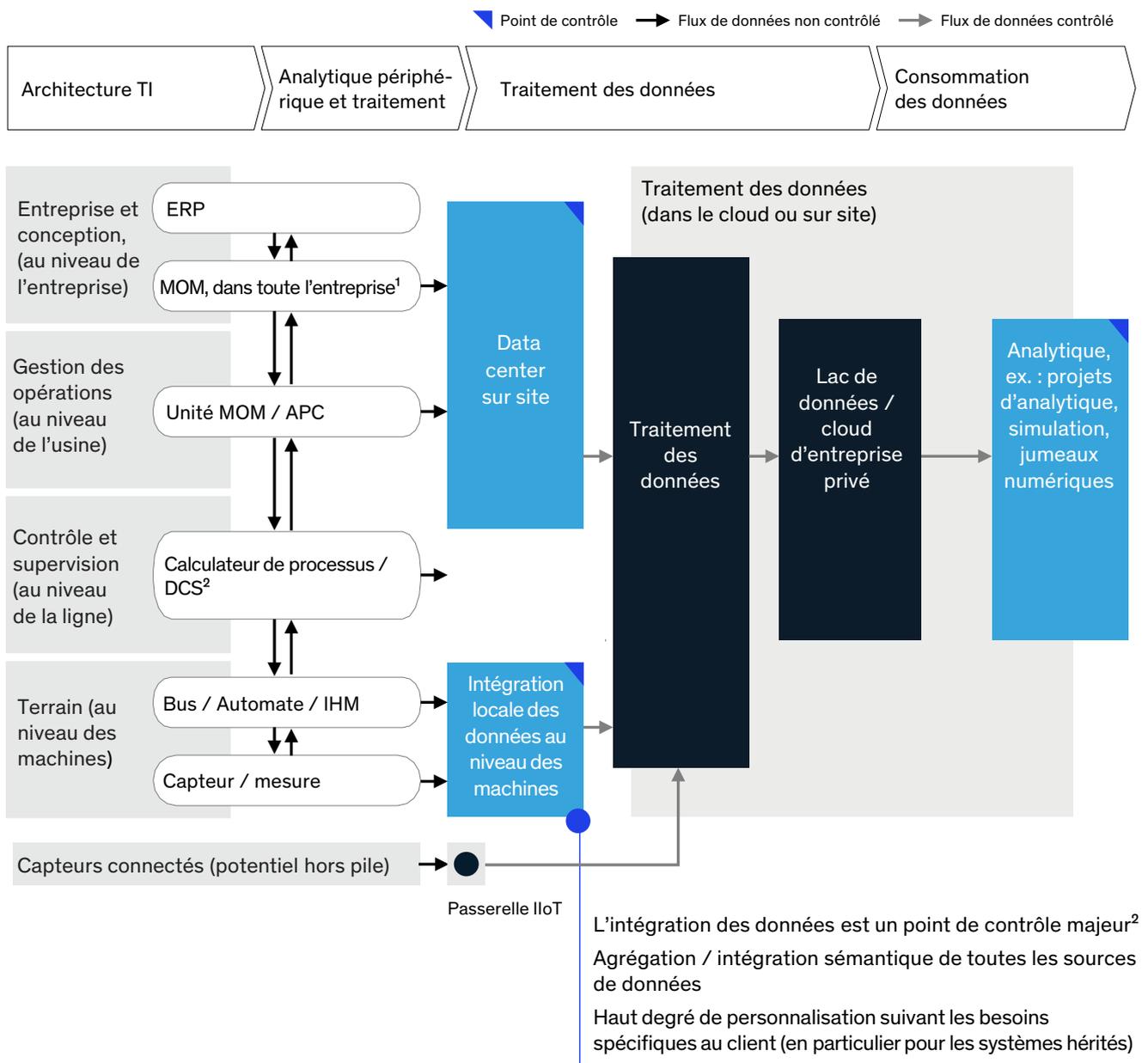
1. International Society of Automation
2. Peut être hébergée sur site, comme un service interne de l'entreprise, ou chez un tiers
3. Commande Numérique

Source : analyse McKinsey

Dans le même temps, en matière de modèles de données, les acteurs industriels ont besoin de flux d'informations et de normes favorisant une transparence totale entre leurs différentes installations et zones d'implantation. Ils doivent également se doter des capacités de contrôle nécessaires pour mettre en mouvement et orchestrer les opérations à travers un paysage hétérogène de TI, de TO et de systèmes d'applications. Des difficultés demeurent donc dans la pile d'automatisation traditionnelle, en particulier au sein des industries d'assemblage. Il existe également des complexités liées à l'architecture des données sous-jacente. Au niveau de l'entreprise, de l'usine, de la ligne de production et des machines, notamment, l'architecture de données doit prendre en compte toutes les activités entourant les données, de la collecte au traitement (figure 22).

Figure 22

La pile d'automatisation industrielle nécessite une architecture de données adaptée



1. Si existant

2. Système numérique de contrôle-commande (*Distributed control system*)

3. Suivant le besoin actuel de redondance et de latence, dimensions pour l'instant non acquises, pour les solutions totalement basées dans le cloud

Source : analyse McKinsey

Certaines de ces complexités nécessitent des solutions logicielles, que l'entreprise peut prioriser lors du choix de l'architecture et de la plateforme de fabrication numérique à déployer. *In fine*, l'entreprise doit déterminer le degré d'efficacité et de réactivité de son infrastructure opérationnelle, et dans quelle mesure les performances de son infrastructure soutiennent la stratégie commerciale de l'entreprise. Après avoir ainsi évalué l'infrastructure existante, l'entreprise devra décider de la voie à suivre pour constituer une pile d'automatisation entièrement intégrée.

Les quatre questions suivantes doivent être placées au cœur de la réflexion sur la conception de la plateforme centrale et de la cybersécurité. Chacune est abordée ici selon une approche en quatre étapes⁹ :

- Quels sont les écarts en matière d'intégration des données opérationnelles (système TO) dans l'environnement existant – écarts qu'il convient de combler afin de mettre en œuvre les cas d'usage prioritaires ?
- Comment les applications et les sources de données à la fois existantes et nouvelles (système TI) peuvent-elles être intégrées dans une plateforme commune d'exploitation des données ?
- Quel prestataire sélectionner pour mettre en œuvre la plateforme IIoT (ou ses composantes) et intégrer les flux de données ?
- Comment gérer efficacement les questions de cybersécurité liées à la convergence TI-TO ?

► Etape 1 – Evaluer intégralement la configuration existante, tant pour la TO que pour la TI

Déterminer avec exactitude pourquoi le système existant ne permet pas de mettre en œuvre les cas d'usage prioritaires est une première étape. Il existe deux sources de données principales à évaluer du point de vue des cas d'usage et de la prise de décision : la TO, qui se situe sur le terrain et qui couvre un champ allant des capteurs aux automates en passant par les appareils de périphérie, et la TI, qui correspond aux systèmes de plus haut niveau tels que les systèmes de gestion intégrés (ERP), de gestion de la chaîne d'approvisionnement, de maintenance de l'usine, de gestion des opérations de fabrication (MOM) et de gestion du cycle de vie des produits.

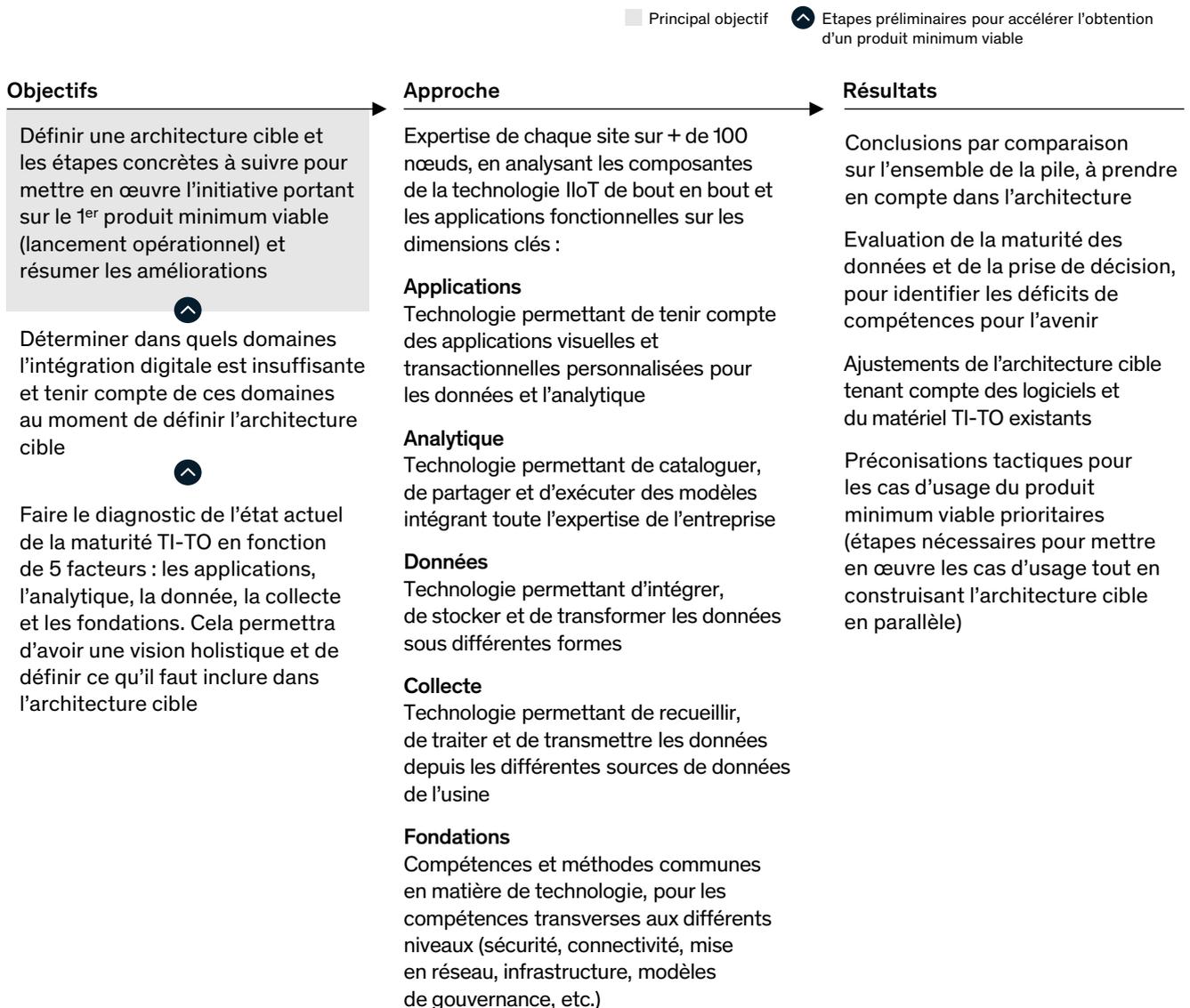
Il est nécessaire de procéder à une évaluation complète de l'environnement TI et TO selon les dimensions techniques de la pile technologique de l'IIoT (figure 23), et en particulier d'évaluer les options d'intégration technique sous les angles suivants :

- La collecte des données opérationnelles auprès des systèmes fonctionnels – c'est-à-dire les technologies disponibles pour recueillir, traiter et transmettre les données depuis les sources de données disséminées dans l'usine
- La connectivité entre les différents réseaux et machines des usines, afin de garantir des liaisons sécurisées avec le réseau TI et au-delà
- L'infrastructure de données, ou les technologies disponibles pour ingérer, stocker et transformer les données sous différentes formes
- Un environnement analytique doit être développé selon une norme d'exécution agile, afin de déployer des modèles sur l'ensemble du flux de valeur des données

⁹ ["Making sense of Internet of Things platforms"](#), McKinsey & Company, mai 2017.

Figure 23

L'évaluation standardisée de la maturité de la TI-TO forme la base d'une définition holistique et optimisée de l'architecture



Source : analyse McKinsey

Un écosystème d'applications, pour déployer des compétences transactionnelles en matière de données, nécessite également une mise en œuvre selon une norme d'exécution agile. L'évaluation de la TO porte essentiellement sur deux questions : quelles sont les sources de données dont on dispose sur le terrain ? Faut-il les connecter et comment ? Entrent dans le champ de cette évaluation :

- Les données disponibles depuis les capteurs des machines ainsi que leurs caractéristiques (fréquence, analogique / numérique, résolution, bande passante nécessaire, etc.)
- Les connexions disponibles depuis les équipements vers l'environnement du site (absence de connexion, connexion filaire, sans fil) ainsi que les caractéristiques d'accès (ports de communication, disques durs internes, protocoles de communication)
- Les données déjà collectées et leur contexte (qui servent de base pour la prise de décision)

Cette évaluation est souvent compliquée par la présence simultanée de différents types de capteurs, protocoles de communication ou d'interfaces, tous très disparates, devant être hébergés sur une plateforme commune. Ce niveau de complexité technique requiert l'expertise d'architectes TO et de données, ainsi que de *data engineers*. En outre, les cas d'usage peuvent nécessiter de collecter des données qui sont encore insuffisamment mesurées, voire pas du tout, ce qui rend nécessaire l'installation d'équipements supplémentaires.

Une analyse complète des écarts devra par ailleurs être effectuée sur toute la pile technologique, afin de s'assurer que les catalyseurs fondamentaux sont en place pour capturer toute la valeur en jeu et pour atteindre les objectifs associés à la solution IIoT. En effet, plus l'on descend dans la pile technologique et dans les systèmes TO qui génèrent physiquement de la valeur, plus les risques cumulés et la valeur en jeu augmentent.

Aussi, l'évaluation informatique consiste avant tout à déterminer comment intégrer les systèmes existants à la plateforme IIoT pour enrichir les données et optimiser l'utilisation des interfaces existantes. Les équipements automatisés, le système MOM, la gestion du cycle de vie des produits et le système de gestion intégré (ERP) doivent être intégrés de manière à obtenir :

- **une personnalisation des produits**
- **une production flexible**
- **des services à valeur ajoutée**

Pour y parvenir, il peut être nécessaire d'utiliser un outil personnalisé afin d'établir la communication entre les systèmes existants et la plateforme IIoT, en mettant l'accent sur l'étiquetage correct des données (et notamment l'horodatage), en vue d'exploiter les données du modèle de plateforme IIoT.

Il existe des normes pour les interfaces, les protocoles de communication, etc., qui sont codifiées dans des architectures de référence proposées par les fournisseurs de plateformes IIoT. Ces offres présentent généralement l'avantage de fournir l'ensemble de la plateforme IIoT via un seul et même fournisseur, avec une pile technologique commune. En revanche, elles peuvent entraîner une dépendance à l'égard du fournisseur en question et présenter des lacunes dans des domaines qui ne font pas partie des compétences de base de ce dernier. Suivant les caractéristiques du paysage existant, et pour des raisons stratégiques, il est néanmoins possible de suivre une approche "*best-of-breed*" qui consiste à choisir la meilleure solution selon le cas d'usage ou la connexion. Cette approche peut cependant générer une plus grande complexité globale (notamment en ce qui concerne la maintenance de la plateforme) et représenter un coût plus élevé.

▶ Etape 2 – Créer l'architecture cible nécessaire à la mise en œuvre des cas d'usage

Cette étape porte sur la conception de la future architecture cible de la pile technologique. Elle implique de définir la façon de collecter, de connecter et de traiter les données du terrain vers la plateforme IIoT afin d'optimiser les flux de données.

Collecte des données

Lorsqu'il s'agit d'intégrer des sources de données historiquement cloisonnées et fonctionnellement disparates à une pile de solutions IIoT intégrée, la principale difficulté réside dans les différences existant entre les exigences fonctionnelles des systèmes TO et TI. Ces différences sont largement dues aux caractéristiques des données produites et consommées, telles que le débit nécessaire, le degré d'importance, la quantité et la complexité de ces données. Historiquement, les systèmes TO ont très souvent été isolés des systèmes TI car ils nécessitent des transferts de données à haut débit, répétables et hautement déterministes, entre des systèmes spécialement conçus à cet effet.

Se contenter de "brancher" les systèmes TO dans une architecture IIoT plus large peut entraîner des défaillances machines, voire des violations de sécurité si les exigences fonctionnelles associées à ces caractéristiques ne sont pas prises en compte de manière adéquate.

L'intégration des sources de données existantes constitue l'une des principales difficultés de la digitalisation (voir l'encadré "Surmonter la complexité de l'existant"), même si des efforts considérables ont été menés par les fournisseurs de plateformes, de logiciels et d'équipements spécialisés pour favoriser l'accès aux données disponibles. Il existe ainsi désormais des interfaces standardisées pour la plupart des types de ports de communication propriétaires. Ces outils, prêts à l'emploi pour les plateformes IIoT, permettent l'intégration des sources de données, même si celle-ci est complexe.

En outre, la communication entre les dispositifs périphériques et la plateforme peut être harmonisée grâce à la mise en place de normes telles que l'Architecture Unifiée OPC. Cette norme de communication ouverte et indépendante des fournisseurs a *de facto* été désignée comme la norme à suivre par tous les segments industriels concernés. Elle permet une intégration facile des dispositifs périphériques sur la base de protocoles de publication et d'abonnement clairs, tout en répondant aux standards les plus exigeantes en matière de sécurité. Elle comprend des protocoles de communication modernes et allégés, tels que le MQTT, permettant de se connecter à des appareils distants avec un volume de code réduit et une bande passante faible.

Encadré

Surmonter la complexité de l'existant

Le défi d'une connexion rapide des installations de production existantes à la plateforme IIoT est crucial dans la mise en œuvre de cette dernière. Il est nécessaire d'appréhender cette étape avec un plan d'action rigoureusement réfléchi et structuré. Une mauvaise anticipation engendrerait en effet des itérations et des retards coûteux, une frustration au sein des équipes ou encore des surprises lors des phases de mise en œuvre ultérieures (par exemple, des lectures de capteur erronées).

L'adoption d'un ensemble de bonnes pratiques présentées ci-après, fondées sur des retours d'expérience terrain, peut faciliter la bonne gestion de cette complexité :

1) Identifier les données nécessaires pour le cas d'usage considéré.

Chaque cas d'usage nécessite de collecter un ensemble de données déterminé, impactant le type de mesures qui doivent être fournies par les capteurs. S'il peut être utile de "tout analyser" dans le cas où les données sont déjà largement disponibles, cela n'est en revanche pas réalisable dans des situations où cette collecte doit s'accompagner de l'acquisition de nouveaux capteurs. Les équipes doivent dans ce cas identifier les données dont la collecte sera nécessaire pour réaliser le cas d'usage, tout en gardant à l'esprit la nature des machines à disposition, ainsi que leurs spécificités physiques (par exemple, la surveillance des roulements au moyen

d'un capteur de vibrations). A cet effet, il sera utile de créer une matrice de référence contenant l'ensemble des données nécessaires (unités de mesure, formats des données), la fréquence de mesure souhaitée, les moyens de stockage associés (durée, etc.), et l'usage qui sera fait de ces données.

2) Analyser la production de données des machines à connecter.

Chaque outil de production est équipé d'une multitude de capteurs. Cependant, les mesures réalisées par ces derniers ne sont pas toujours accessibles en externe et demeurent souvent dans les boucles de commande internes de ces outils. Bien qu'il existe des interfaces favorisant l'échange de

données, celles-ci peuvent soit avoir été verrouillées par le fournisseur et rester inaccessibles pour l'utilisateur, soit ne pas offrir la bande passante nécessaire, ne pas permettre un échange de données continu, ou enfin être simplement trop anciennes pour être connectées à des interfaces plus récentes.

Seule une évaluation des données disponibles effectuée à l'aide de la matrice de référence créée lors de la première étape permettra d'identifier ces écarts de façon exhaustive. Des

capteurs supplémentaires pourront alors être nécessaires pour créer une infrastructure plus moderne, mais ceux-ci peuvent nécessiter de modifier physiquement les machines et devront être mis en œuvre avec la plus grande prudence (les garanties, notamment, devront être consultées).

3) Comblant les écarts en privilégiant des solutions robustes. Il existe souvent plusieurs solutions différentes pour combler les écarts identifiés à l'aide de la matrice de référence : ajout de matériel, déverrouillage

de l'interface de données par le fournisseur, ou installation de nouveaux capteurs, par exemple. Pour déterminer la solution à adopter, les acteurs industriels doivent tenir compte à la fois du prix d'achat, mais aussi de la facilité de mise en œuvre et d'utilisation, et de la robustesse de la solution elle-même. Un nouveau capteur peut en effet s'obtenir à un coût raisonnable tout en fournissant la mesure voulue, mais être sujet à des pannes fréquentes pour des raisons liées à des facteurs exogènes, comme la présence de poussière dans l'atelier.

Connectivité

La connectivité est un sujet majeur s'agissant du transport des données. Lorsque les infrastructures en place sont anciennes, la connectivité devient vite un défi d'ampleur. Elle doit alors être traitée avec la même diligence que la sélection des appareils d'intégration des données.

La plupart des entreprises manufacturières disposent encore principalement d'installations câblées, mais les connexions sans fil se développent. Dans la plupart des cas, le Wi-Fi s'impose comme la technologie de prédilection, grâce aux progrès du Wi-Fi 6, qui se rapproche de la 5G en termes de fonctionnalités et de performance. La 5G présente toutefois des avantages : fiabilité du spectre concédé sous licence, large bande passante grâce aux ondes millimétriques, gestion des interférences, et équipement standardisé. Ces atouts garantissent le niveau de performance attendu, quel que soit le fournisseur ou le choix de la spécification.

Le Wi-Fi devrait continuer à jouer un rôle important dans la mesure où il constitue un écosystème plus établi que les technologies cellulaires existantes. En outre, l'exploitation d'un réseau Wi-Fi est plus facile que celle d'un réseau cellulaire, notamment pour des industriels encore peu expérimentés dans ce domaine. De nombreux acteurs industriels commencent toutefois à s'intéresser à la 5G dans les situations où le Wi-Fi atteint ses limites, par exemple dans les usines comptant de nombreux appareils au sein d'un espace restreint, ou encore dans celles présentant un trafic complexe, des exigences de fonctionnalité critiques ou encore une zone à couvrir étendue. Le Wi-Fi fonctionne sur un spectre sans licence et, si cela se traduit pour les fournisseurs d'équipements et de logiciels, par une plus grande flexibilité sur les spécifications, cela entraîne également une plus grande volatilité des performances. La 5G en spectre sous licence pourrait ainsi constituer une meilleure solution dans les situations présentées ci-dessus.

La 5G intéresse les industriels parce qu'elle offre à la fois un haut débit, une latence très faible, une grande fiabilité, et la prise en charge d'un grand nombre d'appareils avec différents types de trafic, tout en évitant le coût du câblage et en permettant une réelle mobilité pour tous les appareils (figure 24).

Figure 24

La 5G offre des avantages considérables par rapport aux technologies de connectivité

	Mobilité	Ajout d'appareils / de capteurs	Latence ²	Jitter	Débit	Spectre ³
Réseau fixe / Ethernet	Limitée par le câble	Complexe, car il faut recâbler	< 1 ms	~40 µs	10+ Gbps	S.O.
Wi-Fi 5	Oui, plus faible portée que la 5G sur le même spectre	Plus facile que le câblé	~30 ms	< 30 ms	~3 Gbps	Sans licence Largeur de bande jusqu'à 120 MHz
Wi-Fi 6			~10 ms	< 10ms	10+ Gbps	
5G ¹	Oui	Plus facile que le câblé	< 1 ms	10–100 µs	10+ Gbps	Sous licence Largeur de bande de 100 à 500+ MHz suivant la bande

1. En supposant l'utilisation d'une fréquence centrale ou des ondes millimétriques
2. Les vitesses de test sont données à titre indicatif uniquement ; les déploiements réels cibles de la 5G sont supérieurs à 20 ms, en fonction de la proximité des appareils et des ordinateurs
3. Varie en fonction de la région

Source : analyse McKinsey

La 5G coexistera sans doute avec le Wi-Fi et la connectivité câblée à court et moyen terme dans les environnements industriels. Cette alliance ouvrira la voie à la prochaine vague d'applications IIoT et favorisera l'automatisation. Parallèlement, elle augmentera inévitablement la complexité des opérations à court terme, notamment parce que les usines ne sont pas conçues aujourd'hui pour exploiter des réseaux cellulaires. Cette situation pourrait évoluer une fois que le déploiement et l'exploitation du réseau 5G privé deviendront aussi accessibles que le Wi-Fi, mais on peut s'attendre d'ici-là à voir des environnements manufacturiers IIoT se construire à la fois sur la 5G et le Wi-Fi¹⁰.

Absorption

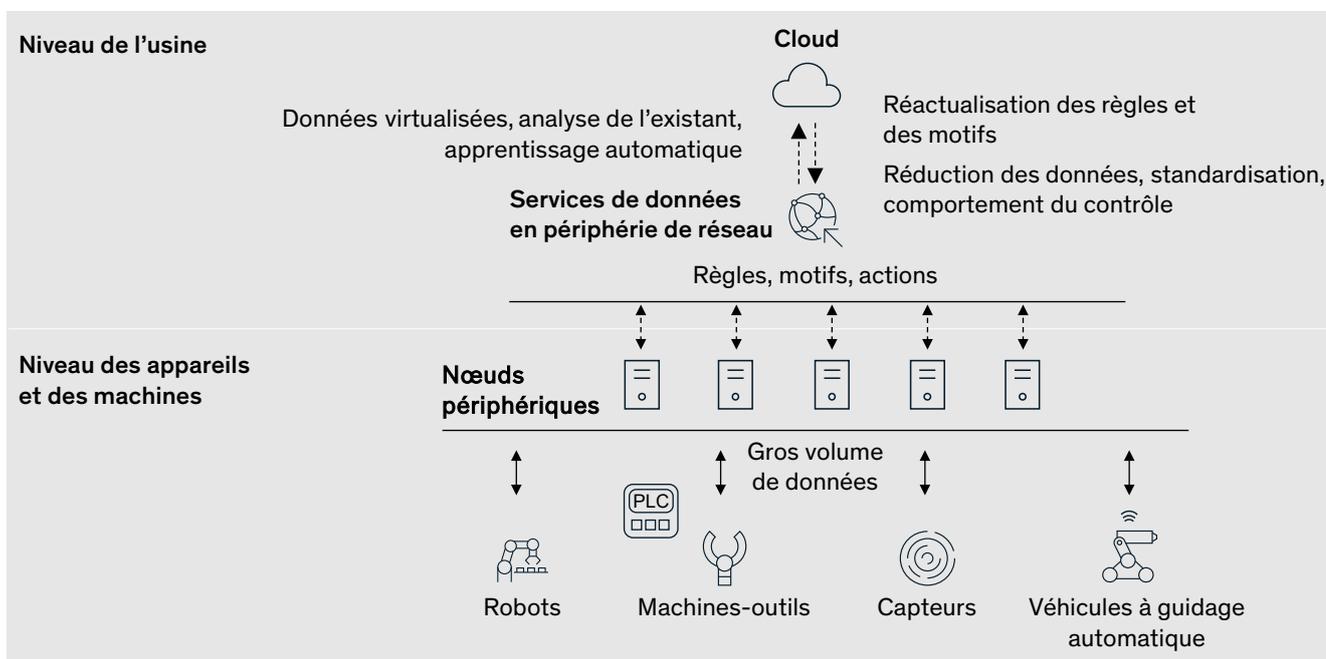
Les prouesses des plateformes IIoT reposent en grande partie sur l'adoption de solutions dans le cloud. Celles-ci offrent en effet un grand potentiel de mise à l'échelle de la puissance de traitement, permettent une gestion moderne des données, et donnent accès à un large éventail de solutions logicielles de visualisation des données, de *machine learning* ou encore d'analytique. Pourtant, les interfaces physiques restent nécessaires pour collecter les données de l'usine. Dès lors, le matériel utilisé pour absorber les données et les transmettre à la plateforme IIoT doit être connecté aux appareils (par câble ou sans fil) et pouvoir communiquer à la fois avec les appareils et la plateforme. Or, en raison de certains facteurs limitants (tels que la bande passante, les questions de sécurité ou le besoin d'effectuer des calculs instantanés dans les systèmes en boucle fermée), la décentralisation de la puissance de traitement devient souvent nécessaire. Cela impose de moderniser les dispositifs d'absorption, en passant d'interfaces simples à des unités de traitement plus performantes. Ces nœuds de calcul composent l'*edge computing* et sont généralement déployés suivant une répartition claire des tâches entre ce qui est traité en périphérie de réseau (*edge*) et ce qui est traité dans le cloud (figure 25).

¹⁰ "The 5G era: New horizons for advanced electronics and industrial companies", McKinsey & Company, février 2020..

Figure 25

L'architecture IIoT future bénéficie des avantages de l'*edge computing* avec une répartition des tâches plus claire entre la périphérie de réseau et le cloud

Niveau de l'entreprise



"Edge intelligence"	Bénéfices techniques	Bénéfices économiques
Analytique en streaming en temps réel fondée sur le traitement des événements complexes (CEP)	Conçue pour les applications industrielles avancées, à faible latence et en boucle fermée	Eclairages plus rapidement exploitables, pour une plus grande efficacité opérationnelle (temps de disponibilité des équipements, rendement, économie d'énergie)
Apprentissage automatique itératif sur des données industrielles réelles	Inférence continue sur toutes les données des capteurs (y/c vidéo et audio) pour l'apprentissage automatique en boucle fermée	Eclairages prédictifs de meilleure qualité, améliorant les processus et la performance des actifs
Persistance des données et besoins de transport nettement plus faibles	Le traitement direct à la source réduit le besoin de ressources liées à la mise en réseau et au stockage des données	Réduit le coût du stockage dans le cloud et de la communication de x 100 à x 1 000
Posture de sécurité améliorée	Supprime le besoin de transmettre des données TO critiques via les réseaux	Réduit l'infrastructure de sécurité ainsi que les risques et le coût de la mise en conformité avec la réglementation
Absence de dépendance vis-à-vis d'un fournisseur de services dans le cloud	Evite d'être dépendant d'un fournisseur et facilite la mise en œuvre de stratégies cloud multiples / hybrides	Augmente le pouvoir de négociation vis-à-vis des fournisseurs cloud et réduit les coûts d'approvisionnement
Utilisation des connaissances tribales de la TO	Traduit l'expertise de domaine de l'opérateur en expressions d'analytique et en modèles d'apprentissage automatique	Est plus rapide et moins onéreuse que la reprogrammation des automates et évite la phase IA dans le cloud
Utilisation d'un ensemble <i>edge computing</i> et matériels contrôleurs peu encombrant	Fonctionne sur des systèmes de commande industriels ou des appareils d' <i>edge computing</i> hautement contraints	Réduit au minimum l'investissement dans des systèmes de calcul lourds ou dans de nouveaux matériels de système de commande industriel
Tarifcation en fonction de l'abonnement (et non de la consommation)	Permet de prévoir les besoins de mise à l'échelle après les démonstrations de fiabilité initiales	Rend les coûts de fonctionnement plus maîtrisables et plus prévisibles et est nettement moins chère pour les applications brassant de gros volumes de données

Source : Cisco, analyse McKinsey

On opte en règle générale pour une approche par paliers qui combine différents types d'*edge computing* et de cloud public, tout en intégrant des serveurs sur site (voir les encadrés "Résoudre le défi du temps réel grâce au *edge computing*" et "L'*edge computing* dans les industries d'assemblage et de process").

Encadré

Résoudre le défi du temps réel grâce au *edge computing*

Les décisions techniques concernant le lieu et le procédé de traitement des données, ainsi que les distances sur lesquelles celles-ci sont transportées, sont étroitement liées aux exigences de latence de chaque cas d'usage. Il peut en effet être relativement simple d'envoyer quelques kilo-octets de données de mesure de température vers le cloud toutes les minutes pour les visualiser sur un tableau de bord simplifié. En revanche, il peut s'avérer physiquement impossible d'envoyer une vidéo en haute résolution vers une plateforme dans le cloud, de l'analyser par vision artificielle et de renvoyer les résultats dans un temps suffisamment court pour répondre aux exigences du processus considéré. La vitesse de transport est en effet physiquement contrainte, et des problèmes de bande passante peuvent également survenir, rendant le temps de traitement tout simplement trop long pour prendre en charge des cas d'usage "en temps réel".

Si les données doivent être utilisées pour superviser ou contrôler ces tâches de façon significative, alors l'ensemble du processus, du capteur jusqu'à l'unité de contrôle en passant par l'algorithme, doit pouvoir se dérouler en moins d'une seconde. L'*edge computing* peut offrir une réponse à ce type de problématique : en effet, il permet une très faible latence tout en offrant une grande flexibilité, une facilité d'utilisation, ainsi que la puissance de traitement dont le cloud est capable. Les PC industriels équipés

d'un matériel de traitement central et de traitement graphique robuste donnent accès à la puissance de calcul nécessaire pour analyser ces flux de données.

Intégrés à la plateforme IIoT, les PC industriels sont équipés de logiciels capables d'analyser et de communiquer dans l'environnement de la plateforme. Les fournisseurs de plateformes IIoT actuels proposent ainsi des logiciels prêts à l'emploi permettant d'intégrer les PC industriels dans l'écosystème global comme autant de nœuds en périphérie de réseau, avec des routines faciles à configurer pour gérer cette puissance de traitement décentralisée. En fonction des exigences de latence propres à chaque cas d'usage, la conception de la plateforme centrale doit tenir compte de la répartition de la puissance de traitement en périphérie de réseau. Différentes solutions existent pour relever le défi du temps réel :

— **Le prétraitement des données en périphérie de réseau.** Le périphérique sert de nœud de communication vers la plateforme. Il aide à transformer les flux de données "brutes" à large bande passante en données prétraitées à plus faible bande passante, qui véhiculent davantage d'informations (par exemple en transformant des données brutes de vibrations en spectres de fréquence). Cette approche permet de surmonter les limitations de bande passante

et de répartir la puissance de calcul, tandis que les informations proprement dites sont toujours générées dans les serveurs locaux ou dans le cloud.

— **L'adoption d'une analytique complète en périphérie de réseau.** Le dispositif périphérique est ici parfaitement capable de collecter et de traiter les données provenant des capteurs, car il est équipé non seulement du matériel adéquat, mais aussi d'un logiciel complexe. Lorsque l'on utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour donner du sens aux données collectées (par exemple une vision artificielle avec des réseaux neuronaux), un réseau neuronal déjà entraîné fonctionnera sur le périphérique. Bien qu'il puisse s'effectuer différemment, cet apprentissage est souvent assuré dans le cloud ou sur des serveurs locaux.

— **Le contrôle de la périphérie grâce à l'intelligence artificielle.** Etant donné que les périphériques modernes sont capables d'analyser les données avec une très faible latence, l'étape suivante consistera à utiliser l'intelligence décentralisée pour contrôler les processus de production. Ces systèmes de commande en boucle fermée basés sur l'analytique en périphérie de réseau permettront d'ajuster de manière autonome les paramètres du processus. Cela permettra de

corriger automatiquement les écarts par rapport au processus prédéfini ainsi que les défauts avant qu'ils ne surviennent.

Outre les périphériques – qui sont des éléments matériels supplémentaires nécessitant cependant de la maintenance – une solution potentielle pour le calcul à faible latence est offerte par les fournisseurs de *cloud computing* actuels, sous la forme

de distribution de serveurs locaux au sein des réseaux 5G mobiles. Les serveurs dans le cloud passent ici par l'infrastructure de l'opérateur et sont déployés dans un périmètre défini. Ainsi, le transfert physique des données via la 5G utilise les circuits les plus courts possibles, ce qui permet d'obtenir une très faible latence. Les fournisseurs de service cloud proposant également des "réseaux

de campus 5G", les clients sont alors en mesure d'utiliser ces services au sein de leur propre réseau, afin d'exploiter pleinement l'infrastructure cloud moderne ainsi que la très haute performance qu'offre la 5G.

Encadré

***L'edge computing* dans les industries d'assemblage et de process**

Les industries de process disposent généralement d'une architecture de contrôle distribuée, avec des groupes de surveillance, des salles de contrôle et des systèmes d'acquisition de données pour le contrôle de la production. Celle-ci est généralement opérée via plusieurs grands écrans et à travers la saisie de points de consigne par les opérateurs afin de piloter de façon centralisée les différents équipements et processus distribués de l'usine.

Au milieu des années 1990, le cadre OPC Data Access a été développé pour permettre une connexion standardisée des équipements basés sur Microsoft Windows avec des systèmes d'automatisation propriétaires de différents fournisseurs. Ce cadre a évolué vers une version plus récente et plus polyvalente – l'OPC Unified Architecture – qui permet la connectivité avec des systèmes et des sous-systèmes non basés sur Microsoft Windows. Grâce à l'OPC, l'*edge computing* est devenue pratique courante, avec des solutions et des sous-systèmes à valeur ajoutée connectés à des systèmes de contrôle distribués. La mise en

place d'"historiens d'usine", à savoir essentiellement des enregistreurs de données sophistiqués basés sur Microsoft Windows, est fréquente. Ces derniers enregistrent toutes les données de processus dans une série chronologique et les stockent pour une récupération plus rapide à l'avenir.

L'utilisation de l'*edge computing* dans les industries de process avec traitement local des données n'est donc pas un concept nouveau. Le *cloud computing*, en revanche, l'est bel et bien. Ces solutions nouvelles, qui font appel à l'analytique et à l'intelligence artificielle, consistent notamment à cloner l'approche de l'"historien de l'usine" et à se connecter directement à un système de contrôle distribué via l'OPC Data Access ou la Unified Architecture. Le traitement des données s'effectue aussi localement, en périphérie de réseau, avec un minimum de latence et de retards et une efficacité maximale.

Contrairement aux industries de process, les industries d'assemblage présentent un degré élevé de décentralisation de la TO. Ce constat s'explique par le nombre plus élevé d'acteurs spécialisés et de niche qui ont

historiquement équipé leurs machines d'unités de contrôle spécialisées permettant le traitement des données en temps réel au sein de la machine. Cette approche a entraîné un important besoin de consolidation des données depuis un écosystème de données large et hétérogène, ce qui a donné lieu au développement de nouvelles solutions logicielles IIoT. L'une d'entre elles comprend des couches logicielles modernes intermédiaires et une grande variété d'interfaces avec différentes machines pour permettre la collecte et l'absorption des données.

La prochaine étape consistera à rendre les solutions de périphérie de réseau compatibles avec le cloud et à rentabiliser au maximum le traitement des données locales et centrales. Une approche pourra par exemple consister à traiter les données locales tout en comparant simultanément les performances locales à celles des systèmes homologues via le cloud, ou encore à tirer du cloud des informations complémentaires pour améliorer les performances.

▶ Etape 3 – Gérer efficacement les défis de cybersécurité liés à la convergence TI-TO

L'IloT augmente considérablement le nombre de dispositifs connectés déployés sur les sites industriels ainsi que le volume de données absorbées régulièrement par ces dispositifs. Il renforce par ailleurs le degré d'agrégation et d'analyse centralisées et décentralisées de ces données. On peut donc s'attendre, en toute logique, à ce que ces tendances à la hausse du niveau de détail de la connectivité et de l'agrégation conduisent à une réévaluation significative des risques d'attaques contre l'IloT. Dans cette optique, nous avons identifié les caractéristiques des entreprises manufacturières rendant la TO difficile à protéger.

- Les systèmes hérités et les vulnérabilités inhérentes à la technologie de l'organisation, notamment la limitation des dispositifs et registres de sécurité, rendent la TO particulièrement difficile à sécuriser.
- En raison de la forte dépendance à l'égard des équipementiers en ce qui concerne l'approvisionnement et la gestion de l'OT, la capacité des entreprises à mettre en œuvre la sécurité des systèmes TO est limitée par rapport aux systèmes TI.
- Les pratiques de gestion des fournisseurs tendent à augmenter la prévalence des connexions à distance et le nombre d'acteurs externes connectés au réseau.
- Les responsabilités liées à la cybersécurité applicables à la TO ne sont souvent pas clairement définies au sein des entreprises et cette absence de norme rend difficile l'application de cyber-contrôles de la TO.
- Les décideurs TO doivent accroître davantage et plus rapidement leur niveau de sensibilisation à ces enjeux et faire en sorte que la concurrence des objectifs business ne restreigne pas leur capacité à mettre en œuvre des mesures de sécurité pour la TO.
- La pénurie de compétences en cybersécurité est particulièrement importante dans le domaine de la TO, où des spécialistes polyvalents sont nécessaires.
- Enfin, il existe un certain nombre de restrictions techniques et commerciales, telles que l'impossibilité d'arrêter les lignes de production pour installer des correctifs dans les anciens systèmes d'exploitation ou pour mettre en œuvre des solutions d'urgence.

En outre, l'IloT comprend quatre domaines principaux qui présentent chacun leur propre problématique de sécurité :

- Les réseaux locaux pour la collecte et le traitement des données issues de systèmes de commande industriels connectés
Problématique de sécurité rencontrée : absence d'authentification et défaut de sécurité dans les capteurs de traitement
- La transmission des données par le biais de passerelles vers le cloud
Problème de sécurité : manque de sécurité dans les protocoles et les passerelles
- Traitement et stockage des données dans le cloud via des plateformes appropriées et des algorithmes spécifiques, de type big data, etc.
Problématique de sécurité rencontrée : défaut de sécurité dans les protocoles et les passerelles
- Le traitement et le stockage des données dans le cloud via des plateformes appropriées et des algorithmes spécifiques (big data, etc.)
Problématique de sécurité rencontrée : défaut de sécurité des données concernées
- L'interface entre les plateformes et les utilisateurs finaux à des fins de suivi
Problématique de sécurité rencontrée : défaut de protocoles de communication sécurisés

Des données compromises sont susceptibles d'occasionner des dommages matériels ou d'engendrer des risques opérationnels imprévus, ainsi que de poser un problème de conformité avec la réglementation ou de représenter des risques pour la sécurité des personnes. Le *cloud computing* introduit donc des problématiques opérationnelles et de sécurité qu'il convient de traiter rapidement, en particulier dans les environnements TO qui n'ont jamais été conçus pour l'accès à distance.

Pour permettre la collecte des données nécessaires à l'analyse big data, les applications et les réseaux IIoT sont généralement construits ou complétés par des dispositifs de contrôle industriel existants, et héritent donc des défauts de sécurité de ces dispositifs. En outre, les appareils interconnectés utilisent actuellement des protocoles ou des passerelles personnalisés pour accéder à des protocoles universels, tels que l'OPC Unified Architecture. Néanmoins, ceux-ci sont souvent développés sans tenir suffisamment compte des besoins en termes de sécurité.

Le déploiement de contrôles de sécurité dans l'ensemble de l'organisation nécessite également une bonne compréhension de l'architecture de réseau dans les environnements TI et TO. En effet, celle-ci permet à l'entreprise de mieux appréhender l'origine d'une menace et d'identifier les contrôles à appliquer pour la repousser.

Dans ce contexte, et en réponse à l'accélération de la digitalisation liée à la convergence entre la TI et la TO, des fonctions de cybersécurité plus sophistiquées commencent à transformer les compétences au sein de l'entreprise sur trois dimensions : l'utilisation de l'analyse quantitative des risques pour la prise de décision, l'intégration de la cybersécurité à la chaîne de valeur de l'entreprise, et la mise en œuvre de nouvelles plateformes d'exploitation technologiques qui combinent de nombreuses innovations¹¹. Ces innovations incluent les approches agiles, la robotique, le cloud et le DevOps (combinaison du développement logiciel et des opérations TI et TO pour réduire les délais de développement et apporter de nouvelles fonctionnalités, des correctifs et des mises à jour adaptés à l'activité de l'entreprise).

Utilisation de l'analyse quantitative des risques pour la prise de décision

Les entreprises commencent à renforcer leurs environnements commerciaux et technologiques à l'aide de l'analyse quantitative des risques, une discipline qui leur permet de prendre de meilleures décisions, fondées sur les faits. Cette évolution passe par une segmentation sophistiquée des collaborateurs et des prestataires, ainsi que par une analyse comportementale visant à identifier les signes d'éventuelles menaces internes (activité de messagerie électronique suspecte, par exemple). Elle passe également par une authentification fondée sur les risques, qui prend en compte les métadonnées – telles que la localisation de l'utilisateur et ses activités d'accès récentes – pour déterminer s'il est opportun ou non d'autoriser l'accès aux systèmes critiques de l'entreprise. *In fine*, les organisations utiliseront probablement des tableaux de bord de gestion reliant les actifs de l'entreprise, la surveillance des menaces, les vulnérabilités, et les mesures potentielles d'atténuation des risques afin d'accompagner leurs dirigeants dans le choix de leurs investissements en matière de cybersécurité. Dans le cadre de la mise en place de ce tableau de bord, il est alors recommandé de suivre les étapes suivantes :

- Mettre en place un cadre de surveillance des menaces, afin que l'organisation soit informée des toutes dernières menaces et soit prête à y faire face.
- Déployer des contrôles de sécurité de base à tout niveau de l'organisation.
- Exploiter des solutions d'analyse et de corrélation des menaces capables de collecter des informations dans différents environnements pour aider l'équipe dirigeante dans ses prises de décisions.

¹¹ "[Cybersecurity: Linchpin of the digital enterprise](#)", McKinsey & Company, juillet 2019; "[Critical resilience: Adapting infrastructure to repel cyberthreats](#)", McKinsey & Company, janvier 2019; "[The race for cybersecurity: Protecting the connected car in the era of new regulation](#)", McKinsey & Company, octobre 2019.

En prenant ce type de mesures, les entreprises seront ainsi en mesure de se concentrer sur les domaines d'activité nécessitant le plus haut niveau de protection, de la façon la moins perturbatrice et la plus rentable possible.

Intégrer la cybersécurité à la chaîne de valeur de l'entreprise

Chaque entreprise digitale échange des données sensibles et connecte ses réseaux avec ceux de ses clients, fournisseurs ou autres partenaires commerciaux. Par conséquent, les questions de confiance relatives à la cybersécurité et à la responsabilité de la mise en place des mesures de réduction des risques sont devenues centrales dans les chaînes de valeur de nombreux secteurs. On recense les impératifs suivants :

- La vision, la stratégie et l'exécution d'un business plan doivent tenir compte des dimensions suivantes : sûreté, fiabilité et sécurité. Ces dimensions doivent faire partie du processus de planification commerciale à tous les niveaux et chez tous les types d'acteurs (des fournisseurs de solutions IoT jusqu'aux clients).
- La sécurité des systèmes de données doit être appréhendée au niveau de la direction, qui aura ainsi la responsabilité de l'appliquer à la TI et la TO. La politique de sécurité, la gouvernance et la formation des utilisateurs finaux doivent être étendues à l'ensemble des environnements TI et TO, du fait de systèmes interconnectés.
- Les technologies et les menaces associées aux environnements TI et TO doivent être parfaitement comprises. Cela inclut une bonne appréhension du fait que les technologies qui fonctionnent dans l'environnement TI ne fonctionnent pas nécessairement dans l'environnement TO, ce qui implique des typologies de menaces potentiellement différentes dans les deux environnements.
- L'entreprise doit comprendre que la gestion des risques liés aux environnements TO et TI implique de manier des versions, des statuts, des mises à jour, de nouveaux systèmes de contrôle, des versions de correctifs, etc.

Il est important de procéder à une évaluation régulière des risques dans l'ensemble des environnements afin d'identifier les vulnérabilités et de s'assurer que les contrôles de sécurité appropriés sont en place. Dans ce prolongement, les entreprises les plus performantes commencent à intégrer la cybersécurité dans leurs relations clients, leurs processus de production et leurs interactions fournisseurs. Les actions mises en place à cet effet incluent :

- L'analyse des enquêtes de sécurité afin de comprendre les attentes des clients et de créer des bases de connaissances pour que les équipes de ventes puissent répondre à leurs questions de sécurité avec un minimum de friction lors des négociations. Par exemple, un fournisseur SaaS ("*Software-as-a-service*") a remarqué que ses clients insistaient pour obtenir des garanties particulièrement solides concernant la prévention des pertes de données.
- La prise en compte des enjeux de cybersécurité comme une dimension centrale de la conception produit.
- La formation des collaborateurs à l'utilisation des canaux et des technologies numériques en toute sécurité.
- Une compréhension globale des enjeux de sécurité des environnements TI et TO afin d'éliminer les vulnérabilités existantes. Un équipementier automobile a, par exemple, constaté que le système détenant la version propriétaire de certains de ses micrologiciels pouvait être vecteur d'attaques contre les systèmes d'injection de carburant qu'il fabriquait. Ce constat lui a permis de mettre en place des protections supplémentaires.
- Une bonne utilisation des renseignements issus de la veille relative aux menaces pour questionner les réseaux technologiques des fournisseurs et évaluer le risque de vulnérabilité correspondant.
- La mise en œuvre de contrôles robustes pour l'accès à distance, d'une politique de segmentation des réseaux, et d'une séparation au sein des zones via des réseaux privés virtuels.

Mise en œuvre d'une plateforme d'exploitation agile, basée sur le *cloud computing* et optimisée par DevSecOps

De nombreuses entreprises entreprennent, dans le même temps, un changement complet à tous les niveaux des opérations TI et TO pour accélérer leur digitalisation : elles remplacent les processus traditionnels de développement logiciel par des méthodologies agiles, rapatrient les talents qui étaient détachés chez les fournisseurs et donnent aux développeurs un accès en libre-service aux infrastructures. Certaines se défont même complètement de leurs data centers pour se tourner totalement vers le cloud.

Cette tendance provient clairement d'un désir de rendre la technologie suffisamment rapide et généralisable pour servir les aspirations "digitales" de l'entreprise. Cependant, la mise en place d'un modèle technologique moderne exige d'y adosser un modèle opérationnel de cybersécurité beaucoup plus flexible, réactif et agile. Cela passe par :

- Une réflexion en matière d'attractivité des talents pour y inclure des profils disposant de savoir-faire digitaux. Cela inclut de cibler des professionnels de la cybersécurité ayant une connaissance approfondie en matière de convergence TI-TO : résolution intégrative de problèmes, automatisation et développement, technologies de la sécurité, etc.
- Le passage d'interfaces basées sur des tickets à des interfaces de programmation d'applications (API) pour les services de sécurité. Cela nécessite d'automatiser l'ensemble des interactions pouvant l'être et d'intégrer la cybersécurité à la chaîne d'outils de développement de logiciels. Les équipes de développement pourront ainsi mener des analyses de vulnérabilité, ajuster les règles de prévention concernant les pertes de données, configurer la sécurité des applications et, enfin, accéder aux services de gestion concernés.
- L'organisation des équipes de sécurité suivant les méthodologies agiles, scrum ou scrumban, afin d'optimiser la gestion, par les développeurs, de services tels que le contrôle des identités et des accès ou encore la prévention relative à la perte de données. Il peut aussi être utile de recruter des responsables d'équipes de développement pour endosser le rôle de "product owners" des dispositifs sécurité, à l'instar des responsables commerciaux concernant les parcours et services client.
- Une intégration fine des enjeux de sécurité dans les services à destination des utilisateurs finaux de l'entreprise, pour que les collaborateurs et les prestataires puissent facilement accéder aux outils de productivité et de collaboration via un portail intuitif.
- Le développement d'un modèle de sécurité "cloud-native" garantissant aux développeurs un accès instantané aux services dans le cloud, tout en mettant en place des garde-fous.
- Une collaboration avec les équipes chargées de l'infrastructure et de l'architecture TI et TO pour intégrer les services de sécurité nécessaires à des solutions standardisées d'analytique massive et d'automatisation des processus robotiques. Ces solutions peuvent notamment être les suivantes :
 - Des systèmes nouvelle génération de prévention et de détection des intrusions, hébergés dans les systèmes TI et TO, incluant l'ensemble des protocoles IoT et IIoT
 - Une protection contre les logiciels malveillants et les rançongiciels adaptée aux environnements TI et TO
 - Une mise sur liste blanche des environnements TI et TO
 - La technologie "Sandboxing" appliquée aux réseaux et permettant de surveiller les menaces éventuelles sur les différents types de protocoles IoT sans affecter les processus
 - Des technologies de cryptage permettant l'authentification et la vérification incontournables pour l'ensemble des appareils et des systèmes de contrôle de l'IoT
 - Des technologies de gestion des versions des dispositifs, des systèmes de contrôle, des correctifs et des éléments assimilés, à la fois pour la TI et la TO

- Des API pouvant être intégrées directement aux appareils
- Des dispositifs de renforcement des compétences en matière de sécurité, sous la forme de kits de développement de logiciels ou de programmation d'applications

Toutes ces actions s'avèrent nécessaires pour la sécurité de l'organisation. Sans elles, les atteintes à la cybersécurité sont plus fréquentes, avec des conséquences plus graves. Les actions à engager sont toutefois en tension avec le modèle émergent d'entreprise digitale, résultat d'une transformation numérique de bout en bout – depuis l'interface client jusqu'aux processus de back-office. Les entreprises qui utilisent les services du cloud public se heurtent souvent à cette problématique de sécurité. Elle constitue en effet la principale difficulté rencontrée dans le cas de l'hébergement d'applications au sein d'une infrastructure de cloud public¹².

► Etape 4 – Sélectionner un partenaire plutôt qu'un fournisseur, pour faciliter la mise en œuvre de la plateforme

La création d'une architecture cible et le choix de la bonne configuration technique de la plateforme IIoT sont des étapes complexes. La sélection du fournisseur constitue donc une étape majeure pour une mise en œuvre réussie. Comme toutes les décisions importantes, le choix du fournisseur doit être effectué sur la base d'une évaluation structurée des différentes alternatives. La recherche du partenaire idéal doit s'accompagner d'une soigneuse évaluation des dimensions suivantes :

- **Le modèle économique.** Permet-il aux clients de créer leurs propres offres ? Comment permet-il la mise à l'échelle ? Qui est le propriétaire des données ?
- **La commercialisation.** Le modèle de tarification est-il compréhensible ? La structure organisationnelle est-elle efficace ?
- **L'offre de cas d'usage.** Existe-t-il des cas phares à la fois performants et entièrement mis en œuvre ?
- **Les capacités de développement existantes.** Dans quelle mesure le fournisseur est-il déterminé à s'investir dans le développement de la plateforme ? Existe-t-il un certain dynamisme dans la communauté de développeurs ?
- **La technologie.** Dans quelle mesure la plateforme est-elle ouverte et modulaire ? Offre-t-elle un plan de sécurité avancé ?
- **Les opérations.** A quel point la gestion des versions et le contrôle des mises à jour sont-ils avancés ? L'assistance fonctionne-t-elle de façon fluide ?

Le bon partenaire doit être sélectionné selon des critères tarifaires et techniques, mais aussi dans l'objectif de maintenir l'avantage concurrentiel lors des développements futurs. Ce dernier point peut être évalué en examinant de près les caractéristiques du partenariat : la stratégie de partenariat (quelle stratégie adopter pour trouver des partenaires fournissant leurs services et solutions via leur propre plateforme ?), les capacités de développement (dans quelle mesure le prestataire s'investit-il dans le développement de la plateforme ?) et l'intégration dans la communauté des développeurs (existe-t-il une communauté active de développeurs qui fournisse ses propres applications, ressources ou solutions sur la plateforme ?).

¹² ["Cybersecurity: Linchpin of the digital enterprise"](#), McKinsey & Company, juillet 2019.

3.2 Plateforme IIoT : l'impératif du cloud dans l'industrie manufacturière

Au sein du secteur manufacturier, l'approche courante en matière de cloud se concentre sur le remplacement de certaines activités informatiques clés, ainsi que sur l'accès à une infrastructure "à la demande" intégrant l'approvisionnement, le stockage, les services de données, etc. Si les objectifs susmentionnés correspondent en effet aux priorités des dirigeants d'entreprise dans l'exploitation du cloud, ces derniers ne doivent pas perdre de vue que son potentiel est nettement plus large, à l'échelle de la transformation du modèle opérationnel IT de l'entreprise, voire à celle de son activité économique¹³. Ainsi, lorsqu'ils souhaitent engager une analyse de rentabilité, ils passent un temps conséquent à comparer les coûts d'une digitalisation sur site avec ceux d'une digitalisation via le cloud, et consacrent beaucoup moins de temps au principal vecteur de valeur du cloud : les retombées commerciales.

De nombreuses entreprises industrielles sont confrontées aux défis posés par la complexité excessive de leurs systèmes. L'une d'entre elles a, par exemple, entrepris de rationaliser plus de 30 systèmes de gestion intégrés (ERP) qu'elle avait accumulés au cours d'une série d'acquisitions. Cette complexité limitait la transparence et ralentissait les processus de production, de chaîne d'approvisionnement et d'autres fonctions opérationnelles. Les données susceptibles d'aider l'entreprise à améliorer ses activités existaient uniquement sous la forme de tableurs et dans des systèmes disséminés au sein de toute l'organisation. De ce fait, le déploiement à grande échelle d'un projet nécessitait, pour porter ses fruits, la mise en œuvre d'une feuille de route sur plusieurs années.

L'utilisation du cloud pour résoudre de tels défis n'a pas été facile. De nombreuses migrations vers le cloud échouent parce qu'elles ne s'attachent pas d'abord à simplifier le parc informatique, ni à établir une bonne gouvernance des données.

En outre, certains coûts supplémentaires ont souvent porté atteinte au succès financier de telles entreprises :

- Les coûts de basculement vers des opérations simultanées en cloud et sur site pour les centres de données sont dus à la complexité des applications et à une réticence à migrer rapidement.
- Des coûts cachés pouvant apparaître lorsque les plateformes, les outils et les services ne sont pas bien compris et que l'offre et la demande ne sont pas activement gérées.
- Les coûts de l'intégrateur système pouvant persister jusqu'à trois ou quatre ans après le passage au cloud, en conséquence de l'application d'un modèle de type "régie".
- Les coûts des services supplémentaires pouvant être trois à quatre fois plus élevés que nécessaire si les applications ne sont pas bien configurées.
- Les règles de comptabilité générale et une mauvaise gouvernance peuvent exacerber ces coûts, ou en engendrer d'autres, en dépréciant les actifs informatiques non amortis.

Néanmoins, si la majorité des coûts du cloud provient de la TI, l'essentiel de la valeur est généré du côté des opérations (figure 26). Le cloud donne en effet accès aux innovations des fournisseurs de cloud, telles que les nouveaux moteurs d'IA et d'apprentissage automatique. Le cloud facilite en outre l'expérimentation de nouveaux produits et fonctionnalités, puisque le coût de mise en place d'un environnement de type "Sandbox" est quasiment nul. Il permet aussi de relier l'entreprise à de nouveaux produits et services issus de l'écosystème de partenaires, comme par exemple des outils de vente, ce qui contribue largement à lever les obstacles à la collaboration.

Les plateformes sur site, et même celles hébergées (cloud privé), ne peuvent pas faire face à la complexité et aux exigences croissantes de la production moderne. Les collaborateurs des chaînes de production et d'approvisionnement, y compris externes (clients et fournisseurs) ont besoin d'un accès rapide et contrôlé aux données opérationnelles et commerciales pour mieux documenter leurs prises de décision. Les plateformes IIoT dans le cloud fournissent cette connectivité et cet accès omniprésents.

¹³ « [Making the cloud pay: How industrial companies can accelerate impact from the cloud](#) », McKinsey & Company, octobre 2020.

Figure 26

Les coûts du cloud se situent majoritairement du côté de la TI, mais l'essentiel de la valeur est généré par les opérations

Éléments clés du business case "Cloud"

Coût de la TI

Principales catégories de coûts

<p>Coûts de fonctionnement</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Coûts de la consommation du cloud (hybride et multi-cloud) (incluant les coûts de l'itinérance dans le cloud, nécessaires pour synchroniser de multiples environnements cloud différents)¹ ● Maintien en fonctionnement des systèmes existants Augmentation des coûts du réseau, dans les modèles de cloud hybride Conservation, en interne, des spécialistes du cloud – mais, souvent aussi, des équipes associées à l'ancienne infrastructure
<p>Coûts de la migration</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Coûts internes de la migration : comprennent les coûts dits de "double bulle" (double bubble), correspondant au maintien d'une infrastructure parallèle pendant la durée de la migration Coûts externes de la migration : intégrateur système, etc. Investissements directs et ponctuels (dans le développement des compétences des fonctions opérationnelles, dans la modernisation des actifs TI, etc.) Coûts liés à la gestion des données

- Critique du point de vue de la mission, pour un business case positif – exige une gestion dynamique

Valeur opérationnelle

Exemples de cas d'usage

Ventes, admin. et support	Frais généraux et admin.	Analytique de la fraude et des dettes L'analytique au service de la comptabilité et de la TI
	Marketing et vente	Génération de "leads" Affectation des budgets marketing
	Après-vente	Interventions / entretien prédictifs Gestion du service client
Données des produits	R&D	Exploration de données de R&D Plateforme de gestion du portefeuille de projets
	Nouveaux services et modèles économiques	Le matériel à la demande (HaaS) Services / produits connectés supplémentaires
TO	Fabrication	Maintenance prédictive Contrôle visuel / contrôle de la qualité
	Management de la chaîne d'approvisionnement	Planification intelligente des itinéraires Intégration verticale de la chaîne ("juste à temps")
	Achats	Analytique des dépenses Modélisation des prix des matières premières

Impact attendu sur la marge EBIT²

~0,2 % pts

~9 % pts

Les programmes actuels liés au cloud portent principalement sur des remplacements d'infrastructures informatiques, de sorte que la question de la valeur pour les fonctions opérationnelles n'est pratiquement pas traitée.

L'efficacité des remplacements d'infrastructures informatiques n'est souvent pas au rendez-vous – si la question des structures complexes et des coûts cachés qui accompagnent les opérations et les migrations vers le cloud n'est pas gérée correctement, le business case sera souvent peu convaincant ; même les migrations réussies n'atteignent l'équilibre qu'au bout de 3 à 4 ans.

1. Fréquemment sous-estimées, les bases de données peuvent souvent être nettement plus onéreuses (jusqu'à 10 fois plus) dans le cloud ; les bases de données situées dans le cloud manquent de fonctionnalités de nettoyage des données, ce qui grève les coûts de stockage, comparé aux bases de données maintenues dans l'entreprise
2. Potentiel estimé pour un acteur type du secteur automobile d'ici 2025, à partir du cloud comme catalyseur pour l'analytique, pour un nouveau modèle économique, une plus grande efficacité opérationnelle, etc. – les investissements ne sont pas inclus

Source : analyse McKinsey

L'avantage intrinsèque des systèmes du cloud est de fonctionner avec une seule et unique source d'information, en évitant les outils et les silos de données disparates, et par conséquent en supprimant la saisie manuelle et les retards de synchronisation des données. Ces améliorations ont pour effet de réduire le volume d'erreurs et les goulots d'étranglement ainsi que de diminuer le temps alloué aux tâches de base lors de la rationalisation des processus et des flux de travail.

Le cloud offre un potentiel de gains d'efficacité informatique, même si ces gains peuvent ne pas compenser le coût du cloud lui-même. L'efficacité de la main d'œuvre semble s'améliorer à mesure que des outils standards de cloud accroissent la productivité du développement. Cela est renforcé par le perfectionnement des pratiques d'ingénierie logicielle et par l'automatisation du développement et de la maintenance des applications, des opérations de sécurité du développement, de l'infrastructure, des tickets et du support. Au-delà de la main d'œuvre, les gains d'efficacité résultent aussi de la réduction du nombre de centres de données sur site, de la diminution des dépenses en matériel (également rendue possible par la standardisation) et de la rationalisation des nouvelles applications une fois les applications existantes retirées. Les offres du cloud permettent en outre d'améliorer la TO, en rendant disponibles les données des appareils de TO dans tous les emplacements physiques voulus et en permettant de les traiter, via la puissance de calcul du cloud, à des fins d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle.

► Etape 1 – Rendre le cloud rentable à court terme

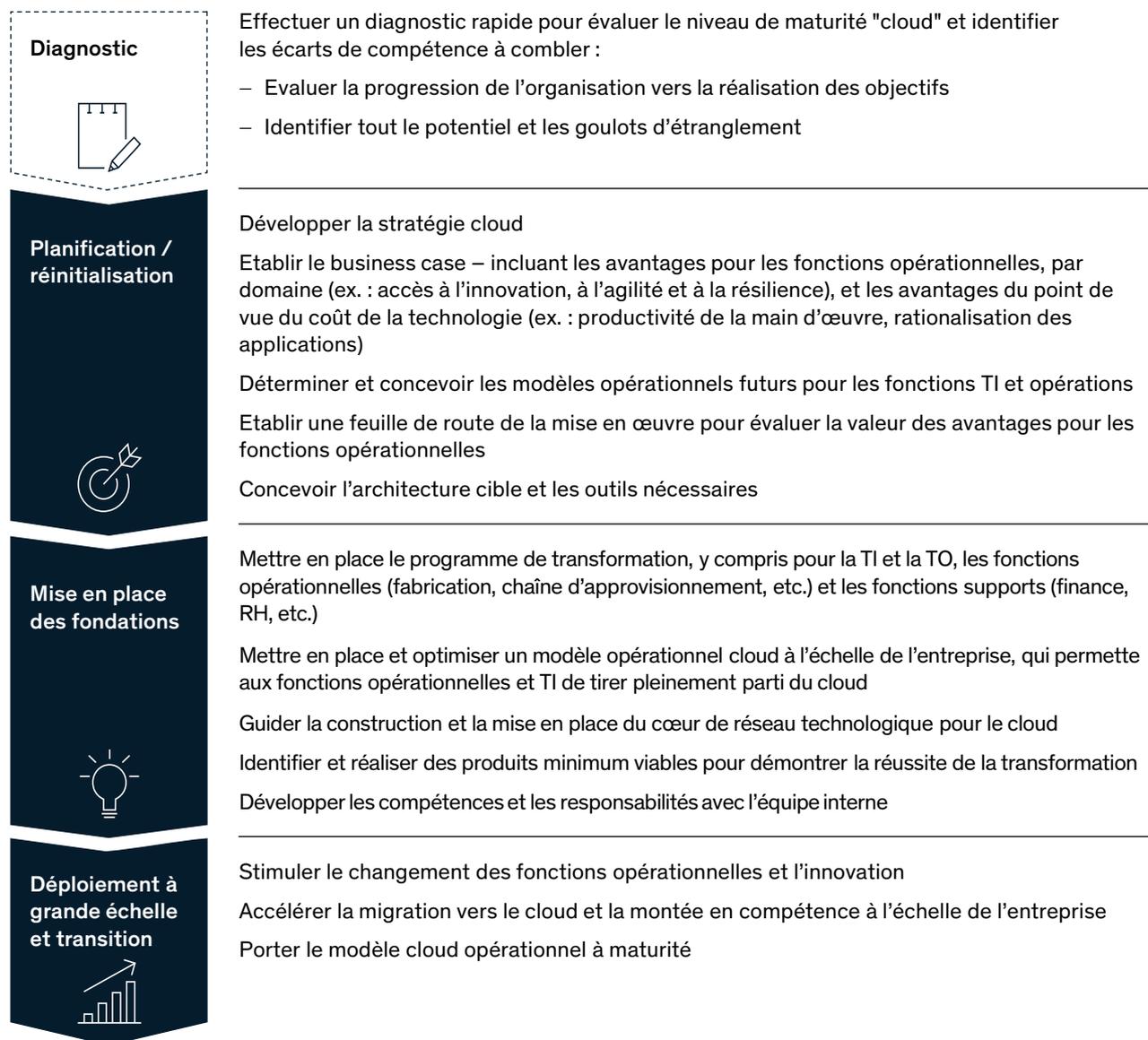
Les entreprises industrielles peuvent "infléchir la courbe" pour que le cloud soit rentable à court terme. Cela passe par quatre leviers (figure 27) :

- Choisir de façon stratégique et séquentielle les applications à faire migrer vers le cloud public et celles qui doivent rester dans le cloud privé ou sur site (en périphérie de réseau). La définition de l'objectif final doit permettre de déterminer quelles applications et données doivent migrer et quelles autres doivent demeurer en interne.
- Commencer à modifier le modèle opérationnel TI et TO suffisamment tôt pour impulser un changement significatif de rythme et de productivité, en particulier dans la gestion du DevSecOps et des infrastructures. Il est possible d'utiliser le paradigme de l'ingénierie logicielle pour optimiser les dépenses en personnel informatique.
- Equilibrer la migration de l'infrastructure en tenant compte de la refonte permanente et basée sur le cloud du modèle économique, car cette dernière peut commencer à autofinancer la transformation. Ce redesign peut inclure des outils de l'Industrie 4.0 ainsi que l'intégration de la TO, de nouvelles capacités d'analytique ou encore de nouveaux modèles économiques. Cela passe par un accent mis sur l'amélioration des processus opérationnels, souvent via l'analytique, domaine dans lequel l'investissement est moindre et la création de valeur plus rapide.
- S'appuyer sur la flexibilité du cloud pour favoriser une dynamique d'innovation continue au sein de l'entreprise, sous la forme d'une introduction plus rapide de nouveaux produits, de davantage de partenariats avec des acteurs externes, et de nouveaux jeux d'écosystème.

Figure 27

Méthode éprouvée de déploiement à grande échelle des transformations cloud en quatre étapes

Illustration



Source : analyse McKinsey

▶ Etape 2 – Gérer étroitement la transformation par le cloud

Gérer une transformation cloud exige une gouvernance solide. Nous identifions plusieurs actions pour y parvenir :

- Quantifier les avantages commerciaux de chaque initiative du programme de transformation
- Planifier et exécuter une transformation de bout en bout, par domaine d'activité, plutôt que de se focaliser sur des cas d'usage individuels
- Préparer le parc d'applications et de données existant en amont de la transformation, y compris en établissant une solide gouvernance des données
- Intégrer la rationalisation et le retrait de certaines applications à la gouvernance de la transformation
- Former l'ensemble de l'organisation, par domaine
- Etablir un modèle de gouvernance cohérent et durable entre les fonctions TI et TO, incluant les fonctions centralisées (du siège) et décentralisées (par exemple les fonctions TI et TO des sites de production)
- Mettre en œuvre un processus agile, de la gestion de la demande à la livraison
- Veiller à la bonne adoption des améliorations opérationnelles, en investissant dans des programmes de conduite du changement dès le début de la transformation, en obtenant l'engagement des fonctions opérationnelles, telles que la chaîne d'approvisionnement et de production, et en faisant converger la TI et la TO

Le concept d'"infrastructure en tant que service" – c'est-à-dire le fait qu'un fournisseur externe gère le réseau, le matériel informatique et les ressources sous-jacents de l'entreprise – suscite l'intérêt de nombreux chefs d'entreprise. Des malentendus peuvent cependant survenir si le dirigeant conçoit cette "infrastructure en tant que service" comme un remplacement complet de l'organisation d'infrastructure de l'entreprise. Si le cloud modifie radicalement les activités, les talents et les modèles opérationnels nécessaires dans un groupe d'infrastructures internes et au-delà, il ne remplace cependant pas la nécessité de gérer l'infrastructure elle-même.

Les entreprises doivent ancrer le nouveau partenariat entre l'informatique et l'ensemble des secteurs d'activité dans un modèle opérationnel qui reflète et soutienne leur investissement croissant dans le cloud. A cet égard, il est utile d'envisager un système intégré plutôt qu'un ensemble de technologies distinctes. Cette approche implique un changement organisationnel de la fonction TI, ainsi que de nombreuses *Business Units*. Ce modèle opérationnel combine les technologies digitales dans le cloud et les capacités opérationnelles agiles dans une approche intégrée et bien séquencée qui peut rapidement accélérer la stratégie et la transformation digitale.

▶ Etape 3 – Mettre en place une équipe "Infrastructure" capable de fonctionner à la manière d'une équipe de développement d'applications

Lorsque les entreprises passent au cloud, elles bénéficient de centaines de services qui peuvent être combinés et configurés pour optimiser la performance, la sécurité des systèmes, la résilience, etc. Elles ont alors besoin d'une équipe dédiée à l'infrastructure, capable de développer et de gérer des modèles, des architectures et des services standard qui seront ensuite utilisés par les équipes de développement. L'infrastructure dans le cloud étant gérée via le code, cette équipe Infrastructure aura besoin de différents socles de compétences (par exemple en matière de validation du code) pour pouvoir fonctionner comme une équipe de développement d'applications. En l'absence d'une telle équipe ainsi que des services et plateformes standardisés qu'elle est chargée de créer, beaucoup d'entreprises ne feront que reproduire les solutions sur site – fragmentées et confuses – déjà existantes.

Pour permettre cette évolution fonctionnelle, les équipes chargées de l'infrastructure du *cloud computing* doivent passer à un modèle opérationnel "proactif" (plutôt que "réactif"). Au lieu de répondre aux demandes de personnalisation émanant des équipes de développement, dont la prise en compte peut être longue et coûteuse, ces équipes doivent plutôt anticiper les besoins de l'organisation. Dans un tel contexte, la responsabilité revient directement aux équipes du développement elles-mêmes, car elles ont davantage de flexibilité pour configurer rapidement les ressources dont elles ont besoin. Non seulement les équipes acquièrent davantage de responsabilités sur les coûts, mais cette flexibilité accrue aura aussi pour effet d'augmenter la productivité et la vitesse d'exécution.

L'évolution de l'infrastructure n'est pas seulement utile pour gérer le cloud, elle est également nécessaire pour retirer tous les avantages offerts par le cloud. De manière générale, les équipes d'infrastructure traditionnelles amenées à prendre en charge la gestion du cloud sont trop grandes, ce qui génère un coût important, et elles ne profitent pas des avantages d'un partage de la responsabilité des coûts de fonctionnement avec les équipes d'application. Toutefois, l'absence totale d'équipes d'infrastructure aurait des conséquences extrêmement négatives sur la capacité de l'entreprise à gérer le cloud et à en tirer parti. On optera donc plutôt pour une équipe "Infrastructure" plus légère et plus spécialisée, dont la mission consistera à tirer tous les avantages offerts par le cloud en termes d'agilité, d'innovation et de performance.

3.3 Ecosystème technologique

Toutes les entreprises ne réussiront pas en mettant en place elles-mêmes des écosystèmes. Pour beaucoup, il sera plus efficace de se joindre aux écosystèmes existants. Quelle que soit l'approche choisie, les entreprises devront commencer par développer de nouvelles compétences, aussi bien en termes d'"écosystèmes informatiques" reliant les entreprises aux plateformes et aux services tiers innovants, ou de nouvelles compétences managériales pour appréhender l'ampleur et la complexité des relations entre écosystèmes. Pour réussir ce pari, les entreprises devront nouer de nouvelles relations et établir de nouveaux modes de collaboration.

Les entreprises ont toujours noué des partenariats et des alliances. Cependant, la logique d'écosystèmes recouvre une si grande échelle que les approches traditionnelles de la gestion des relations ne peuvent pas s'appliquer. Les entreprises qui aboutissent à de bons résultats sont celles qui explorent des nouvelles voies pour choisir et gérer leurs partenaires et conclure des accords. Dans ce contexte, une approche en trois étapes est préconisée¹⁴ :

► Etape 1 – Comprendre les éléments essentiels d'un écosystème durable

Pour être efficace, un écosystème doit avoir une proposition de valeur convaincante, attrayante, ouverte et pertinente pour un large éventail d'acteurs et d'activités. Les écosystèmes qui prédominent aujourd'hui ont été lancés par des entreprises technologiques qui ont déployé des plateformes à très grande échelle pour concurrencer, désintermédier et souvent remplacer les offres des concurrents traditionnels, en contrôlant les interfaces et les points de contrôle des clients.

Pour tirer parti de l'IIoT dans un écosystème, il est utile de disposer d'une plateforme permettant de créer et de gérer des applications, d'effectuer des analyses poussées, ainsi que de stocker et de sécuriser les données. Les partenaires de l'écosystème, les entreprises et les développeurs disposent d'une large diversité d'options en matière de plateformes.

Les préférences des organisations pionnières en matière d'IIoT laissent deviner une volonté de tirer profit des compétences d'un écosystème de partenaires technologiques plutôt que de s'appuyer sur des compétences internes. Pour choisir la plateforme IIoT la mieux adaptée à leurs besoins, elles suivent une approche différente de celle des retardataires. Au-delà de leur intérêt pour les environnements

¹⁴ ["Management's next frontier: Making the most of the ecosystem economy"](#), McKinsey & Company, octobre 2017.

de développement de logiciels soutenus par les plateformes IIoT, les organisations pionnières sont davantage susceptibles d'opter pour des plateformes qui attirent et soutiennent une communauté vitale de développeurs externes.

Peut-être du fait de compétences particulièrement sophistiquées, les pionniers sont plus susceptibles que les retardataires de se tourner vers des partenaires externes pour leurs plateformes IIoT.

► Etape 2 – Sélectionner les bons partenaires afin de diversifier les prestataires de son écosystème en plateforme

Pour être efficace, toute stratégie d'écosystème exige de bien comprendre où se trouve la valeur. Le calcul de la valeur des actifs, tels que la relation client et les données exclusives, ainsi que des capacités existantes et des opportunités de marché émergentes, permet d'obtenir une image claire de cette valeur. Fortes de cette base de référence, les entreprises peuvent évaluer les différentes opportunités de collaboration, en tenant compte des capacités, des marchés et des technologies qui complètent et servent leurs ambitions stratégiques.

Toute tentation de limiter la recherche d'opportunités de collaboration à des acteurs du même secteur ou de la même zone géographique est à proscrire. Il est en effet préférable d'établir une cartographie systématique des partenaires de l'écosystème à travers tous les secteurs et tous les archétypes, d'identifier les critères clés de sélection (tels que l'accès à de nouveaux clients ou de nouvelles compétences) et de soupeser les arbitrages à faire (expertise du domaine, effets de dépendance vis-à-vis d'un seul et même fournisseur, potentiel de marché, etc.).

Dans ce contexte, les entreprises doivent garder quatre considérations à l'esprit : le potentiel partenaire peut-il les aider à bâtir un écosystème avec des propositions de valeur et un socle de compétences divers et complémentaires ? Son modèle économique est-il suffisamment flexible, orienté client et évolutif ? Son personnel et ses dirigeants partagent-ils la même vision ? Est-il culturellement compatible en termes de méthodes de travail ? etc.

A mesure que le marché des écosystèmes se consolide, les entreprises ont intérêt à trouver un partenaire qui ait suffisamment d'envergure et soit prêt à collaborer dans la durée, ou bien qui soit très différencié et performant pour résoudre des problématiques plus pointues. Elles doivent pour cela considérer l'ensemble de l'environnement technologique, au-delà des seules applications.

Elles doivent également être conscientes que le degré de diversité de l'écosystème ciblé peut varier : il peut être soit plutôt monolithique, avec seulement quelques fournisseurs de solutions et de services d'assistance, ou *a contrario* très fragmenté, avec des centaines de fournisseurs de matériel, de logiciels et de services d'assistance (figure 28). Concernant la composition des logiciels, du matériel et des services nécessaires à la prise en charge des filières d'applications et des plateformes, on distingue trois degrés de diversité, lesquels correspondent aux trois approches suivantes :

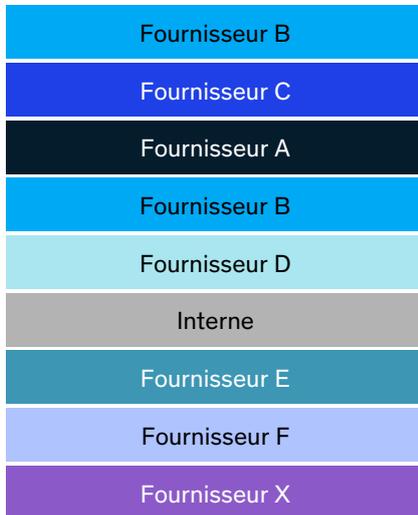
- La sélection des acteurs les plus performants pour chaque catégorie de matériels, de logiciels et de services d'assistance aidera à obtenir des résultats optimaux dans la catégorie considérée (voir "Archétype 1 : solution diversifiée" de la figure 28). Cependant, la charge de l'assistance, l'effort à fournir pour intégrer les différentes catégories, et le nombre de points de défaillance potentiels pourront significativement augmenter dans cette approche.
- La réduction de la diversité de la pile technologique présente l'avantage de diminuer la charge de l'assistance, de simplifier l'intégration entre des systèmes disparates et de réduire la quantité de défaillances potentielles (voir "Archétype 2 : solution monolithique" de la figure 28). A l'inverse, adopter un écosystème de solution plus monolithique peut entraîner une dépendance vis-à-vis des fournisseurs comme une capacité réduite à répondre aux besoins changeants des utilisateurs finaux et à ses propres besoins.

Figure 28

3 archétypes de composition de l'écosystème aux degrés de diversité différents

Aspects de la solution "plateforme IIoT"

1. Solution diversifiée



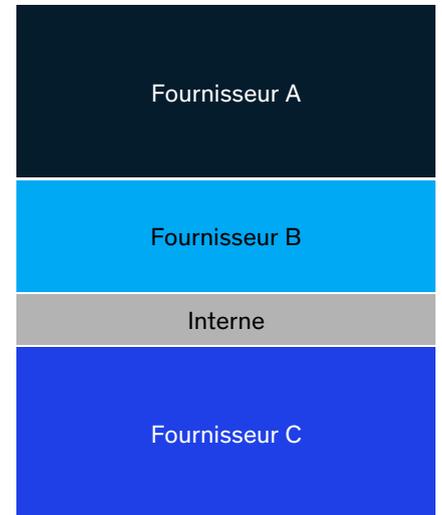
Solution défavorable, en raison du travail à fournir pour assurer la coordination entre les fournisseurs et les différentes interfaces

2. Solution monolithique



Solution irréalisable, car aucun fournisseur ne couvre à lui seul l'ensemble de la pile de l'IIoT. Par ailleurs, une telle solution exposerait l'entreprise à un risque accentué de devenir captive

3. Solution combinée



Cette solution assure un bon équilibre entre sourcing efficace et risque minimisé de devenir captif

Source : analyse McKinsey

- L'adoption d'une approche hybride permet d'établir un équilibre entre les besoins de l'entreprise et les coûts de mise en œuvre et d'exploitation, tout en tirant parti des meilleures solutions technologiques qui peuvent être intégrées à un système plus holistique (voir "Archétype 3 : solution combinée" de la figure 28). Les besoins de l'entreprise et des consommateurs finaux de la solution IIoT et de son architecture sous-jacente sont à pondérer soigneusement en fonction des objectifs à court et long terme, des efforts de mise en œuvre, et de la valeur en jeu.

Le degré de diversité de la plupart des acteurs les plus performants est généralement médian, avec une consolidation plus importante au sein de la plateforme et la possibilité de mettre en place des catégories modulaires. Cela permet ainsi de disposer d'un pipeline unifié pour le développement et la prise en charge d'applications spécifiques, qu'il s'agisse d'optimiser le processus de planification de la production (par exemple : coût des matières premières, calendrier de production) ou de maximiser le flux des chaînes de production tout en réduisant le gaspillage.

En outre, les plateformes (telles que celles conçues pour la planification, la connectivité des machines ou les dispositifs mobiles) et leurs éléments constitutifs (interfaces, connectivité et sécurité) sont souvent partagés par les différents champs d'applications, tandis que les applications finales sont souvent spécifiques aux cas d'usage et aux utilisateurs finaux.

Les solutions tactiques tendent souvent vers un écosystème plus monolithique, mais la plupart des solutions IIoT ont tendance à être diversifiées par nature, essentiellement en raison de la complexité des systèmes d'automatisation industrielle et des technologies opérationnelles qui les sous-tendent.

► **Etape 3 – Mettre sur pied des équipes *ad hoc* agiles centrées sur le développement commercial, capables de gérer la complexité de l'écosystème**

Pour tirer pleinement de l'expertise des spécialistes des plateformes et des solutions, les acteurs industriels les plus performants mettent en place des équipes de développement commercial de l'écosystème qui s'apparentent aux équipes de vente centrales que l'on retrouve chez les acteurs du B2B. Ces équipes comprennent également des dirigeants et des responsables du management, des affaires juridiques, du développement commercial et de la technologie. Etant donné la multitude de problématiques soulevées par la collaboration avec des tiers (notamment en matière de cybersécurité, de propriété intellectuelle, de propriété des données, d'octroi de licences, de confidentialité des données, de partage des bénéfices, de responsabilités légales, de respect de la réglementation et de gestion clients), il est crucial d'intégrer des experts juridiques aux équipes chargées des négociations.

Les acteurs industriels sont également susceptibles d'avoir besoin de compétences techniques moins répandues, comme par exemple celles des architectes TI généralistes capables d'intégrer de multiples technologies à la fois à l'infrastructure, aux applications et aux services. Les principales responsabilités de l'équipe de développement commercial d'un écosystème sont de procéder à un examen continu des entreprises de l'écosystème, de prendre contact avec des partenaires potentiels et d'étudier la compatibilité des candidats. Elle doit suivre les progrès réalisés, et procéder à des points d'étapes fréquents, afin de déterminer s'il est opportun de donner suite à une option prometteuse et comment, ou encore de décider quand stopper un processus infructueux. Cette équipe définit également la façon dont les nouvelles relations doivent être structurées – sous forme de coentreprises, de fusions ou de partenariats – en fonction des pressions concurrentielles rencontrées et des opportunités de marché identifiées.

La gestion des écosystèmes exige de trouver un bon équilibre entre la standardisation (pour éviter d'aboutir à un fonctionnement désordonné) et la flexibilité (pour pouvoir saisir rapidement les opportunités). La standardisation des processus de base, tels que la gestion du pipeline, les modèles de négociation et les principes d'acceptation des logiciels peut contribuer à accélérer le développement d'un écosystème efficace. Parallèlement, mettre en place des outils permettant de suivre les performances en temps réel, établir des structures d'accords commerciaux flexibles et investir dans des processus agiles peut apporter aux entreprises la souplesse dont elles ont besoin pour s'adapter à la dynamique des écosystèmes.

Investir dans une architecture informatique ouverte, des API et des micro-services sera essentiel pour développer une plateforme technique capable de garantir le degré de flexibilité et d'agilité nécessaire aux écosystèmes. Les dirigeants doivent montrer l'exemple en adoptant les bons comportements, par exemple en faisant de la gestion des écosystèmes une priorité et en consacrant le temps nécessaire aux partenaires externes.

Perspective : comment amorcer une transformation digitale dans l'industrie manufacturière

Le "cadre de la réussite", présenté au chapitre 2, décrit les six étapes qui permettent de garantir la pérennité d'une transformation digitale. Pour combler l'écart entre leur situation actuelle et la première étape du processus de transformation, les entreprises doivent :

1. S'assurer de l'implication du dirigeant pour piloter la digitalisation et en faire un projet hautement prioritaire à l'échelle de l'entreprise,
2. Fixer des ambitions élevées en matière de nouvelles méthodes de travail à adopter, et communiquer clairement sur la valeur ajoutée attendue de ces méthodes.
3. Identifier et démontrer rapidement la valeur d'un "noyau dur" de huit à dix cas d'usage à fort impact.
4. Définir les cas d'usage phares permettant de générer une part importante de la valeur potentielle de l'IIoT et d'autofinancer la transformation.
5. Bâtir une architecture informatique flexible et un écosystème de fournisseurs de technologies pour déployer rapidement les cas d'usage à grande échelle.
6. Intégrer le besoin de compétences non traditionnelles dans la réflexion et recruter ou développer les compétences en conséquence.

Une approche holistique de la production manufacturière fondée sur le digital, qui prend en compte les fondamentaux de l'organisation et des opérations tout autant que les facteurs technologiques, peut aider les industriels à surmonter les obstacles qui se dressent entre la réussite d'un pilote et le déploiement à grande échelle. Si elle est appréhendée correctement, la transformation digitale peut être une source substantielle de valeur, comme l'ont déjà démontré plusieurs cas d'usage réels.

Lexique

Les définitions données dans ce lexique reflètent la manière dont les termes respectifs sont utilisés dans ce rapport.

Automate (PLC - Programmable Logic Controller). Un automate est un calculateur modulaire à semiconducteur intégrant des instructions personnalisées pour l'exécution d'une tâche donnée. Utilisés dans les systèmes de contrôle industriels d'un large éventail de secteurs, les automates ont largement remplacé les relais mécaniques, les séquenceurs classiques et les minuteurs.

Cloud computing. Le *cloud computing* ou "l'informatique dans le cloud" est le modèle qui permet de disposer de ressources informatiques à la demande, en particulier concernant le stockage de données (stockage dans le cloud) et la puissance de calcul, sans gestion active directe par l'utilisateur. Ce terme s'utilise généralement pour décrire des centres de données accessibles à un grand nombre d'utilisateurs via Internet. Les vastes espaces ainsi proposés dans le cloud ont souvent des fonctions réparties sur plusieurs sites à partir de serveurs centraux. Ils peuvent être limités à une organisation donnée (cloud privé ou d'entreprise) ou accessibles à plusieurs d'entre elles (cloud public). Le *cloud computing* repose sur le partage de ressources pour garantir la cohérence et la réalisation d'économies d'échelle. Les partisans des solutions de cloud publics et de cloud hybrides soulignent que le *cloud computing* permet aux entreprises d'éviter ou de minimiser les coûts initiaux d'infrastructure informatique. Certains affirment également que le *cloud computing* permet aux entreprises de rendre leurs applications opérationnelles de manière plus rapide, avec une plus grande facilité de gestion et moins de maintenance, et aux équipes informatiques d'ajuster les ressources plus rapidement pour répondre à une demande fluctuante et imprévisible.

Cœur de réseau optimisé par l'IloT.

Les réseaux de communication et de connectivité fiables et performants sont au cœur de l'IloT. La mise en place de réseaux de communication robustes et flexibles est nécessaire pour autoriser des machines à communiquer entre elles, collecter des données, les analyser et produire les rapports associés. Dans les opérations industrielles, les équipements physiques qui permettent la transmission des données (câbles, connecteurs, cordons de raccordement, capteurs, commutateurs, etc.) doivent être capables de supporter les conditions difficiles qui caractérisent ces types d'environnements, tout en maintenant les hauts niveaux de performance que l'on attend d'eux. L'ensemble forme l'Ethernet industriel, que l'on peut comparer à une colonne vertébrale reliant toutes les parties d'une industrie manufacturière, du siège social aux sites distants, en passant par les usines. Ces différentes plateformes assurent à la fois la connectivité Internet et la connectivité de l'entreprise.

Convergence TI-TO. La convergence TI-TO est l'intégration des systèmes fondés sur la technologie de l'information (TI) aux systèmes reposant sur la technologie opérationnelle (TO). Les systèmes TI sont utilisés pour le calcul centré sur les données, tandis que les systèmes TO surveillent les événements, les processus et les appareils, et procèdent à des ajustements dans les opérations à la fois industrielles et à l'échelle de l'entreprise. On distingue trois catégories principales de convergence TI-TO : 1) la convergence des processus, qui couvre la convergence des flux de travaux, 2) la convergence des logiciels et des données, qui consiste à mettre les logiciels et les données du front-office au service des besoins de la TO, et 3) la convergence physique, qui consiste à faire converger ou à mettre à niveau des appareils physiques avec du matériel

informatique plus récent, afin de pouvoir ajouter la TI à la TO traditionnelle.

DevSecOps. Perçu comme une extension de l'approche DevOps, le DevSecOps (processus de développement, de sécurité et d'exploitation) est conçu pour intégrer des pratiques de sécurité au DevOps. Pour ce faire, le modèle traditionnel, articulé autour d'une équipe de sécurité centralisée, doit évoluer vers un modèle fédéré, pour permettre à chaque équipe d'intégrer les bons contrôles de sécurité à leurs pratiques de développement et d'exploitation (DevOps). Le DevOps est quant à lui un ensemble de pratiques qui combine le développement logiciel et les opérations informatiques afin de réduire les délais de commercialisation, permettre une exécution continue, et améliorer la qualité des logiciels.

Edge computing. Par opposition au *cloud computing*, le *edge computing*, ou "informatique en périphérie de réseau", fait référence au traitement décentralisé des données en périphérie d'un réseau. Il consiste à déplacer les applications, les données et les services informatiques des nœuds centraux (les data centers) vers les limites extérieures d'un réseau. En d'autres termes, l'objectif du *edge computing* est de traiter les flux de données aussi près que possible de leur origine et d'obtenir ainsi une latence plus faible que s'il fallait d'abord transmettre les données à un serveur dans le cloud.

Infrastructure / plateforme / logiciel

"en tant que service". En matière de *cloud computing*, on distingue généralement trois niveaux de service dans le cloud : l'infrastructure en tant que service (IaaS), la plateforme en tant que service (PaaS) et le logiciel en tant que service (SaaS). L'offre d'infrastructure en tant que service inclut généralement l'instance de serveur pour le calcul, le stockage de données et la fonctionnalité de mise en réseau. La plateforme en tant que

service ajoute un environnement de développement à la plateforme dans le cloud, en plus de l'instance de serveur, pour permettre aux entreprises de programmer des applications. L'offre de logiciels en tant que service comprend des logiciels facilement disponibles, hébergés et gérés dans le cloud. Ces trois niveaux de service ont en commun de fournir des infrastructures informatiques abstraites ou virtualisées. Cela signifie que l'infrastructure, la plateforme et les logiciels en tant que service, comme tous les services de *cloud computing*, peuvent être adaptés dynamiquement aux besoins des utilisateurs ou des entreprises à tout moment.

Infrastructure logicielle existante (*brownfield*). L'extension de capacité d'une installation existante (ou "*brownfield development*") est la notion communément utilisée dans le domaine des technologies de l'information pour décrire les problématiques qui nécessitent le développement et le déploiement de nouveaux systèmes logiciels en présence d'applications ou de systèmes logiciels déjà existants ou "hérités". Cette extension de capacité implique que toute nouvelle architecture logicielle devra tenir compte des logiciels déjà en place et coexister avec eux. Le concept d'infrastructure logicielle existante vaut aussi pour la technologie opérationnelle (TO), et se rapporte alors généralement à une installation de production existante utilisant une technologie opérationnelle déjà en place.

Internet industriel des objets (IIoT - *Industrial Internet of Things*). L'IIoT est l'utilisation de la technologie de l'Internet des objets (IoT) dans un cadre industriel, généralement dans un environnement B2B et souvent pour des applications opérationnelles telles que la production manufacturière, les chaînes d'approvisionnement et la logistique.

IO-Link. L'IO-Link est une norme de réseau de communication digitale industrielle point à point, bidirectionnelle et de courte distance, filaire ou non filaire, utilisée pour connecter des capteurs et des actionneurs numériques à un type de bus de terrain ou de réseau Ethernet industriel. Son objectif est de fournir une plateforme technologique permettant de développer et d'utiliser des capteurs et des actionneurs capables de produire et de consommer des ensembles enrichis de données. Ces derniers servent à optimiser, d'un point de vue économique, les opérations et les processus industriels automatisés.

Mode (de contrôle) en boucle fermée. On distingue deux types de boucles de contrôle : le contrôle en boucle ouverte et le contrôle en boucle fermée. Contrairement au contrôle en boucle ouverte, où l'action du contrôleur est indépendante de la sortie du processus (ou de la variable de processus contrôlée), l'action du contrôleur en boucle fermée dépend de la sortie du processus. Le contrôleur en boucle fermée dispose donc d'une boucle de rétroaction (*feedback loop*) par laquelle il réalise une action de contrôle sur la base des paramètres mesurés en sortie du processus.

MQTT. Le MQTT est un protocole de communication moderne et léger permettant de connecter efficacement des appareils distants avec une faible empreinte de code et des largeurs de bandes passantes très faibles.

OPC (*Open Platform Communications*). L'OPC est la norme d'interopérabilité qui sécurise et fiabilise les échanges de données dans les environnements d'automatisation industrielle et dans d'autres secteurs. Cette norme est indépendante des plateformes et garantit la fluidité de la circulation des informations entre les appareils de fournisseurs différents.

Pile logicielle industrielle. La pile logicielle industrielle regroupe l'ensemble de produits et d'outils logiciels nécessaires pour recueillir des données depuis un point d'extrémité industriel (une machine), afin d'en extraire des informations utiles, d'éclairer la prise de décision en vue de faire fonctionner la machine différemment, ou encore de soutenir d'autres décisions sur la façon d'exploiter les opérations sous-jacentes de manière plus efficace.

Plateforme de développement Low-code / No-code. Une plateforme de développement Low-code est un logiciel qui fournit un environnement de développement permettant de créer des logiciels d'application à l'aide d'interfaces graphiques et de configurations, au lieu de passer par la programmation informatique traditionnelle codée manuellement. Un modèle Low-code permet aux développeurs, quel que soit leur niveau d'expérience, de créer des applications en se servant d'une interface utilisateur visuelle combinée à une logique fondée sur un modèle. Une plateforme de développement No-code permet aux programmeurs et aux non-programmeurs de créer des logiciels d'application via des interfaces graphiques et des configurations, au lieu de passer par la programmation informatique traditionnelle. Les plateformes de développement No-code sont étroitement liées aux plateformes de développement Low-code, car elles sont toutes deux conçues pour accélérer le processus de développement d'applications.

Plateforme IIoT. Dans l'IIoT, les plateformes sont conçues pour déployer des applications permettant de surveiller, gérer et contrôler des appareils connectés. Les plateformes IIoT traitent ainsi des problèmes tels que la connexion et l'extraction de données à partir d'un grand nombre et d'une

grande variété de points d'extrémité (*end points*), lesquels sont parfois situés dans des endroits peu pratiques et où la connectivité est irrégulière.

SCADA - Contrôle et acquisition de données en temps réel. Un système de contrôle et d'acquisition de données en temps réel est une architecture de système de contrôle qui utilise des ordinateurs, des communications de données en réseau et des interfaces utilisateur graphiques pour la supervision des processus de haut niveau. Il intègre d'autres dispositifs périphériques, tels que des automates programmables et des régulateurs PID (*Proportional – Integral – Derivative*) discrets pour s'interfacer avec les équipements ou les machines impliquées dans le processus de production. Le système de contrôle et d'acquisition de données gère les interfaces opérateur qui permettent de surveiller et de transmettre des commandes de processus, telles que des modifications des points de consigne des contrôleurs. La logique de commande en temps réel ou les calculs des contrôleurs sont toutefois assurés par des modules en réseau qui

se connectent aux capteurs de terrain et aux actionneurs.

Système numérique de contrôle-commande (*Distributed control system*). Les systèmes industriels automatisés complexes qui sont utilisés dans les industries d'assemblage et le traitement de la production nécessitent un système numérique de contrôle-commande. Organisé sous la forme d'une arborescence hiérarchisée, un système numérique de contrôle-commande commence par relier les différents composants (actionneurs, contacteurs, moteurs, capteurs, interrupteurs et valves) sur le terrain (par exemple dans l'atelier ou en production) à des automates programmables (PLC). Ces automates sont eux-mêmes connectés à une interface homme-machine, généralement un écran permettant aux opérateurs de surveiller la performance générale du système et le comportement des composants et, si nécessaire, d'ajuster les paramètres en conséquence.

Technologie de l'Information (TI). La TI comprend toute utilisation d'ordinateurs, de dispositifs de stockage, de mise en

réseau ou d'autres dispositifs physiques, d'infrastructures et de processus pour créer, traiter, stocker, sécuriser et échanger toute forme de données électroniques.

Technologie opérationnelle (TO). La technologie opérationnelle, qui est traditionnellement associée à la production manufacturière et aux environnements industriels, comprend les systèmes de contrôle industriel tels que le contrôle de supervision et l'acquisition de données. Alors que la technologie de l'information (TI) inclut la communication dans son champ d'application, la technologie opérationnelle n'est traditionnellement pas une technologie mise en réseau, c'est-à-dire qu'elle n'est pas connectée à un réseau plus vaste via Internet. Par le passé, de nombreux dispositifs de surveillance ou d'ajustement n'étaient pas informatisés, et ceux qui disposaient de ressources informatiques utilisaient généralement des protocoles fermés et des automates programmables, plutôt que des technologies permettant une gestion entièrement informatisée.

Les auteurs

Andreas Behrendt

Directeur associé, Cologne

Andreas_Behrendt@mckinsey.com

Enno de Boer

Directeur associé, New Jersey

Enno_de_Boer@mckinsey.com

Valerio Dilda

Directeur associé, Paris

Valerio_Dilda@mckinsey.com

Tarek Kasah

Directeur de projets, Düsseldorf

Tarek_Kasah@mckinsey.com

Bodo Koerber

Directeur associé, Düsseldorf

Bodo_Koerber@mckinsey.com

Niko Mohr

Directeur associé, Düsseldorf

Niko_Mohr@mckinsey.com

Gérard Richter

Directeur associé senior, Francfort

Gerard_Richter@mckinsey.com

Julie Rose

Directrice associée, Paris

Julie_Rose@mckinsey.com

François Soubien

Directeur associé, Paris

Francois_Soubien@mckinsey.com

Les auteurs tiennent à remercier Isabel Blum, Alexander Busse, Beltir Caglar-Dayani, Bill Corrigan, Leonides de Ocampo, Robert Feldmann, Jörg Hanebrink, Alexander Knaak, Zina Kolesova, Dennis Küsters, Marion Obadia, Prashanth Parthasarathy, Tanina Sehl, Tyler Smith, Florian Surek, Joris van Niel, Zach Warren, Adrian Widmer et Hayden Zheng pour leurs contributions à la réalisation de ce rapport.

Mars 2022

Copyright © McKinsey & Company

Design : Céline Joly

www.mckinsey.fr

 @McKinsey_France

 @McKinseyFrance

