



Industrie 4.0

Comment les technologies numériques modifient les processus de production des entreprises

Les résultats d'une enquête effectuée dans dix pays européens sur les attentes des employés et des employeurs



L'industrie 4.0

Comment les technologies numériques modifient les processus de production des entreprises

Les résultats d'une enquête menée dans dix pays européens

Effectuée en mars 2022
par le Handelsblatt Research Institute

Les auteurs :
Dennis Huchzermeier
Dr Sven Jung
Dr Frank Christian May
Thomas Schmitt

Contenu

6 1 Introduction

8 2 La transformation numérique de la production

- 9 2.1 La fabrication additive
- 11 2.2 Les réalités augmentée, mixte et virtuelle
- 12 2.3 L'analytique de données massives
- 12 2.4 La blockchain
- 13 2.5 L'informatique en nuage et l'informatique en périphérie
- 14 2.6 Les jumeaux numériques
- 14 2.7 L'Internet des objets
- 16 2.8 L'intelligence artificielle
- 18 2.9 La robotique

19 3 L'Industrie 4.0 : les résultats d'une enquête menée dans dix pays européens

- 19 3.1 La méthodologie de l'enquête
- 20 3.2 La transformation numérique de la production
 - 20 3.2.1 Les dimensions de l'industrie 4.0
 - 21 3.2.2 L'état actuel de la transformation numérique
 - 24 3.2.3 Les défis posés par la transformation numérique de la production
 - 26 3.2.4 La responsabilité principale de la transformation numérique de la production
 - 27 3.2.5 L'évaluation des avantages de l'industrie 4.0
- 28 3.3 Les nouvelles technologies
 - 28 3.3.1 L'impact attendu des technologies innovantes sur l'avenir de la production et leur mise en œuvre
 - 31 3.3.2 Les critères de décision lors de la sélection des fournisseurs de technologies
- 33 3.4 L'Internet des objets : les applications possibles
- 37 3.5 La réalité augmentée : les utilisations envisageables
- 39 3.6 L'intelligence artificielle : les possibilités d'applications
- 42 3.7 L'évolution des processus
- 43 3.8 L'interprétation des résultats

45 4 Des exemples issus de la pratique

52 5 Conclusion

1 Introduction

La transformation numérique trouve ses origines dans le secteur des services. C'est dans ce domaine que des technologies telles que les plateformes numériques ou les chatbots ont pour la première fois été utilisées lors d'interactions avec des particuliers. Mais tout spécialement dans des pays tels que l'Allemagne, dans lesquels la production industrielle joue un rôle majeur dans la macroéconomie, l'accent a été mis par la suite sur un développement accéléré afin de numériser la production au sein des entreprises.

On parle souvent en relation avec la transformation numérique de l'industrie, et tout particulièrement de la production, de la « quatrième révolution industrielle ». La première révolution industrielle survenue à la fin du XVIII^e siècle grâce à la mécanisation a été suivie au début du XX^e siècle par la seconde révolution industrielle surtout marquée par l'utilisation de l'énergie électrique pour la production de masse. On a ensuite durant les années 1970 assisté à la troisième révolution industrielle caractérisée par une automatisation à grande ampleur de la production, rendue possible par une utilisation accrue des ordinateurs.

La numérisation constitue actuellement la base de la quatrième révolution, ce qui explique que l'on parle souvent dans ce contexte d'« industrie 4.0 » (en anglais « Industry 4.0 »). Pour les entreprises opérant dans l'industrie de la production, la trans-

formation numérique promet des avantages financiers grâce à la baisse des coûts ou aux potentiels de rendement, mais elle implique également une restructuration fondamentale des processus internes et de la chaîne logistique.

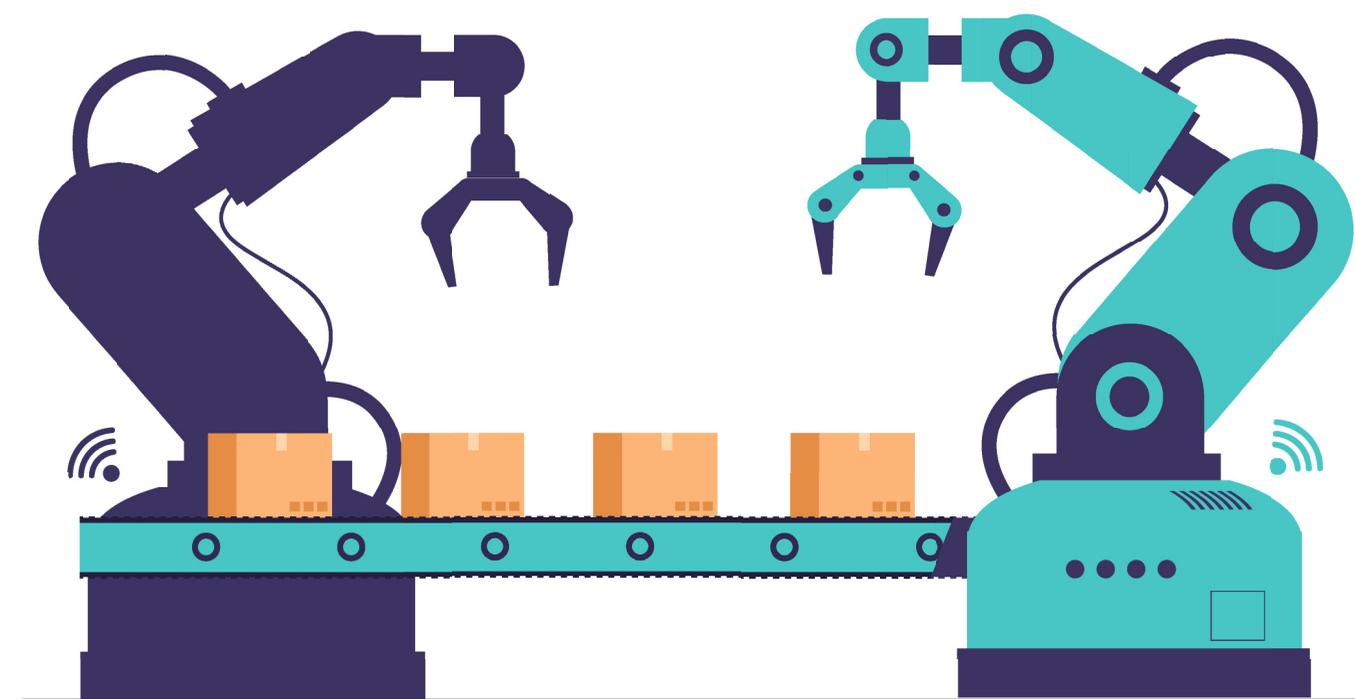
L'industrie 4.0 constitue donc un aspect clé de la transformation numérique de l'économie. Dans le même temps, ce thème présente un lien étroit avec ceux de la logistique 4.0 et du travail 4.0 que le Handelsblatt Research Institute et TeamViewer ont déjà traités au sein de deux rapports précédents. L'absence de logistique interne compromet la production car les composants et les produits doivent pouvoir être transportés entre les différentes étapes de la production. À cela s'ajoute que l'utilisation de certaines technologies dans le cadre de la transformation numérique de la production implique une évolution des opérations et par suite une modification des processus de travail des employés.

En raison de ce lien étroit et du rôle central de l'industrie 4.0 dans l'économie, ce rapport traitera de ce thème. La base de la présente enquête est un sondage effectué auprès d'entreprises situées dans dix pays d'Europe. Ceci permet de bénéficier d'une vision « européenne » de l'industrie 4.0 et offre l'opportunité d'identifier d'éventuelles différences entre les pays : à titre d'exemple, les entreprises espagnoles sont-elles plus avancées dans la transformation

numérique de leur secteur de production ou bien procèdent-elles différemment que les entreprises en Pologne ?

Afin de rendre ce thème plus tangible, ce rapport s'achève par des exemples concrets issus de la pratique. Ceux-ci illustrent les voies que les entreprises ont déjà empruntées pour la numérisation de leur produc-

tion. Mais pour commencer, il convient tout d'abord d'expliquer ce que l'industrie 4.0 représente sur le plan théorique.



2 La transformation numérique de la production

La transformation numérique de la production implique une modification de nombreux processus au sein des entreprises, et ceci bien au-delà des sites de production. À titre d'exemple, l'industrie 4.0 entraîne également une modification des processus de travail des employés.

La transformation repose cependant toujours sur la mise en œuvre de nouvelles technologies numériques. Avec la mise en réseau et l'autogestion, les processus de production deviennent toujours plus numériques et autonomes. Les méthodes de fabrication traditionnelles s'allient à des technologies modernes et à l'analyse des données en temps réel afin de créer une usine intelligente. Plus grande est la quantité de données et d'informations échangées et traitées et plus les systèmes peuvent agir de manière intelligente. Les machines et les installations sont de plus en plus capables d'optimiser de manière autonome leurs processus tout au long de la chaîne de valeur.

L'industrie 4.0 confère ainsi de nombreux avantages aux entreprises. Parmi ceux-ci, on peut mentionner une augmentation de l'efficacité, une réduction des coûts et des économies au niveau des ressources. Les processus deviennent toujours plus intelligents, flexibles et rapides, ce qui permet toujours plus d'automatisation et ainsi une hausse de la productivité, une baisse des

coûts de fabrication et des frais d'exploitation, une meilleure évolutivité et plus de durabilité lors de la fabrication. À moindres frais et grâce à une évolution des interactions humaines, les entreprises vont être en mesure de produire et de livrer plus de produits dans une qualité toujours supérieure. En effet, le processus de production est très influencé par l'auto-optimisation et une prise de décisions autonome du système. Ceci entraîne également une utilisation optimisée des machines. En conséquence, il est alors possible de réduire l'utilisation des ressources, ainsi que le stockage de matières premières et de pièces de rechange. Un contrôle qualité en temps réel permet aussi de limiter la production de déchets. L'industrie 4.0 permet une traçabilité plus efficace du processus de fabrication. Par voie de conséquence, la planification des processus de l'entreprise s'améliore, alors que dans le même temps l'immobilisation des machines diminue. Ceci résulte entre autres d'une maintenance optimisée.

D'autre part, les conditions de travail des employés deviennent plus sûres et moins pénibles grâce à des robots et à des machines capables d'effectuer les tâches monotones et dangereuses. Pour répondre à un besoin toujours plus pressant, les entreprises pourront également dans un futur environnement de production toujours plus individualiser leurs produits afin que les

clients aient la possibilité de choisir entre une multiplicité d'options. Une plus grande flexibilité au niveau de la production s'étend de la production de produits dans un vaste choix de versions à la création d'exemplaires uniques.

Ceci impacte non seulement les processus de production, mais permet également de créer de nouveaux produits et modèles d'affaires. Ces évolutions potentielles reposent sur une série de technologies de base que nous allons décrire succinctement ci-après.

2.1 La fabrication additive

La fabrication additive, que l'on appelle également impression 3D, est un processus de fabrication au cours duquel un matériau est ajouté ou assemblé couche par couche afin de fabriquer un produit. Ce matériau n'est utilisé que là où cela s'avère nécessaire pour la fabrication du produit, ce qui signifie en clair que les contours de la forme finale seront préservés. Ce procédé permet « d'imprimer » chaque objet indépendamment de sa forme. Les formes et les outils complexes deviennent ainsi superflus et laissent la place aux données numériques appropriées.

La fabrication additive peut être effectuée avec différents matériaux. Actuellement, les plus utilisés sont des métaux tels que l'aluminium, le titane, les plastiques et la céramique. La fabrication additive permet également l'utilisation d'alliages composites (par exemple à base de nickel ou de titane).

La flexibilité au niveau de la production constitue l'un des avantages majeurs de

la fabrication additive. Contrairement aux procédés de fabrication les plus courants pour lesquels chaque nouvelle géométrie requiert des outils et des formes spécifiques, l'impression 3D autorise des modifications individuelles directes au niveau de la conception du produit. Des modifications du produit peuvent être effectuées pratiquement à tout moment sans longs délais de développement nécessaires pour la fabrication d'outils de travail indispensables pour la production. Ceci rend la fabrication de produits rentable sur le plan économique, et ceci même pour la production de pièces uniques. Cette plus grande flexibilité induit aussi plus de liberté lors de la conception et ainsi un design des produits plus individuel et personnalisé. La production est également bien plus efficace grâce à la réduction de la consommation de matériaux et du stockage.

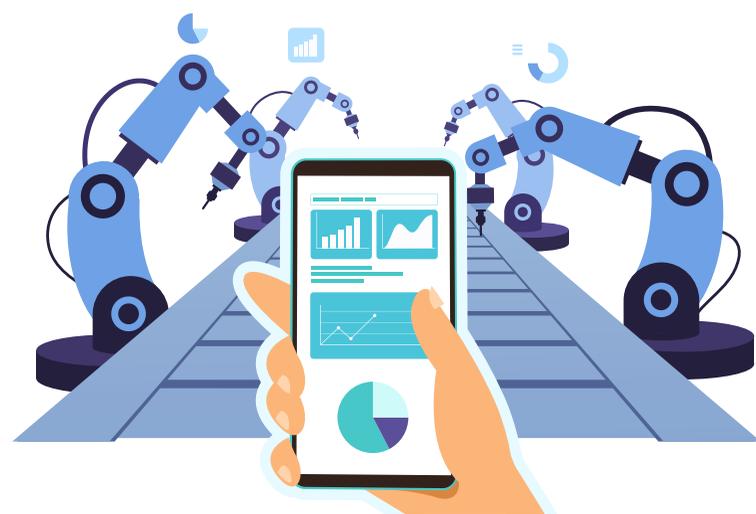
Le recours à la fabrication additive permet aussi de produire des éléments complexes en une unique étape. Auparavant, il était nécessaire de commencer par produire chaque composant afin de pouvoir ensuite les assembler pour construire l'élément désiré. Les entreprises peuvent aujourd'hui économiser du temps et de l'argent.

Pendant longtemps, l'utilisation d'appareils d'impression 3D s'est limitée à la fabrication de prototypes. Ceci demeure encore aujourd'hui l'un des domaines d'utilisation principaux de la fabrication additive. Les entreprises construisent et améliorent en permanence les prototypes afin d'optimiser leurs produits et d'éliminer leurs défauts. Lorsqu'elles ont recours sur site à l'impression 3D en utilisant leurs propres matériaux,

l'ensemble du processus s'en trouve accéléré et devient plus rentable qu'une collaboration avec des fournisseurs externes. Autre avantage, une imprimante 3D n'occupe aucune place sur les chaînes de production, ce qui permet de prévenir les immobilisations et les coûts élevés.

La production additive tient également un rôle majeur pour la production en petites séries. Elle contribue à réduire les coûts de fabrication des produits fabriqués en faibles ou en moyens nombres d'exemplaires en rendant superflus les outils et les formes onéreux. De plus, l'impression 3D s'est avérée déterminante pour la production sur demande car elle autorise l'impression de composants directement sur place, réduisant ainsi les frais de stockage. Ceci s'applique également à la production de pièces détachées. Nul besoin donc d'entreposer des pièces détachées ou de devoir accepter de longs délais. Grâce à l'impression 3D, une machine défectueuse peut être remise en marche bien plus rapidement et ainsi éviter des interruptions de la production. La dépendance envers des fournisseurs externes s'en trouve également réduite, ce qui, surtout pour les longs trajets et délais

de livraison, constitue un avantage non négligeable. Dorénavant l'utilisation de l'impression 3D ne se limite plus à la production de prototypes, de petites séries ou de pièces détachées et elle est désormais aussi employée pour la fabrication en grande série. En comparaison avec les procédés de production courants tels que le moulage par injection, force est de constater que la fabrication en série de formes simples en ayant recours à l'impression 3D peut s'avérer plus lente et plus onéreuse. Cependant, dans certains domaines d'utilisation, les progrès techniques rendent l'utilisation de méthodes de fabrication additive également attractive pour la production en série. Grâce à l'acquisition de compétences liées aux technologies et aux procédés d'impression en 3D, au matériel peu onéreux et à l'amélioration de l'évolutivité, la fabrication en série peut également profiter des avantages offerts par l'impression 3D. Ceci permet de bénéficier de délais de commercialisation plus courts, de flexibilité lors des modifications des installations de production et de la fabrication sur mesure de produits, et ceci également pour la production en série. L'idéal serait de pouvoir intégrer l'impression 3D dans les machines déjà utilisées.



2.2 Les réalités augmentée, mixte et virtuelle

Par réalité augmentée (RA), on entend l'enrichissement du monde réel par l'ajout d'éléments et leur affichage dans le monde réel grâce à des appareils portables tels que des smartphones, des tablettes ou des lunettes spéciales également appelées lunettes intelligentes. La RA peut enrichir le monde réel sous la forme de textes, de graphiques, d'images ou de vidéos afin que les utilisateurs puissent voir des objets à la fois réels et virtuels et puissent interagir avec eux. Des informations liées au processus, pertinentes pour le contexte et le temps, aident les utilisateurs à effectuer des actions manuelles.

La RA trouve de nombreuses utilisations dans l'industrie. La RA est tout d'abord utilisée en tant que méthode rapide et simple pour la formation continue grâce à des directives de travail virtuelles qui assistent chaque apprenant en affichant les différentes étapes et manipulations à effectuer. Les employés peuvent ainsi se former sur des machines ou bien effectuer différentes opérations, telles que par exemple les travaux de maintenance habituels, les réparations ou le montage. Une répartition progressive des informations permet aux participants de les recevoir plus facilement et ainsi de considérablement réduire le taux d'erreurs. Les informations et les instructions de travail pour la machine sont projetées directement dans le masque de RA afin que le technicien puisse utiliser ses deux mains durant toutes les étapes de son travail. Des manuels numériques sont mis à disposition pour les travaux réguliers de maintenance des installations souvent com-

plexes. Il n'est ainsi plus nécessaire d'avoir recours à des documents écrits sur papier. La documentation peut également être intégrée directement dans le processus. À titre d'exemple, l'employé peut enregistrer des commentaires vocaux qui seront ensuite convertis en texte (fonction « Speech to Text ») ou bien prendre des photos grâce à la caméra intégrée à son terminal. Une fois cette intégration établie, il devient également possible de restituer automatiquement ces rapports dans le système.

La RA favorise de plus une collaboration à distance. Ainsi, si l'on ne dispose d'aucun expert sur place, on peut avoir recours au soutien d'un technicien localisé à distance. Via des conversations vidéo, il est possible de bénéficier de l'avis d'experts et de promouvoir ainsi une résolution coopérative des problèmes. Et durant ce processus, l'expert voit exactement les mêmes informations que le technicien.

La réalité mixte (RM) fonctionne en principe de manière similaire à la RA, mais elle permet en plus d'intégrer des objets en 3D virtuels, des indications et des instructions de manière fixe ou durant une période prolongée. Le technicien peut ainsi garder simultanément la machine et les instructions dans son champ de vision. D'autres employés ou des experts externes peuvent aussi simultanément suivre les mêmes instructions. Les objets demeurent toujours à l'endroit où ils sont intégrés, même lorsque le technicien est absent. Ceci permet de plus en plus d'accélérer les travaux de réparation.

Avec la réalité virtuelle (RV), l'utilisateur est confronté à une représentation de la réalité générée par ordinateur. Un système de RV est un univers entièrement coupé de la réalité extérieure et créé artificiellement par des images et parfois aussi du son. Cet univers est accessible sur de grands écrans, dans des espaces prévus à cet effet ou grâce à des masques spéciaux.

Les systèmes de RV présentent un intérêt réduit au sein de la production car ils sont entièrement détachés de la réalité du monde extérieur. Leurs champs d'applications concernent la simulation dans le cadre de la formation et de l'apprentissage ainsi que la fabrication de prototypes virtuels et la configuration de produits.

Les systèmes de RA, RM et RV permettent de réduire les délais de fabrication et de réduire le taux d'erreurs. Ils facilitent le travail, accélèrent l'exécution des tâches et réduisent le taux d'accidents. Sans oublier qu'ils facilitent l'apprentissage et la formation continue du personnel sans contraintes de temps.

2.3 L'analytique de données massives

Les données constituent des éléments vitaux de l'usine numérique car elles peuvent être transformées en connaissances et découvertes. En raison de la mise en réseau toujours croissante des installations de production, d'énormes quantités de données structurées et non structurées sont créées et doivent être traitées dans les plus brefs délais. Les constats effectués servent en

suite à optimiser la production, si bien que les applications du Big Data jouent un rôle significatif dans l'industrie 4.0.

Les données récupérées des appareils connectés proviennent de l'ensemble de la chaîne de valeur et concernent tout le cycle de vie des produits. Elles constituent la base de l'analyse du Big Data. Cependant, ces données n'offrent une valeur ajoutée aux entreprises que si elles sont collectées et évaluées correctement. L'analytique de données massives permet de combiner, de comparer et de traiter les données les plus diverses collectées lors du processus de fabrication. Elles comprennent les données provenant de capteurs, telles que la température, la pression, les débits, les vibrations, ainsi que les données géographiques, telles que l'emplacement des appareils et des routes et des données générales concernant les installations comme les intervalles de maintenance ou la description de moments critiques. Seul un traitement innovant des informations autorise à partir d'échantillons de données la reconnaissance de précieuses corrélations, motifs, tendances et préférences sur la base desquels il deviendra possible de prendre d'importantes décisions liées au processus de production.

2.4 La blockchain

Alors qu'aux origines, l'utilisation principale de la technologie des blockchains était largement réservée à des applications dans le secteur financier, on constate à présent que les blockchains peuvent aussi ajouter de la valeur dans certains secteurs de l'industrie 4.0. Elles autorisent la création de

nouveaux modèles d'affaires, de formes d'organisation et de processus de travail innovants. Grâce à des blockchains, une bien plus grande quantité de données collectées lors de la fabrication peut être utilisée car des normes de sécurité plus élevées peuvent être garanties. Les caractéristiques des blockchains permettent de documenter des données sensibles liées aux processus telles que des mesures spécifiques, des caractéristiques de produits ou des qualités de matériaux de manière irréversible, sûre, transparente et vérifiable pour toutes les personnes concernées, ce qui crée par voie de conséquence la base d'une confiance mutuelle entre les différentes parties aux intérêts divergents. Une blockchain sert de système décentralisé de stockage de données qui ne sont ultérieurement plus modifiables, mais sont en permanence mises à jour pour les personnes concernées. Les données peuvent ainsi dès la conclusion d'un contrat documenter de manière accessible à tous les données concernant la production, le conditionnement et les livraisons. Une blockchain peut donc être considérée comme un « réseau ou une plateforme de confiance » qui favorise l'automatisation de la production. Les blockchains peuvent ainsi à titre d'exemple contenir des informations liées à l'identification des produits, des modules ou bien des composants. Ceci autorise un contrôle qualité constant au sein des processus de production et les entreprises peuvent ainsi garantir que tous les modules et produits qui sortent de leurs usines affichent une qualité irréprochable car une blockchain permet de découvrir à temps les défauts et ainsi de les éliminer. Au sein de la production, une blockchain peut également

permettre l'achat de matières premières et la vente de produits finis directement via les machines de production, le tout pour une large part sans intervention humaine. En conséquence, grâce aux blockchains, il est possible de toujours plus automatiser les processus de production et de créer de nouveaux modèles d'affaires.

2.5 L'informatique en nuage et l'informatique en périphérie

L'informatique en nuage permet de créer une infrastructure informatique virtuelle et évolutive pour une usine intelligente. L'utilisation de plateformes d'informatique en nuage permet aux entreprises d'accéder à des données, des processus, des applications et un espace de stockage provenant d'un centre de données – le nuage –, sans avoir à construire elles-mêmes une infrastructure physique onéreuse et complexe. Le nuage représente ainsi la plateforme qui permet de faire fonctionner des applications logicielles industrielles. Il autorise également la mise en réseau de systèmes et d'installations indépendamment de leur localisation. Les plateformes d'informatique en nuage offrent une flexibilité et une évolutivité élevées car elles sont simples à adapter et à modifier.

Toutes les données collectées dans une usine intelligente peuvent être stockées et sauvegardées dans le nuage et être téléchargées de partout. Grâce à l'informatique en nuage, il est possible de procéder à un stockage de données provenant de différents environnements de production avec leurs propres composants et sources de

données de manière centralisée. À cela s'ajoute que dans le nuage, les données les plus diverses peuvent être rassemblées et évaluées à condition de disposer d'outils d'analyse adaptés. Dans le nuage, les données liées à la production peuvent être traitées en temps réel et ainsi servir de base directe pour la prise de décision.

Mais étant donné que durant le processus de fabrication il est nécessaire de traiter de très grandes quantités de données, et cela souvent en temps réel, l'informatique en nuage ne constitue pas toujours la solution optimale. Les solutions en nuage sont bien mieux adaptées aux applications qui ne nécessitent pour le transfert qu'une faible largeur de bande de réseau car les connexions rapides sont le plus souvent associées à des frais supplémentaires. Les grandes quantités de données qui en outre doivent être traitées avec un temps de latence réduit, c'est-à-dire le temps nécessaire aux données pour être transférées sur Internet en aller-retour d'un appareil vers un serveur, requièrent une solution plus efficace. Ceci concerne surtout les applications utilisées dans les usines de production car celles-ci ont souvent besoin de réactions rapides ou même en temps réel. L'informatique en périphérie a démontré ses avantages pour éliminer le temps de transfert aller-retour des données au sein du nuage. Ici, les données sont traitées de manière décentralisée, directement sur leur lieu de création, ce qui autorise un plus faible trajet de transfert et conduit ainsi à des temps de traitement fortement réduits de moins d'une seconde. Au lieu d'être traitées dans un centre de données éloigné, les données sont ici traitées

par des dispositifs de périphérie, comme par exemple le capteur d'une machine ou un smartphone. Grâce à l'informatique en périphérie, une infrastructure décentralisée est placée en amont du nuage qui autorise un transfert des données en temps réel.

2.6 Les jumeaux numériques

Un jumeau numérique permet de créer une copie numérique d'une grande fidélité des processus de production. L'objectif est ici de mieux comprendre et de retracer le processus réel de fabrication. Lors de la création d'une réplique numérique d'une machine ou d'une installation, les actions sont simulées en temps réel par les données collectées par les capteurs utilisés. Lorsque cette réplique doit être analysée pour découvrir d'éventuelles pénuries, problèmes ou améliorations potentielles, le fonctionnement de l'entreprise n'en est en rien affecté. Un jumeau numérique autorise la représentation du cycle de vie dans sa totalité. Il permet de simuler, de prévoir et d'améliorer le fonctionnement d'une machine. Ceci autorise une optimisation des processus et de l'utilisation des matériaux sans avoir à effectuer des investissements élevés et sans devoir intervenir sur le processus réel. De manière idéale, les problèmes peuvent déjà être décelés et prévenus avant le démarrage. Les voies de production hautement complexes peuvent ainsi être contrôlées sans trop d'efforts. Ce qui par voie de conséquence entraîne une réduction des temps d'immobilisation et de démarrage.

2.7 L'Internet des objets

En anglais Internet of Things (IoT) : au niveau concret, dans le contexte de la production, l'Internet des objets industriel (IIoT) décrit un réseau numérique et toutes les ressources physiques et numériques utilisées lors du processus de fabrication qui sont reliées entre elles par des capteurs afin de collecter et d'analyser en permanence des données opérationnelles pour mettre à profit toutes ces informations pour une amélioration des processus. L'entreprise devient ainsi toujours plus transparente, tandis que le suivi de la productivité et de l'efficacité s'en trouve facilité. Étant donné que les machines sont plus efficaces que les êtres humains pour collecter des données de manière précise et consistante, pour les communiquer et les analyser, les potentiels pour les processus de production sont énormes. Il en résulte que l'IIoT rend des données disponibles depuis des années dans l'environnement industriel désormais utilisables. Ces données peuvent être rassemblées dans une banque de données centrale et procurer un vaste aperçu des processus d'un site, autorisant ainsi des comparaisons avec les autres sites d'une entreprise. L'objectif final étant une production optimisée et organisée de manière autonome tout au long de la chaîne de valeur.

Contrairement à l'Internet des objets utilisé dans d'autres secteurs, avec l'IIoT, ce ne sont ni les consommateurs ni les utilisateurs qui doivent profiter de ses potentiels, mais plutôt les processus et les opérations industriels, même si ces deux types d'IoT reposent sur les mêmes concepts et technologies parmi lesquels l'interconnectivité,

l'automatisation, l'autonomie et les données en temps réel. L'IIoT permet de contrôler et de surveiller des tâches et des processus de production. Ceci est entre autres rendu possible par une technologie intelligente et précise de capteurs qui sont par exemple intégrés dans des machines, des appareils, une infrastructure, des systèmes énergétiques ou des conduites. Les commandes ne doivent pas obligatoirement se trouver sur place et peuvent être passées à distance. Les objets physiques et virtuels sont connectés par des plateformes IIoT. Celles-ci traitent et évaluent des données créées lors du processus de production, parfois même en temps réel. Ceci permet de bénéficier de plus de transparence pour les processus de production, ainsi que tout au long de la chaîne logistique, et d'automatiser, d'optimiser, de prévoir et de rationaliser les opérations. Les erreurs, d'éventuels défauts et des besoins de maintenance peuvent ainsi être précocement décelés et corrigés.

Et enfin, il est ensuite possible de prendre des décisions sur la base des informations traitées, de procéder à des ajustements manuels ou de créer un processus de production entièrement ou partiellement autonome. De la même manière, les problèmes d'efficacité et autres peuvent être décelés de manière précoce. Les solutions offertes par l'IIoT permettent aussi des optimisations dans la gestion des ressources, comme par exemple la réduction de la consommation d'énergie grâce à la détection de machines peu efficaces ou l'intégration d'énergies renouvelables. L'eau et d'autres ressources peuvent également être utilisées de manière

bien plus efficace. Sans oublier que la surveillance constante de l'état et des performances des machines et des installations peut permettre de prévenir à temps une éventuelle panne grâce à des travaux de maintenance effectués de manière préventive. Grâce à l'analyse d'indicateurs prédéterminés tels que la température, les tensions, les niveaux et les vibrations, il devient possible de déceler des écarts qui peuvent annoncer des pannes ou des baisses de performances. Grâce à l'alarme donnée par le système, des problèmes peuvent être prévenus. Pour optimiser la chaîne logistique, les transports de matières premières, les produits intermédiaires et les produits finis peuvent être suivis tout au long de leurs trajets et il est possible de réagir à d'éventuels délais. Le système garantit un réapprovisionnement sans faille des matières premières afin d'éviter des temps morts au sein de la production.

2.8 L'intelligence artificielle

Grâce à l'intelligence artificielle (IA), il est dorénavant possible dans le secteur manufacturier d'atteindre un nouveau niveau d'automatisation industrielle. Que ce soit pour la production effectuée par des machines ou dans un environnement de production, l'IA est utilisable dans les secteurs les plus divers, que ce soit pour le développement de produits ou de processus, la planification des ressources, les achats ou la maintenance et la logistique. Les machines contrôlées par IA offrent de nouvelles options pour l'organisation du processus de production en acquérant de nouvelles connaissances de manière autonome et en

pilotant les processus de manière intuitive, ce qui réduit la nécessité d'une intervention humaine. Grâce à l'IA, elles sont à même d'apprendre par elles-mêmes, de s'auto-optimiser et de réagir à des modifications. Si des données de machines structurées se trouvent combinées à des données non structurées telles que des photos, des vidéos ou des sons, elle est capable de reconnaître des motifs et des corrélations. Plus l'IA possède des performances cognitives élevées, moins une intervention humaine s'avèrera nécessaire pour les différentes opérations.

La quantité de données pratiquement illimitée provenant de capteurs qui peut être collectée lors d'un processus de production au sein de l'industrie 4.0 ne peut être évaluée de manière adéquate en temps réel que grâce à l'IA afin d'être utilisée et optimisée. Ceci permet de bénéficier de connaissances liées au processus de production jusque-là absentes. Au sein de la production, l'IA trouve de nombreuses utilisations dans le domaine de l'automatisation industrielle. L'IA est capable de coordonner de manière autonome des processus de fabrication ou bien de porter assistance aux employés humains ou aux robots pour les tâches difficiles à effectuer lors du montage. De l'utilisation de l'IA résulte une fabrication plus rapide et de meilleure qualité effectuée avec une réduction de la consommation des matériaux et de l'énergie.

Certaines étapes du processus et même des processus complexes complets effectués au sein des limites définies de certains systèmes peuvent être surveillés, optimisés et contrôlés de manière autonome et avec

une interaction humaine minimale grâce à l'utilisation de l'IA selon des critères liés à l'efficacité et à la réduction des coûts. Les machines sont en mesure d'apprendre de manière autonome des relations complexes et d'agir seules au sein du cadre qu'on leur a fixé de manière anticipée ou durant les opérations.

Des aspects jusque-là restés dissimulés peuvent être découverts et d'éventuels problèmes et anomalies décelés au sein du processus de fabrication puis éliminés car l'IA possède la capacité de réagir en temps réel à des circonstances imprévues ou changeantes. La surveillance en temps réel offre de nombreux avantages, parmi lesquels l'élimination des goulets d'étranglement au niveau de la production, le suivi des taux de rebut et le respect des délais de livraison aux clients.

La maintenance prédictive (« predictive maintenance ») constitue une autre application de l'IA au sein du processus de production. Les capteurs des machines connectées permettent de collecter de nombreuses données liées à leur état. Les algorithmes savent dorénavant reconnaître certains motifs de données concernant les machines, ce qui leur permet d'effectuer des diagnostics sur leur état. Si jusqu'à présent on se fondait sur des règles (par ex. le dépassement d'une valeur prescrite) pour déterminer grâce aux données un besoin de maintenance, grâce à l'IA, il est désormais possible de bénéficier d'une analyse plus rapide des données et de pronostics plus précis pour les besoins d'intervention. En général, l'immobilisation imprévue des machines génère des coûts non négligeables. Afin de les éliminer, il est possible dans le cadre de la maintenance prédictive de surveiller les machines et les

installations de production et d'effectuer leur entretien de manière préventive. On peut ainsi effectuer des réparations de manière proactive avant que des dommages ne soient survenus et ainsi maximiser leur durée de fonctionnement. La maintenance prédictive autorise également des dates d'entretien individuelles pour chaque machine et leurs composants. La prédiction des travaux de maintenance ou de réparations permet d'augmenter considérablement la durée de vie des installations, des machines et des outils.

À cela s'ajoute que dans le secteur de la production mécanique, des processus de fabrication toujours plus complexes peuvent entraîner des réglages erronés, des risques plus élevés de défaillances et par voie de conséquence, du travail supplémentaire et la consommation de ressources. Un contrôle qualité rapide et précis effectué grâce à l'IA peut donc présenter un avantage essentiel et rentable. Grâce à la reconnaissance intelligente des images effectuée par des systèmes auto-apprenants et à une analyse des données de fonctionnement, l'état actuel des produits peut être comparé automatiquement avec l'état prescrit. Des défauts de qualité peuvent ainsi être décelés et corrigés plus précocement. Pour cela, il est également nécessaire que les systèmes en lien avec la production tels que la surveillance des états, la planification de la production et la qualité des processus soient connectés. Dans l'idéal, les résultats devraient pouvoir être traités en temps réel afin que la production puisse réagir immédiatement. Ceci devrait permettre de réduire ou d'éliminer significativement les produits finis défectueux.

L'IA est en mesure d'effectuer de nombreuses tâches monotones des processus routiniers de la fabrication et du montage et également

de traiter des tâches simples grâce à la commande vocale. Les systèmes de transports sans chauffeurs connectés et commandés par l'IA peuvent également considérablement contribuer à l'amélioration des processus de production.

2.9 La robotique

Traditionnellement, les robots se chargeaient des tâches routinières et répétitives. Ceci nécessitait une programmation complexe de l'installation de production et offrait peu de possibilités d'ajustement pour des conditions en perpétuelle évolution. Mais grâce à l'évolution technologique et au recours à l'IA, les robots mobiles autonomes (AMR) nécessitent bien moins de travail de programmation. Les AMR sont utilisés dans la production dans l'objectif de minimiser le travail manuel. Ils peuvent se différencier au niveau de leur taille, de leur fonctionnalité, de leur mobilité, de leur agilité et de leur intelligence. Ils sont mis à contribution pour l'automatisation des processus assistée par des robots jusque sous la forme de drones. Ils se déplacent de manière autonome et exécutent des tâches sans assistance humaine. La vision par ordinateur permet aux AMR de recevoir des informations visuelles à traiter provenant de l'usine de production telles que des obstacles, des travailleurs ou un espace dans lequel se déplacer. Grâce à ces informations, un AMR est capable de se déplacer tout seul au sein d'un espace et d'exécuter des tâches de manière autonome ou soutenu par une intervention humaine minimale. Un grand nombre de tâches peuvent ainsi être automatisées sans avoir besoin d'investir dans une infrastructure de transport telle que des rails.

Et étant donné que les AMR sont à même d'effectuer une planification dynamique des trajets, ils sont capables dans un périmètre défini de choisir de manière flexible le trajet optimal en évitant les obstacles. Ils sont aussi en mesure de communiquer avec les employés ou des éléments du site de production.

Les AMR sont conçus pour apprendre de leur environnement et prendre des décisions en toute indépendance. À l'inverse des humains, ils n'ont pas besoin d'effectuer des pauses et peuvent avec une qualité constante effectuer des tâches que les humains ne peuvent ou ne veulent pas exécuter. Ils sont ainsi parfaitement adaptés aux tâches monotones, ce qui donne aux employés plus d'espace pour des activités plus créatives. Leur utilisation permet aussi de protéger les êtres humains lors des tâches dangereuses et ainsi d'améliorer la sécurité au sein de l'entreprise. Les AMR sont capables d'effectuer des tâches dans les domaines les plus variés, comme la préparation des commandes, le conditionnement, le tri, la construction, le transport, le tout en grande partie indépendamment du poids et de la taille.

Les entreprises ont déjà recours aux robots industriels depuis des décennies. Ils étaient par le passé le plus souvent séparés des employés par des grilles afin de prévenir les accidents car ils n'étaient pas encore en mesure ni de réagir à leur environnement ni de repérer les obstacles. Mais désormais, grâce à de meilleurs capteurs et au recours à l'IA, les robots sont à présent capables de travailler « main dans la main » et de coopérer lors de leurs activités.

3 L'industrie 4.0 : les résultats d'une enquête menée dans dix pays européens

3.1 La méthodologie de l'enquête

Durant la période située entre le 29 octobre et le 14 novembre 2021, l'institut d'études de marché YouGov commandité par le Handelsblatt Research Institute et TeamViewer a effectué une enquête en ligne au cours de laquelle il a au total interrogé 4 531 décideurs en entreprise. Cette enquête constitue le fondement de la partie empirique de ce rapport. L'enquête a été menée dans dix pays européens parmi lesquels le Danemark, l'Allemagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas, la Norvège, la Pologne, la Suède, l'Espagne et le Royaume-Uni.

Dans le cadre de cette enquête, il est possible de discerner, en plus des résultats concernant la transformation numérique de la production dans un contexte concernant « l'Europe dans sa totalité », des divergences de certains pays face à la moyenne « européenne ».

Lors de l'observation des résultats suivants, l'accent est porté sur la création d'une vision « européenne » globale présentée en agrégeant les différents résultats obtenus dans les dix pays. Cependant, en complément, un éclairage sera également porté sur les divergences observées entre les différents pays.

Le thème de l'enquête était l'industrie 4.0. Les questions portaient sur les aspects suivants :

- Les dimensions pertinentes du concept de l'industrie 4.0
- L'état d'avancement de la transformation numérique dans le secteur de la production des entreprises
- Les défis posés par la transformation numérique de la production
- La responsabilité principale de la numérisation de la production
- Les avantages de l'industrie 4.0
- Une perspective sur les différentes nouvelles technologies : les attentes concernant leur influence sur la production, ainsi que leur utilisation actuelle ou planifiée dans les entreprises.
- Les applications possibles de l'Internet des objets
- Les applications possibles de la réalité augmentée
- Les applications possibles de l'intelligence artificielle
- L'évolution des processus de production au sein de l'usine

En raison de son objet, cette enquête n'est pertinente que pour les entreprises au sein desquelles les processus de production tiennent, au moins en partie, un rôle. C'est pourquoi les résultats suivants sont fondés

3.2 La transformation numérique de la production

3.2.1 Les dimensions de l'industrie 4.0

Le concept d'industrie 4.0 a été présenté pour la première fois au public en 2011, dans le cadre du salon d'Hanovre. Ce terme est attribué à Henning Kagermann et Wolfgang Wahlster de l'Académie allemande des sciences et de la technologie ainsi qu'à Wolf-Dieter Lukas du Ministère fédéral de Education et de la Recherche. À l'origine, il s'agissait concrètement de la numérisation de la production interprétée comme une « quatrième révolution industrielle ».

Le terme s'est ensuite répandu au niveau international et est devenu au fil du temps synonyme de la numérisation générale des entreprises, sans le moindre lien avec la production. Ceci implique que l'industrie 4.0 et le concept qu'elle représente peut recouvrir bien plus que la seule utilisation de nouvelles technologies dans la production.

Et de fait, la majorité des entreprises en Europe comprennent le terme « industrie 4.0 » comme une approche pluridimensionnelle. Il ne s'agit en aucun cas uniquement de la mise en réseau, de l'utilisation de technologies ou de données ou d'une numérisation des processus de production.

En effet, pour environ 70 % des entreprises,

sur les déclarations d'un échantillon de 1 452 entreprises situées dans les dix pays européens sélectionnés pour lesquelles cela s'applique.

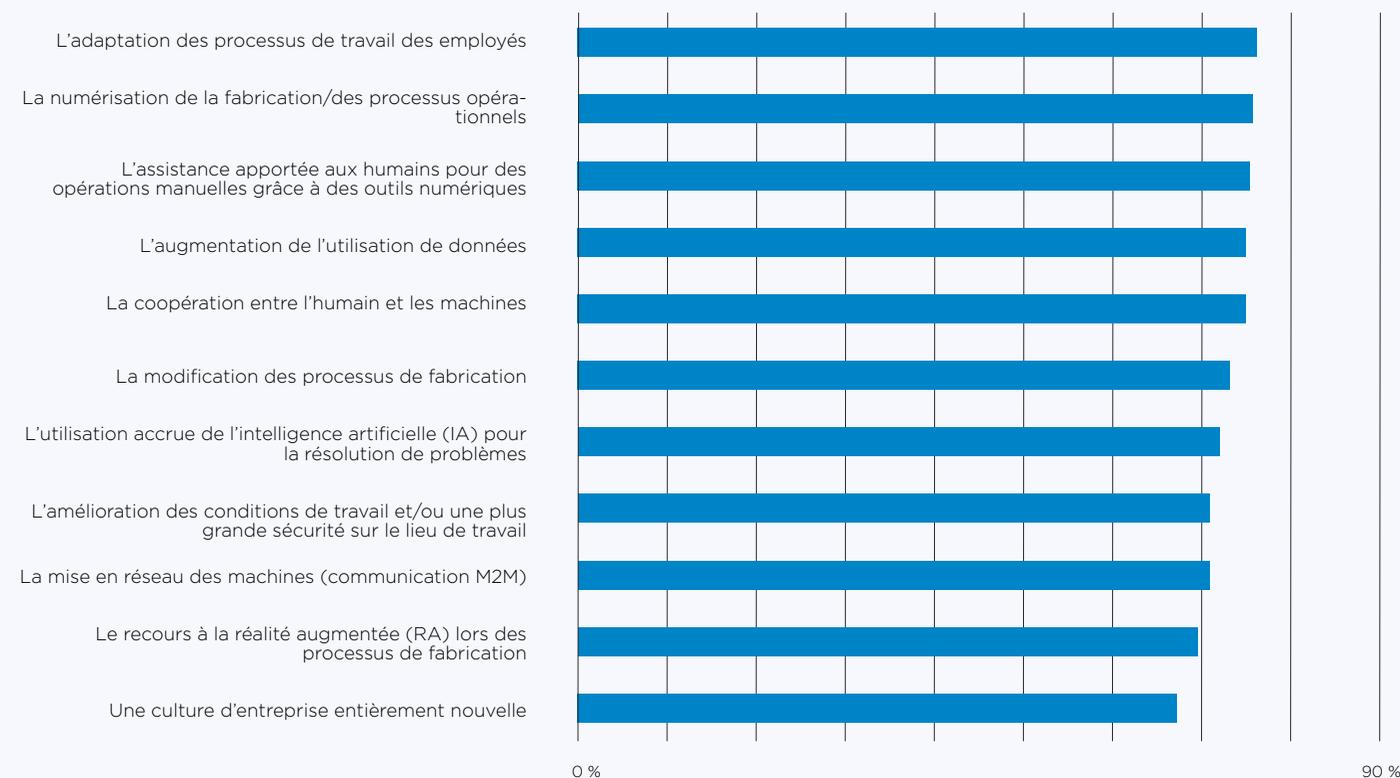
en plus des aspects déjà mentionnés, la réalité augmentée (RA) et l'intelligence artificielle (IA) s'inscrivent également dans l'industrie 4.0 (voir graphique 1). Il s'agit de manière plus générale d'une vaste transformation qui, selon la plupart des décideurs en entreprises interrogés, s'accompagne d'une évolution des processus de travail en conséquence de laquelle l'être humain et les machines sont appelés à coopérer et le personnel se voit assisté par des technologies pour exécuter les processus manuels.

Selon l'avis de plus de 70 % des décideurs en entreprise européens, de cette transformation résulteraient de meilleures conditions de travail, une plus grande sécurité sur le lieu de travail ainsi qu'une toute nouvelle culture d'entreprise.

Cette compréhension multidimensionnelle de l'industrie 4.0 est de manière générale partagée dans les dix pays étudiés. Mais au-delà de toutes ses facettes, cette vision est particulièrement répandue dans les entreprises d'Allemagne, d'Italie, d'Espagne et de Pologne.

Fig. 1 : Les aspects qui s'intègrent dans le concept de l'industrie 4.0

Proportion des décideurs en entreprises interrogés qui sont (plutôt) d'accord que cet aspect en fait partie, en %



En plus de cela, les résultats démontrent que tous les aspects concernés par cette question de définition sont plutôt associés au terme « industrie 4.0 » par les grandes

entreprises et celles au sein desquelles la transformation numérique est déjà fortement implantée.

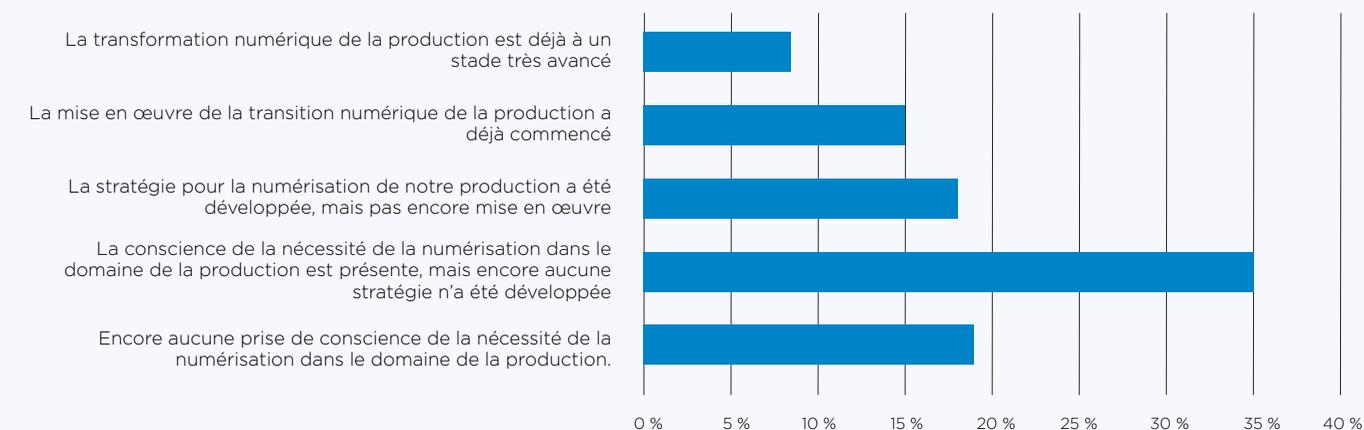
3.2.2 L'état de la transformation numérique

Une grande partie des entreprises interrogées se trouvent encore au stade initial de la transformation numérique de la production. Moins d'un quart des personnes interrogées déclarent que dans leur entreprise la transformation a déjà été entamée (voir graphique 2). Plus de la moitié des entreprises ne disposent actuellement selon leurs propres dires pas même d'une stratégie

pour la numérisation de leur production. Pour elles, la transformation numérique serait composée dans certaines circonstances de mesures individuelles sans qu'il existe le moindre fil conducteur pour rassembler toutes ces mesures. Il est donc peu surprenant que seul un dixième des entreprises interrogées déclarent être bien engagées sur la voie de la transformation.

Fig. 2 : Statu quo dans les entreprises au sujet de la transformation numérique de la production

Part des décideurs en entreprise sondés, en %



Par contre, la numérisation de la production est la plus avancée dans les plus grandes entreprises. On observe ainsi une hausse de la part des entreprises qui ont déjà entamé leur transformation numérique liée à la taille des entreprises, même si celle-ci n'est pas régulière. Certes, l'industrie 4.0 ne se limite pas au recours à de nouvelles technologies (voir le chapitre 3.2.1), mais celles-ci représentent cependant un aspect important. Et la mise en œuvre de ces technologies nécessite des ressources à la fois financières et personnelles dont les entreprises de plus grande taille ont plus tendance à disposer.

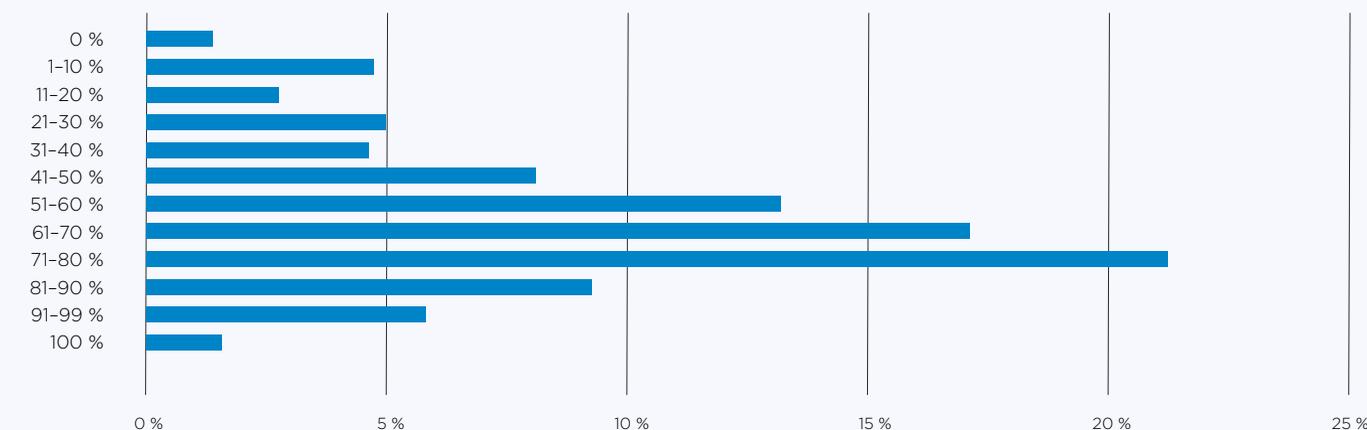
Un comparatif entre les pays révèle que dans les entreprises d'Espagne, de Suède, des Pays-Bas, d'Italie et d'Allemagne, la transformation numérique de la production est déjà bien avancée. À titre d'exemple, ce sont déjà 29 % (Espagne), 27 % (Suède, Pays-Bas) et 26 % (Italie, Allemagne) des entreprises qui ont déjà entamé leur numérisation. À l'inverse, les entreprises françaises (19 %) et britanniques (16 %) affichent un certain retard.

Dans leur ensemble, ces résultats donnent à penser qu'il existe encore une marge importante de progrès pour la numérisation dans le secteur de la production. La progression est dans ce secteur actuellement encore plus faible que dans celui de la logistique. Étant donné que dans de nombreux cas, on constate l'absence d'un concept stratégique complet, il semble impossible de combler dans l'immédiat d'éventuelles lacunes au niveau de la numérisation car une stratégie constitue le fondement pour le succès à long terme de la transformation.

La situation actuelle paraît cependant bien plus positive lorsque l'on évoque le thème de l'industrie 4.0 et que les entreprises estiment l'état actuel de leur avancement dans le domaine de la numérisation pour la production sur une échelle allant de 1 à 100 (voir graphique 3). La moyenne pour l'ensemble des pays atteint 60 %. Seul un quart des entreprises interrogées déclarent un avancement inférieur à 50 %. Ces résultats pourraient laisser penser que les ambitions concernant une transformation numérique de grande am-

Fig. 3 : Le progrès de la transformation numérique de la production dans les entreprises

Part des décideurs en entreprise sondés, en %



pleur des processus de production sont assez modérées.

Alors que dans les entreprises de moins de 5 000 employés, on constate plutôt une relation positive entre la taille de l'entreprise et la perception de la numérisation, cette corrélation est bien moins évidente pour les entreprises plus importantes.

Une comparaison entre les dix pays étudiés révèle que les entreprises d'Espagne, d'Italie, de Pologne et d'Allemagne sont selon leurs propres estimations bien plus avancées, avec une moyenne pour chaque pays de 65 % (Espagne), 64 % (Italie) et 63 % (Pologne et Allemagne), ce qui les place légèrement au-dessus de la moyenne totale. La perception de l'état actuel de la numérisation dans le secteur de la production s'avère plus faible dans les entreprises du Royaume-Uni (46 %) et du Danemark (46 %).

Ces résultats présentés dans les graphiques 2 et 3 révèlent deux estimations différentes de l'état d'avancement de la numérisation du

La différence par rapport à 100 % : ne sait pas/pas de réponse
Échelle allant de 0 % (= aucune étape vers la numérisation effectuée) jusqu'à 100 % (= aussi avancée que le permet la technologie actuelle)

secteur de la production des entreprises. Sur la base d'échelle de pourcentages, la plupart des entreprises s'estiment déjà « relativement bien avancées », ce qui cependant ne se reflète aucunement dans la présence de jalons définis tels qu'une stratégie. Dans certaines circonstances, lors de leur positionnement sur l'échelle, les entreprises se perçoivent comme plus avancées qu'elles ne le sont en réalité, alors qu'elles ont dans l'ensemble peu entrepris car elles ne peuvent ou ne veulent pas faire plus dans leur situation individuelle. La grille d'évaluation est donc de fait différente pour chaque entreprise.

Et même lorsque les entreprises semblent avoir largement progressé, si l'on en croit leur propre estimation sur l'échelle, elles ont encore beaucoup de travail à accomplir. En effet, d'un point de vue économique, il semble plausible que les dépenses nécessaires pour poursuivre la transformation numérique continuent à augmenter au fur et à mesure.

3.2.3 Les défis posés par la transformation numérique de la production

Lors de la transformation numérique de la production, les entreprises sont confrontées à des défis qui peuvent ralentir leurs progrès. Ces défis peuvent par exemple être liés aux salariés ou bien aux conditions générales.

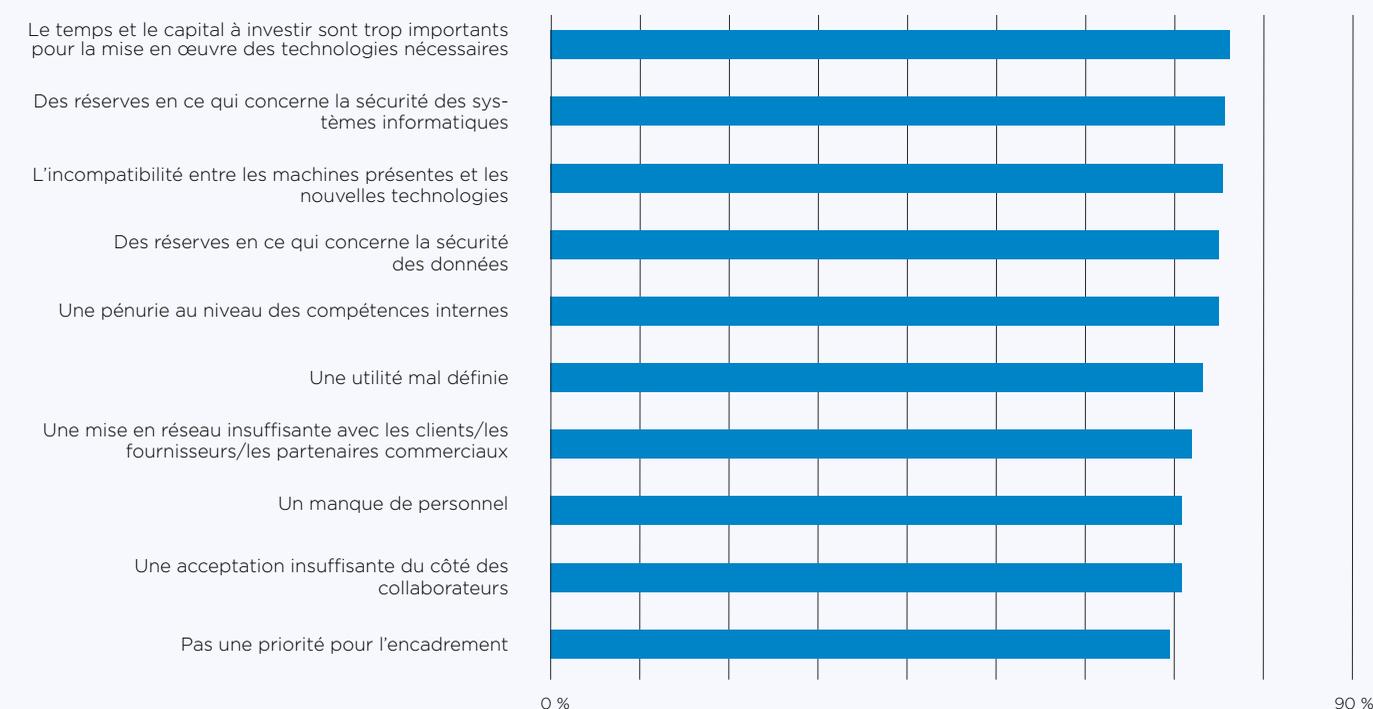
Selon l'avis des décideurs en entreprise d'Europe, la transformation numérique de la production dépend en première ligne des ressources disponibles. Environ un tiers des personnes interrogées déclarent que les efforts en termes de temps et de coûts constituent le défi majeur de la numérisation de la production (voir graphique 4). Cette estimation est indépendante de la taille des entreprises. Cependant, les grandes entreprises qui a priori disposent de

plus amples ressources considèrent également ces efforts comme le plus grand défi à relever.

Le thème de la sécurité informatique est considéré comme particulièrement exigeant. Si l'on considère des aspects tels que l'analytique des données ou l'IoT, on s'aperçoit qu'à l'avenir, lors de la production, les données et les connexions vont tenir un rôle toujours plus important. Ceci augmente de fait le risque de cyberattaques, ce qui rend essentielle la prise de mesures de sécurité préventives. Et pour environ 30 % des décideurs interrogés, les préoccupations liées à la sécurité informatique constituent un aspect qui les tracasse énormément.

Fig. 4 : Les défis majeurs présentés par la transformation numérique de la production dans les entreprises

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



Il est intéressant de constater que ce thème gagne encore en importance lorsque la numérisation est déjà plus avancée. Les entreprises qui selon leurs propres dires en sont actuellement encore à développer une conscience de l'importance de l'industrie 4.0 ou une stratégie estiment que les efforts au niveau du temps et des coûts constituent le plus grand défi. Parmi les entreprises qui ont déjà entamé leur transformation ou qui ont déjà bien avancé, une part importante des décideurs mentionnent des préoccupations en matière de sécurité informatique comme représentant le défi majeur.

Dans la plupart des cas, les entreprises ne procèdent pas à la construction complète d'une nouvelle production numérisée, mais poursuivent le développement de systèmes déjà existants qui sont transformés numériquement. À titre d'exemple, des machines disponibles peuvent ainsi être connectées grâce à des logiciels. Mais ceci peut aussi dans certaines circonstances se heurter à une incompatibilité entre les anciennes et les nouvelles technologies. Ceci constitue selon l'avis des entreprises en Europe un défi supplémentaire rencontré lors de la numérisation de la production.

D'autres entreprises moins nombreuses considèrent pour leur part que le manque de personnel, l'absence d'acceptation de la part des employés ou le fait qu'elle ne soit pas une priorité pour l'encadrement constituent les obstacles majeurs à la transformation numérique de la production.

La question de l'utilité représente également un aspect intéressant. Seul environ un cinquième des décideurs en entreprise en Europe perçoivent l'incertaine utilité d'une production numérisée comme un problème important pour

la transformation. Parmi les entreprises classées parmi les plus avancées dans ce domaine, seul environ un dixième partage cet avis. L'incertitude concernant les avantages concrets ne devrait donc pas constituer un obstacle pour les entreprises lors de la transformation numérique de leur production car cette question trouve souvent sa réponse lors de sa mise en œuvre.

Le classement des défis est relativement semblable lorsque l'on compare les pays, même si chaque position n'est pas strictement la même. Le groupe des aspects considérés par la plupart des décideurs en entreprise comme significatifs est cependant similaire dans la plupart des pays. Néanmoins, en ce qui concerne le défi majeur, on observe différentes réponses. Au Danemark, en France, en Italie, en Pologne et en Espagne, les investissements au niveau du temps et des frais sont les plus souvent cités par les décideurs en entreprise. À l'inverse, en Allemagne, aux Pays-Bas et en Suède, ce sont les préoccupations concernant la sécurité informatique qui occupent la première place. Un tiers des personnes interrogées au Royaume-Uni considèrent une incompatibilité entre les anciennes et les nouvelles technologies comme le plus grand défi, tandis qu'en Norvège, le manque de compétences internes est le plus souvent cité.

Lorsque l'on observe les défis majeurs mentionnés par les entreprises, force est de constater que ceux-ci reposent en grande partie dans leur domaine d'influence et qu'ils pourraient en principe être gérés par une augmentation des investissements. Ce ne sont ni la conviction ni l'envie qui font défaut.

3.2.4 La responsabilité principale de la transformation numérique de la production

La transformation numérique de la production constitue un important projet sur le long terme pour les entreprises. L'implémentation de nouvelles technologies nécessite d'importants investissements. Étant donnée l'ampleur de ces investissements et l'importance de la transformation numérique, il est compréhensible que le thème de l'industrie 4.0 soit souvent considéré au sein de l'entreprise comme une « décision à prendre au plus haut niveau ».

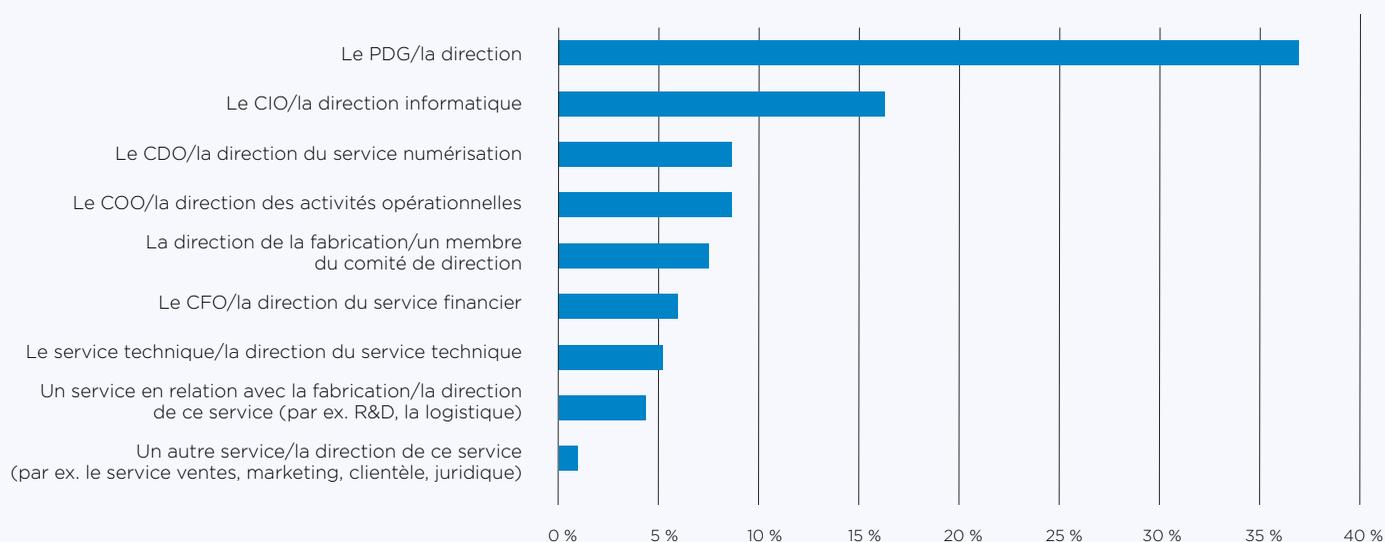
Ceci s'applique également pour les entreprises interrogées en Europe : chez presque deux cinquièmes de ces entreprises, c'est le PDG, ou le cas échéant la direction, qui prend la décision finale pour les investissements à effectuer dans les applications liées à l'industrie 4.0 (voir graphique 5). Ceci concerne notamment les entreprises au Danemark, en Suède et au Royaume-Uni.

Cependant le PDG tient également en Allemagne, en Espagne et aux Pays-Bas le rôle le plus important. Au sein de nombreuses entreprises de ces pays, le PDG prend également la décision finale.

Chez approximativement plus des trois quarts des entreprises interrogées, les décisions concernant les investissements à effectuer dans la transformation numérique de la production sont prises par la direction. L'industrie 4.0 n'y est donc pas envisagée comme un « projet secondaire », mais bien comme une décision qui va affecter l'image de l'entreprise dans le futur et pertinente sur le plan stratégique. Cela signifie que la décision de procéder à cette transition dans le secteur de la production, et dans quelle mesure, repose sur les postes les plus haut placés de l'entreprise et sur leur attitude face à la transformation numérique.

Fig. 5 : Qui prend la décision finale pour les investissements dans la transformation numérique de la production ?

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



3.2.5 L'évaluation des avantages de l'industrie 4.0

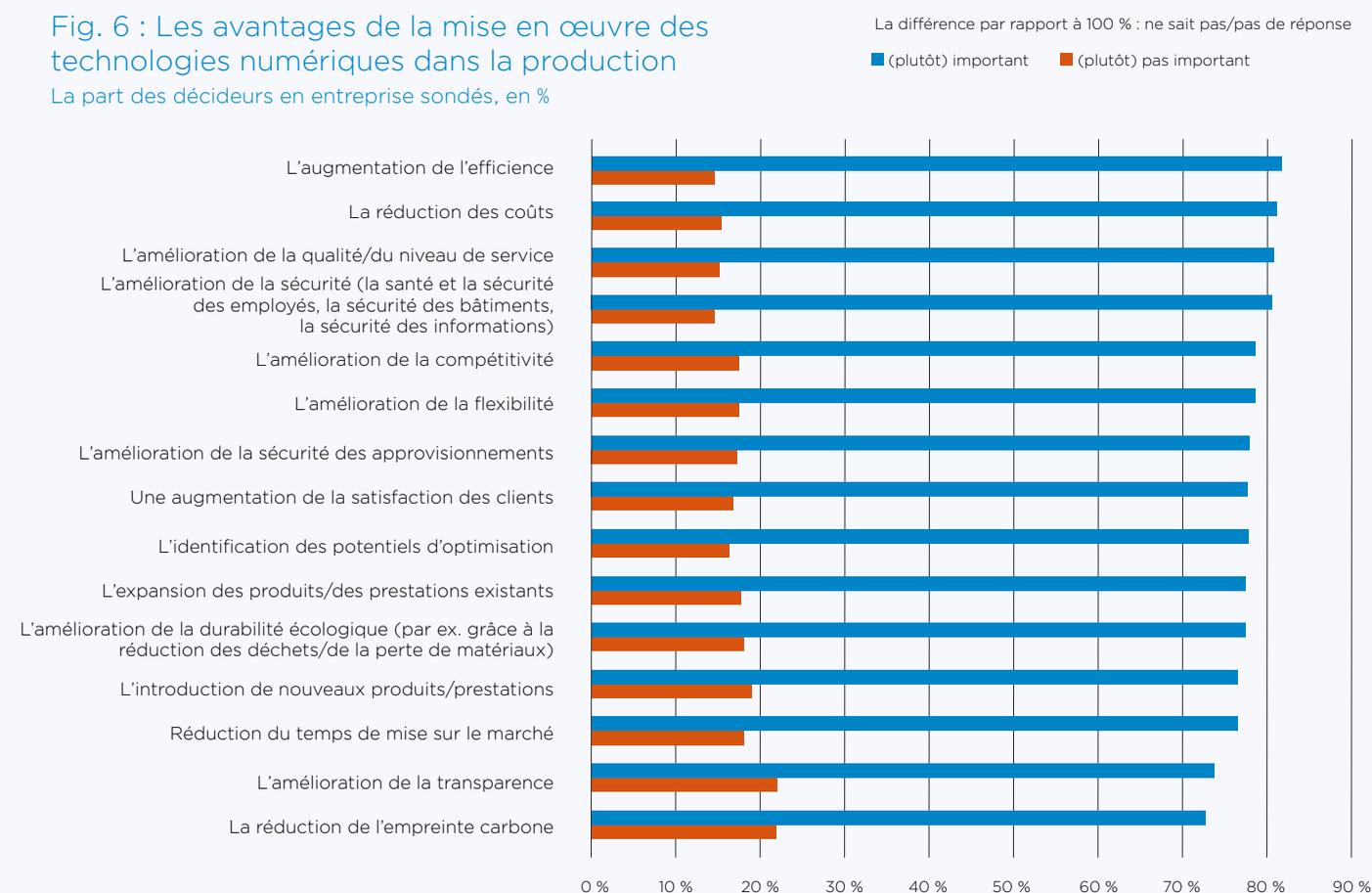
La transformation numérique de la production n'est pas uniquement implémentée en entreprise par pur intérêt pour les nouvelles technologies, mais plutôt parce qu'elle offre des avantages concrets et des espoirs au niveau de son utilité. Et selon les entreprises interrogées en Europe, les objectifs majeurs qui sont poursuivis lors de la transition vers l'industrie 4.0 ont un caractère économique (voir graphique 6). Avec plus de 82 %, la plupart des entreprises considèrent une augmentation de leur efficacité comme l'avantage le plus important qui puisse résulter de l'utilisation de technologies innovantes dans la production. L'un des autres avantages réside dans la réduction des coûts. En plus de ces

aspects économiques, l'amélioration de la qualité ou du niveau de service ainsi que la sécurité sont également mentionnés en tant qu'aspects importants de l'industrie 4.0. La sécurité fait ici aussi bien référence à la santé et à la sécurité des salariés qu'à la sécurité des bâtiments ou à celle des informations.

La réduction de leur empreinte carbone ou l'augmentation de la transparence sont à l'inverse considérées par moins d'entreprises comme de potentiels avantages. Ce sont donc en première ligne les attentes sur le plan économique qui motivent les entreprises à avoir recours à des technologies numériques.

Fig. 6 : Les avantages de la mise en œuvre des technologies numériques dans la production

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



3.3 Les nouvelles technologies

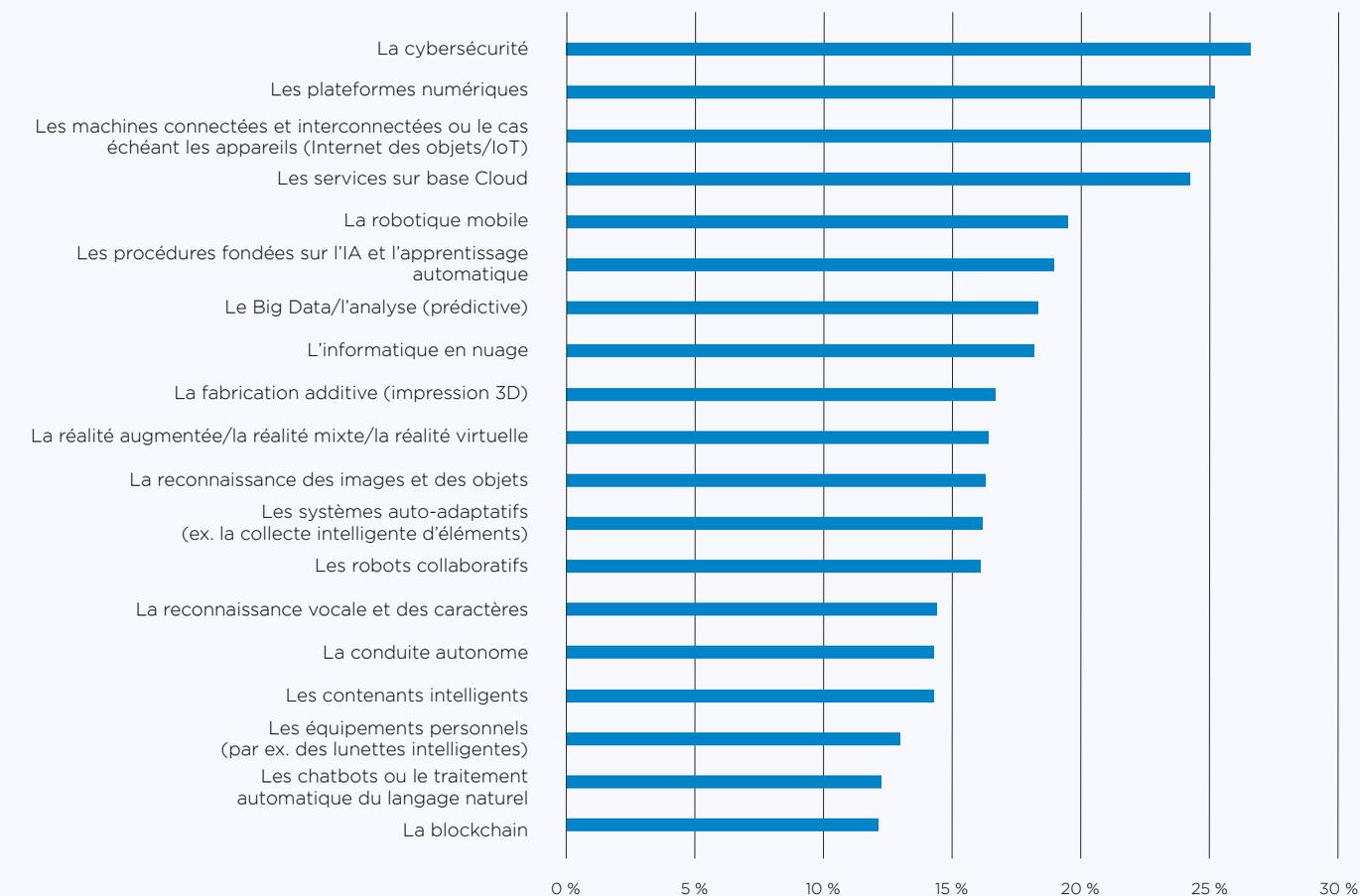
La transformation numérique de la production concerne pour l'essentiel l'évolution de certains processus : des opérations de production qui s'appliquent directement aux machines, jusqu'aux méthodes de travail des employés. L'utilisation de nouvelles technologies numériques constitue le point de départ de ces modifications. Grâce à de nouvelles applications, une résolution

des problèmes et des modèles d'affaires novateurs, les processus évoluent au sein de l'entreprise. De nombreuses technologies peuvent contribuer à la transformation de la production qui du point de vue des entreprises peuvent être plus ou moins pertinentes et implémentées à différents niveaux.

3.3.1 L'impact attendu des technologies innovantes sur l'avenir de la production et leur mise en œuvre

Fig. 7 : Les nouvelles technologies pertinentes pour le secteur de la production

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



Selon la plupart des entreprises interrogées en Europe, un peu plus qu'un quart considèrent dans le cadre de l'industrie 4.0 le thème de la cybersécurité comme particulièrement important (voir le graphique 7). Également considérés comme particulièrement importants sont les plateformes numériques, l'Internet des objets et les services du Cloud. Respectivement un quart des entreprises des dix pays étudiés estiment que ces technologies constituent d'importants piliers de la transformation numérique dans le domaine de la production. Mais quelles que soient les technologies, les entreprises qui sont déjà très avancées sur la voie de la transformation accordent plus de poids aux technologies correspondantes.

À l'inverse, les blockchains, les chatbots et les wearables sont généralement considérés comme de moindre importance et se classent aux trois dernières places parmi les 19 technologies observées. Alors que par exemple les lunettes intelligentes ne sont pas considérées par de nombreuses entreprises comme une technologie importante pour la production, ceci varie en relation avec les applications telles que la réalité augmentée (RA), la réalité mixte (RM) et/ou la réalité virtuelle (RV). Elles se classent ainsi à la dixième place parmi les 19 alternatives proposées.

Lorsque l'on observe toutes ces technologies, on constate que celles-ci sont considérées comme plus pertinentes par les entreprises en Espagne, en Italie et en Pologne que dans les autres pays, et donc de manière supérieure à la moyenne (voir graphique 8). L'évaluation de leur pertinence est à l'inverse inférieure à la moyenne au Royaume-Uni, au Danemark et en Suède. À la différence des résultats agrégés...

- en Allemagne, la reconnaissance des formes (image/objet et langage/écriture) tient un rôle un peu plus important,
- en Espagne, les robots collaboratifs tiennent un rôle un peu plus important,
- en Italie, les systèmes auto-apprenants tiennent un rôle un peu plus important,
- en Suède, la reconnaissance des images/objets tient un rôle un peu plus important,
- en Norvège, les wearables tiennent un rôle un peu plus important.

Les différentes technologies ne tiennent pas uniquement une place différente au sein de la production du futur selon l'estimation des entreprises interrogées. Leur utilisation actuelle revêt déjà actuellement ou dans un futur proche, lorsqu'elles seront implémentées, une ampleur différente. Cependant, on peut noter une relation entre ces deux aspects : les technologies qui sont considérées comme les plus importantes sont celles qui sont déjà le plus massivement utilisées. À titre d'exemple, les services du Cloud et l'informatique en nuage, la cybersécurité et les plateformes numériques sont déjà plus utilisés à présent que d'autres technologies novatrices (voir graphique 9). Cependant, le potentiel pour d'autres implémentations reste très élevé. À titre d'exemple, les services sur le Cloud et la cybersécurité sont actuellement utilisés dans environ la moitié des entreprises interrogées en Europe qui considèrent que ces technologies sont importantes pour l'avenir de la production.

Fig. 8 : Les nouvelles technologies pertinentes pour le secteur de la production – un comparatif des pays

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

Plusieurs réponses possibles

	ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
La cybersécurité	27 %	25 %	14 %	24 %	28 %	32 %	25 %	19 %	23 %	35 %	34 %
Les plateformes numériques	25 %	26 %	20 %	17 %	29 %	27 %	29 %	24 %	23 %	32 %	29 %
Les machines connectées et interconnectées ou le cas échéant les appareils (Internet des objets/IoT)	25 %	22 %	24 %	23 %	30 %	31 %	17 %	21 %	23 %	28 %	25 %
Les services sur base Cloud	24 %	23 %	16 %	21 %	27 %	24 %	16 %	24 %	19 %	31 %	33 %
La robotique mobile	19 %	17 %	14 %	21 %	25 %	19 %	11 %	19 %	19 %	17 %	26 %
Les procédures fondées sur l'IA et l'apprentissage automatique	19 %	19 %	17 %	19 %	26 %	22 %	9 %	14 %	23 %	13 %	18 %
Le Big Data/l'analyse (prédictive)	18 %	22 %	18 %	18 %	24 %	21 %	11 %	5 %	14 %	17 %	18 %
L'informatique en nuage	18 %	15 %	18 %	17 %	26 %	19 %	10 %	12 %	18 %	21 %	19 %
La fabrication additive (impression 3D)	17 %	20 %	15 %	16 %	25 %	14 %	9 %	16 %	11 %	12 %	16 %
La réalité augmentée/la réalité mixte/la réalité virtuelle	16 %	17 %	10 %	19 %	22 %	20 %	9 %	14 %	11 %	10 %	17 %
La reconnaissance des images et des objets	16 %	21 %	12 %	14 %	17 %	21 %	15 %	20 %	7 %	13 %	15 %
Les robots collaboratifs	16 %	16 %	8 %	21 %	22 %	17 %	10 %	12 %	14 %	16 %	13 %
Les systèmes auto-adaptatifs (ex. la collecte intelligente d'éléments)	16 %	19 %	11 %	14 %	19 %	20 %	14 %	15 %	12 %	17 %	15 %
La reconnaissance vocale et des caractères	14 %	18 %	9 %	18 %	14 %	15 %	3 %	11 %	14 %	15 %	16 %
Les contenants intelligents	14 %	14 %	14 %	16 %	18 %	15 %	6 %	13 %	12 %	14 %	14 %
La conduite autonome	14 %	14 %	7 %	13 %	19 %	16 %	6 %	15 %	19 %	8 %	19 %
Les équipements personnels (par ex. des lunettes intelligentes)	13 %	10 %	8 %	14 %	19 %	17 %	2 %	5 %	25 %	9 %	16 %
Les chatbots ou le traitement automatique du langage naturel	12 %	13 %	8 %	15 %	18 %	11 %	7 %	8 %	7 %	13 %	12 %
La blockchain	12 %	13 %	10 %	9 %	18 %	11 %	6 %	11 %	9 %	14 %	16 %

La fabrication additive, la robotique mobile, les chatbots, l'intelligence artificielle, les données massives et les blockchains possèdent un fort potentiel, que ce soit à court ou à moyen terme car de très nombreuses entreprises envisagent d'implémenter ces technologies au cours des prochaines une ou deux années.

3.3.2 Les critères de décision lors de la sélection des fournisseurs de technologies

Les entreprises ont souvent recours pour l'implémentation de nouvelles technologies

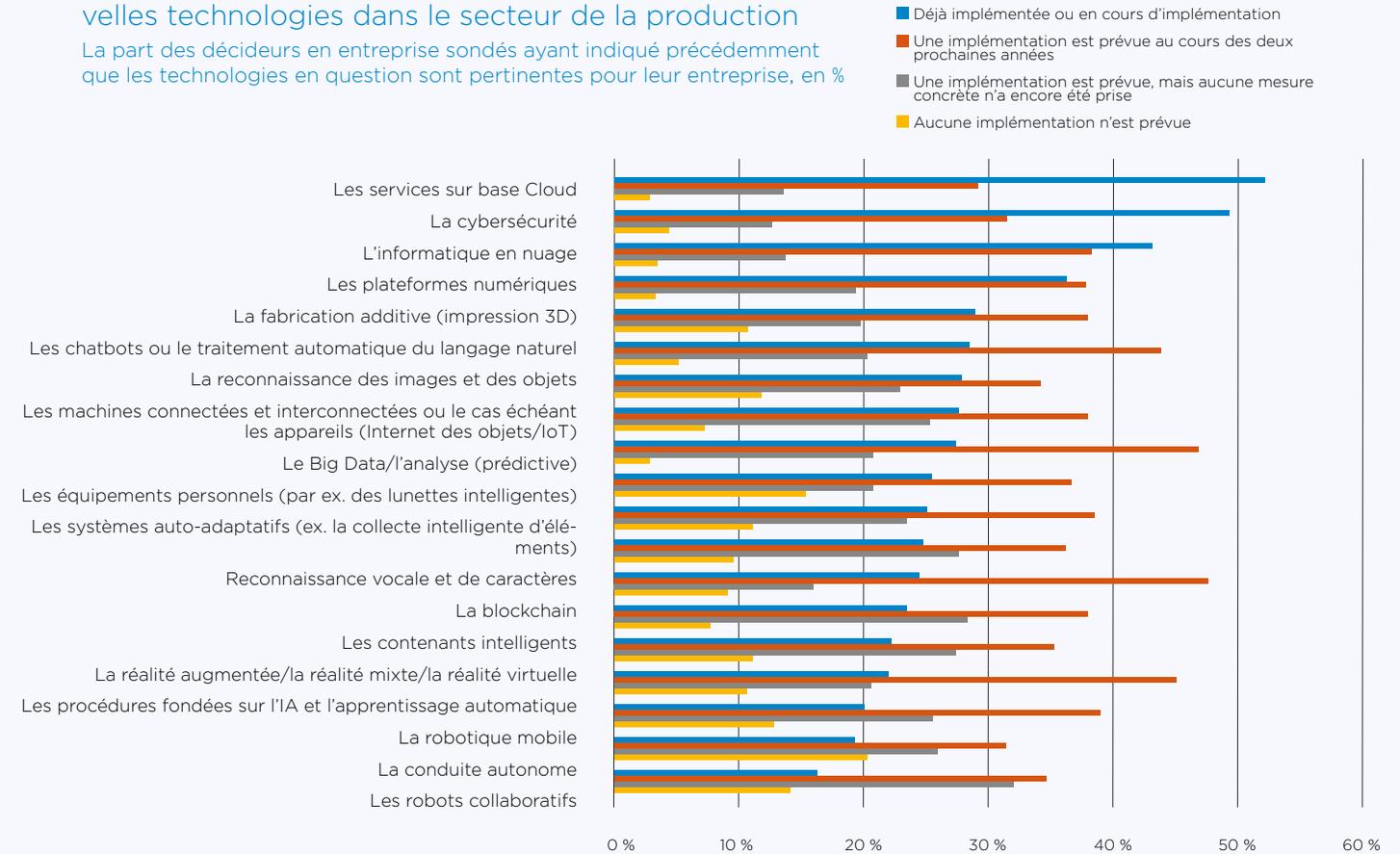
La mise en œuvre de la conduite autonome, des contenants intelligents, de la reconnaissance de la langue/de l'écriture, les RA/RM/RV ainsi que les robots collaboratifs est prévue sans calendrier concret dans de relativement nombreuses entreprises, ce qui signifie que le marché pour ces technologies devrait croître à moyen ou long terme.

aux services de fournisseurs extérieurs. Lorsque plusieurs fournisseurs proposent

Fig. 9 : Les avancées dans la mise en œuvre des nouvelles technologies dans le secteur de la production

La part des décideurs en entreprise sondés ayant indiqué précédemment que les technologies en question sont pertinentes pour leur entreprise, en %

La différence par rapport à 100 % : ne sait pas/pas de réponse



des technologies comparables, les entreprises doivent dans le doute se décider pour l'un d'entre eux. Différents critères peuvent servir de base à leur décision. Pour certaines entreprises, le prix peut éventuellement être déterminant. D'autres au contraire se concentrent en première ligne sur la qualité ou sur l'étendue des prestations offertes par les applications. Les références d'un fournisseur peuvent également peser dans la balance.

Pour la plupart des entreprises interrogées en Europe, soit environ un cinquième, une tarification flexible et transparente constitue un critère important pour le choix d'un fournisseur de technologies (voir graphique 10). Il ne s'agit pas en premier lieu pour elles

de trouver les prix les plus bas, mais plutôt tout simplement des prix transparents qui puissent lors d'une offre être adaptés avec flexibilité à leurs besoins concrets. Tout aussi importants pour les entreprises sont les aspects tels que la sécurité, l'offre de conseils et d'une assistance et des prestations professionnelles.

On observe cependant certaines différences en fonction des types d'entreprises. Pour les entreprises plus petites, la tarification et les conseils occupent une place prioritaire. Dans certaines situations, parce qu'elles ne disposent en comparaison à d'autres que de faibles ressources financières et qu'en raison d'une capacité de personnel limitée, que de compétences relativement réduites.

Fig. 10 : Les critères de décision déterminants pour le choix des fournisseurs de technologies

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Plusieurs réponses possibles

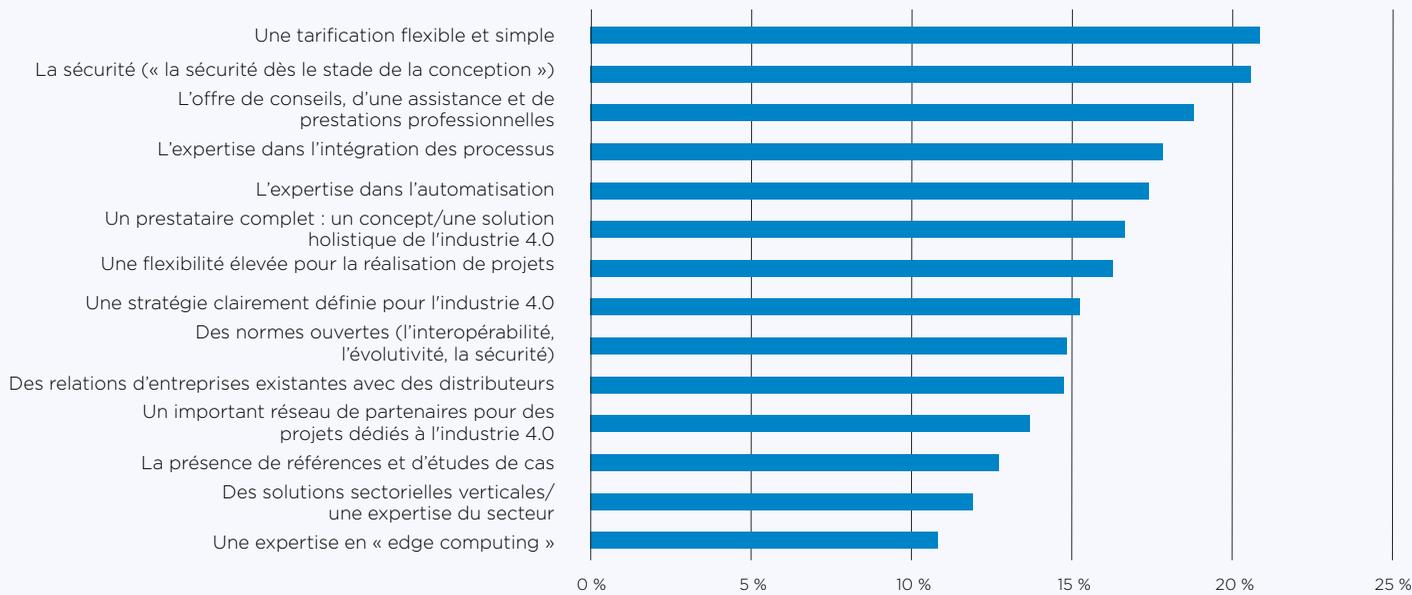


Fig. 11 : Les critères de décision déterminants pour le choix des fournisseurs de technologies – un comparatif des pays

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

Plusieurs réponses possibles

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Une tarification flexible et simple	21 %	16 %	18 %	19 %	18 %	20 %	32 %	22 %	32 %	29 %	20 %
La sécurité (« la sécurité dès le stade de la conception »)	21 %	21 %	15 %	23 %	17 %	19 %	34 %	21 %	21 %	23 %	18 %
L'offre de conseils, d'une assistance et de prestations professionnelles	19 %	18 %	11 %	21 %	24 %	23 %	17 %	14 %	14 %	9 %	24 %
Une expertise dans l'intégration des processus	18 %	14 %	15 %	17 %	15 %	26 %	14 %	13 %	26 %	19 %	19 %
Une expertise dans l'automatisation	17 %	11 %	15 %	15 %	21 %	19 %	17 %	12 %	19 %	27 %	21 %
Un prestataire complet : un concept/une solution holistique de l'industrie 4.0	17 %	20 %	15 %	15 %	21 %	19 %	9 %	9 %	11 %	12 %	21 %
Une flexibilité élevée pour la réalisation de projets	16 %	17 %	15 %	10 %	16 %	21 %	13 %	19 %	16 %	21 %	18 %
Une stratégie clairement définie pour l'industrie 4.0	15 %	16 %	9 %	14 %	20 %	18 %	6 %	9 %	16 %	17 %	18 %
Des normes ouvertes (l'interopérabilité, l'évolutivité, la sécurité)	15 %	17 %	15 %	14 %	16 %	13 %	17 %	14 %	11 %	12 %	16 %
Des relations d'entreprises existantes avec des distributeurs	15 %	18 %	13 %	15 %	15 %	10 %	3 %	12 %	18 %	17 %	22 %
Un important réseau de partenaires pour des projets dédiés à l'industrie 4.0	14 %	16 %	2 %	19 %	18 %	15 %	1 %	9 %	16 %	11 %	14 %
La présence de références et d'études de cas	13 %	14 %	9 %	13 %	19 %	13 %	7 %	8 %	14 %	8 %	15 %
Des solutions sectorielles verticales/une expertise du secteur	12 %	12 %	8 %	12 %	15 %	14 %	5 %	6 %	4 %	15 %	16 %
Une expertise en « edge computing »	11 %	13 %	5 %	15 %	11 %	15 %	5 %	7 %	11 %	6 %	9 %

Chez les entreprises qui sont déjà bien avancées sur la voie de la transformation numérique de la production, la sécurité passe bien avant la tarification. À cela s'ajoute que, au contraire des autres entreprises, elles accordent une place plus importante à un réseau de partenaires dans l'industrie 4.0 et à la flexibilité pour la mise en œuvre des projets. Pour les fournisseurs de technologies, cela signifie qu'ils ne peuvent pas se contenter d'être « performants » dans un ou deux critères, mais au contraire dans une vaste palette afin d'être pris en considération par de nombreuses et diverses entreprises.

De manière générale, les entreprises attachent moins d'importance aux références et

exemples disponibles. Ceci peut procurer des opportunités aux start-ups et aux nouveaux venus sur le marché.

La comparaison entre les pays révèle quelques différences (voir graphique 11). À titre d'exemple, pour les entreprises italiennes, l'expertise dans l'intégration des processus tient le rôle le plus déterminant. Pour les entreprises des Pays-Bas, il s'agira plutôt de l'expertise dans le domaine de l'automatisation. Les entreprises polonaises pour leur part attachent une plus grande importance aux relations existantes avec les revendeurs que les entreprises des autres pays.

3.4 L'Internet des objets : les applications possibles

Environ 78 % des entreprises en Europe envisagent de manière générale des applications possibles pour l'Internet des objets (IoT) dans la production (voir graphique 12). Et ceci alors qu'à l'heure actuelle, moins de 30 % ont entamé la mise en réseau de leurs machines et des bâtiments (voir graphique 9). Ceci implique un grand potentiel pour le marché des applications de l'IoT. En Pologne, en Espagne, en Italie, en Allemagne et aux Pays-Bas, les taux d'appro-

bation sont plus élevés que la moyenne. Et pour les pays qui voient sans aucun doute un potentiel pour l'IoT dans la production, l'Allemagne et l'Espagne se positionnent de loin en tête. À l'inverse, en Grande-Bretagne et en France, tout comme dans les pays scandinaves (le Danemark, la Norvège et la Suède), il va s'avérer nécessaire d'effectuer un travail de persuasion car les décideurs se montrent plutôt sceptiques face à l'application de l'IoT dans la production.

Fig. 12 : Les possibilités d'applications de l'internet des objets dans la production : un comparatif des pays

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

La différence par rapport à 100 % : ne sait pas/pas de réponse

	Ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Des possibilités d'applications certainement présentes	36 %	50 %	25 %	34 %	49 %	40 %	17 %	34 %	26 %	31 %	31 %
Des possibilités d'applications partiellement existantes	42 %	34 %	33 %	40 %	41 %	49 %	29 %	31 %	37 %	50 %	59 %
Aucune possibilité d'application	13 %	10 %	24 %	20 %	5 %	8 %	24 %	20 %	21 %	12 %	6 %

L'utilité attendue d'une production connectée en réseau augmente de manière tendancielle avec la taille de l'entreprise (voir graphique 13). Ainsi, 48 % des entreprises en Europe employant au moins 250 personnes sont d'accord avec l'idée qu'il existe sans aucun doute des applications possibles pour l'Internet des objets, alors que parmi les petites et moyennes entreprises, ce chiffre atteint à peine 28 %. Ce décalage pourrait reposer sur le fait que les entreprises de plus grande taille doivent en général gérer des processus de production plus complexes pour lesquels une mise en réseau

sans faille des machines, des humains et des produits peut présenter un grand avantage pour la coordination.

Les entreprises qui accordent de manière générale de la valeur à l'IoT dans la production, l'automatisation des processus de commande, la communication M2M ainsi que l'analyse et la maintenance prédictives, classent dans toute l'Europe ces applications IoT dans le top 3 (voir graphique 14). Néanmoins, on observe selon les pays des différences au niveau de la hiérarchisation. Les décideurs en entreprise en Espagne,

Fig. 13 : Les possibilités d'applications de l'Internet des objets dans la production en fonction de la taille de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



Fig. 14 : Les possibilités d'applications concrètes de l'Internet des objets dans la production

La part des décideurs en entreprise sondés qui voient en principe des possibilités d'applications pour l'IoT dans leur production, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

	∅	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Automatisation des processus de commande	37 %	33 %	35 %	31 %	41 %	39 %	38 %	35 %	28 %	42 %	41 %
La communication de machine à machine (communication M2M)	33 %	33 %	44 %	23 %	37 %	44 %	25 %	29 %	36 %	33 %	28 %
L'analyse prédictive/la maintenance prédictive	32 %	32 %	37 %	26 %	41 %	34 %	40 %	18 %	25 %	34 %	26 %
Un tableau de bord unique sur lequel s'affichent les informations concernant toutes les installations de fabrication	31 %	33 %	29 %	32 %	36 %	32 %	28 %	18 %	33 %	25 %	32 %
Le contrôle à distance des machines	31 %	24 %	24 %	31 %	29 %	36 %	43 %	31 %	25 %	30 %	35 %
L'utilisation de la robotique mobile	26 %	27 %	19 %	23 %	28 %	31 %	20 %	25 %	19 %	26 %	30 %
Les « jumeaux numériques » pour la simulation des processus de fabrication	24 %	24 %	27 %	22 %	29 %	19 %	13 %	36 %	25 %	22 %	24 %
L'utilisation de véhicules autonomes	22 %	28 %	25 %	20 %	21 %	25 %	10 %	16 %	14 %	26 %	19 %

Italie, Grande-Bretagne et aux Pays-Bas citent des possibilités d'utilisation bien plus nombreuses et variées que la moyenne.

Deux tiers des entreprises en Europe utilisent déjà une ou plusieurs plateformes IoT. La plupart d'entre elles déclarent qu'elles utilisent des applications de fournisseurs externes (voir graphique 15). Beaucoup moins nombreuses sont celles qui optent pour leur propre développement. L'Espagne, la Pologne, l'Italie et l'Allemagne se montrent pionnières dans l'utilisation des plateformes IoT. Selon les propres dires des entreprises, c'est au Danemark, et au Royaume-Uni ainsi

qu'en Suède et en Norvège que la production est la moins connectée. Ceci correspond au scepticisme généralement affiché par les décideurs en entreprise de ces pays envers les possibles applications de l'IoT dans la production tel qu'il est documenté dans le graphique 12. Tandis que presque 85 % des entreprises d'au moins 250 employés des pays étudiés utilisent une ou plusieurs plateformes IoT, plus de 40 % des petites et moyennes entreprises de moins de 250 employés déclarent ne pas utiliser ce type de plateformes (voir graphique 16).

Fig. 15 : L'utilisation de plateformes IoT dans les entreprises

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

	∅	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
L'utilisation d'une plateforme développée en interne	20 %	30 %	15 %	25 %	20 %	20 %	7 %	18 %	9 %	20 %	15 %
L'utilisation de la plateforme IoT d'un fournisseur externe	35 %	35 %	16 %	30 %	53 %	40 %	20 %	24 %	35 %	27 %	48 %
L'utilisation de plusieurs plateformes IoT	12 %	11 %	10 %	11 %	8 %	18 %	6 %	8 %	12 %	15 %	17 %
Aucune utilisation de plateforme IoT	27 %	21 %	43 %	30 %	16 %	20 %	56 %	36 %	35 %	32 %	12 %

Fig. 16 : L'utilisation de plateformes en fonction de la taille des entreprises

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

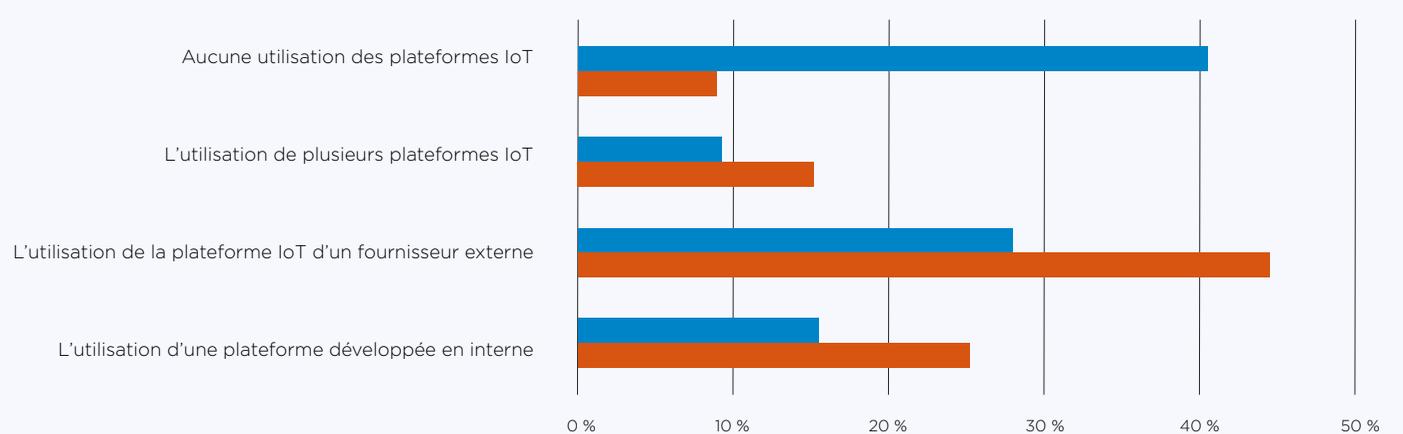
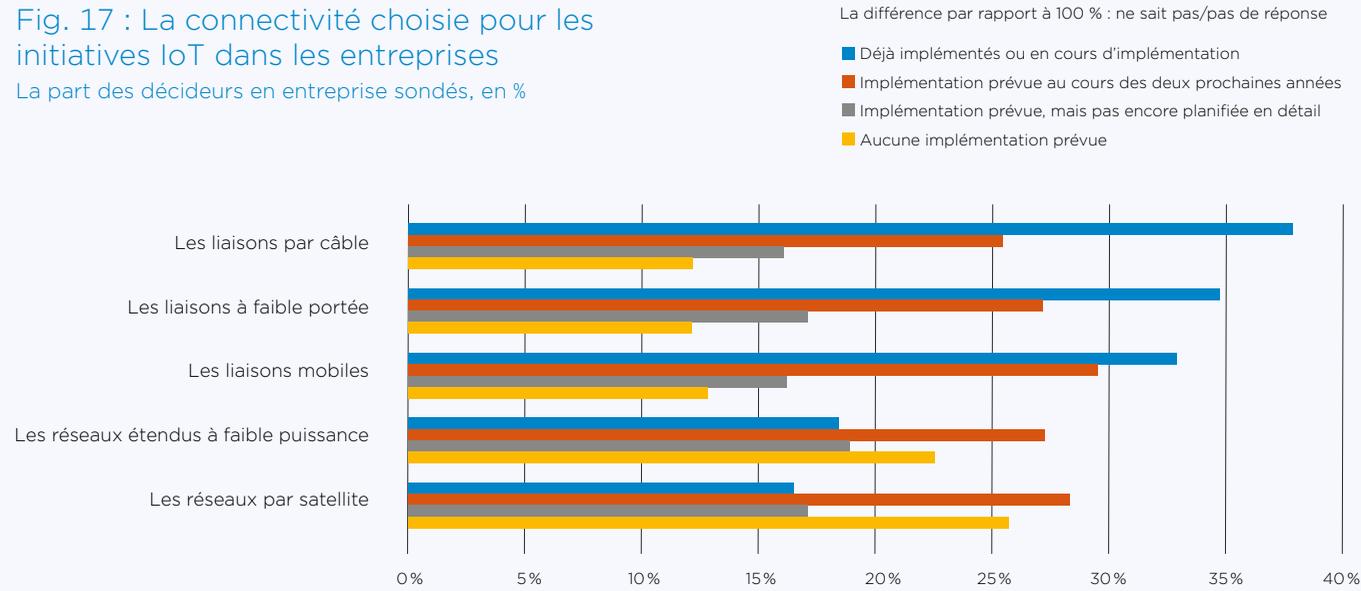


Fig. 17 : La connectivité choisie pour les initiatives IoT dans les entreprises

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



Pour la connectivité de leurs initiatives IoT, les entreprises en Europe ont actuellement recours à des liaisons par câble (par ex. en fibre de verre), à des connexions sans fil de courte portée (par ex. Bluetooth, WLAN, ZigBee) ainsi qu'à des réseaux mobiles (par ex. 4G ou 5G) (voir graphique 17). Ce constat est étonnant, car la nouvelle norme de télécommunication mobile 5G

est présentée comme une technique pour la promotion de l'IoT, et pourrait révéler des faiblesses existantes au niveau de l'infrastructure dédiée à la télécommunication mobile. En effet, pour la production, la disponibilité et la stabilité des réseaux est déterminante.



3.5 La réalité augmentée : les utilisations envisageables

Plus de 70 % des entreprises en Europe s'attendent à découvrir de possibles applications pour la réalité augmentée (RA) dans la production (voir graphique 18). Néanmoins, moins d'un quart d'entre elles ont déjà effectivement mis en œuvre des applications de RA, RV ou RM dans la fabrication (voir

graphique 9). L'Espagne, l'Italie, la Pologne et l'Allemagne affichent des attentes supérieures à la moyenne, tandis que les entreprises du Royaume-Uni et des pays scandinaves (le Danemark, la Suède et la Norvège) se montrent plutôt réticentes.

Fig. 18 : Les possibilités d'applications pour la réalité augmentée dans la production - un comparatif des produits

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

La différence par rapport à 100 % : ne sait pas/pas de réponse

	∅	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Des possibilités d'applications certainement présentes	30%	42%	17%	34%	36%	29%	10%	28%	19%	19%	35%
Des possibilités d'applications existant partiellement	40%	36%	27%	34%	51%	53%	29%	29%	35%	46%	46%
Aucune possibilité d'application	23%	18%	41%	26%	11%	15%	37%	34%	32%	28%	16%

La valorisation de la RA augmente de manière tendancielle à la fois en fonction de la taille de l'entreprise (voir graphique 19) et des progrès déjà effectués dans la numérisation de la production (voir graphique 20).

Ceci implique d'une part des économies d'échelle lors de l'utilisation et de l'autre, des effets de courbe d'apprentissage lors de l'utilisation des nouvelles technologies numériques.

Fig. 19 : Les possibilités d'applications de la réalité augmentée en fonction de la taille de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

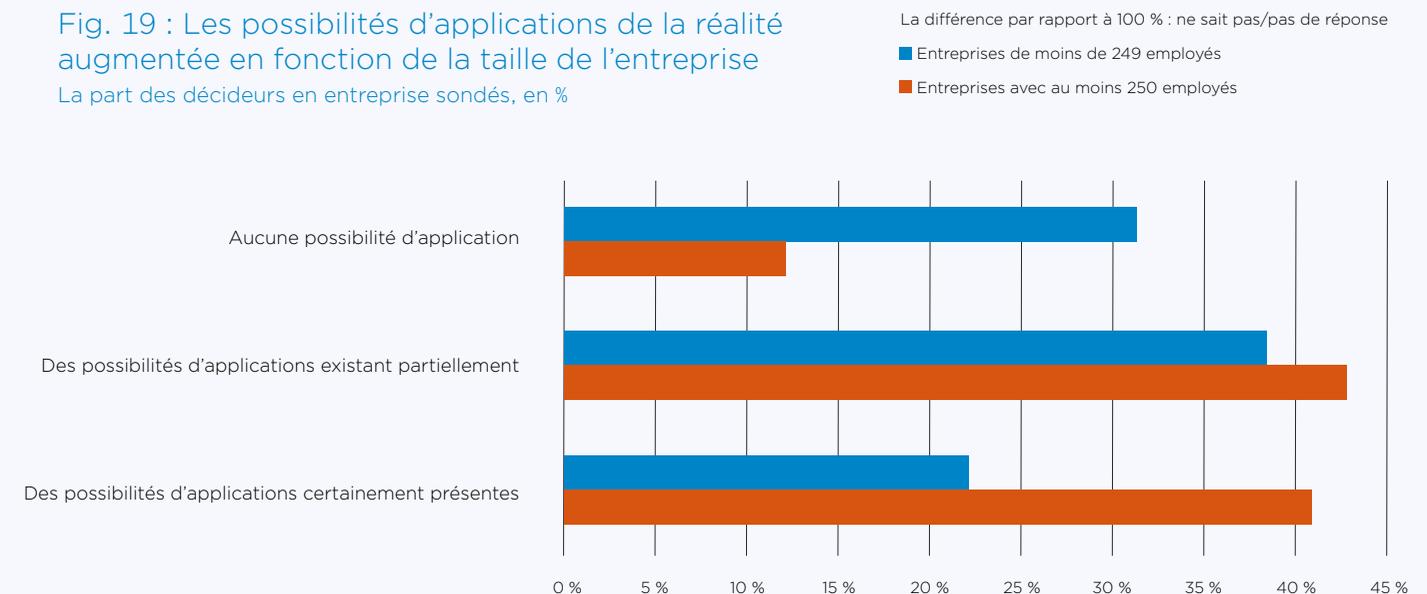
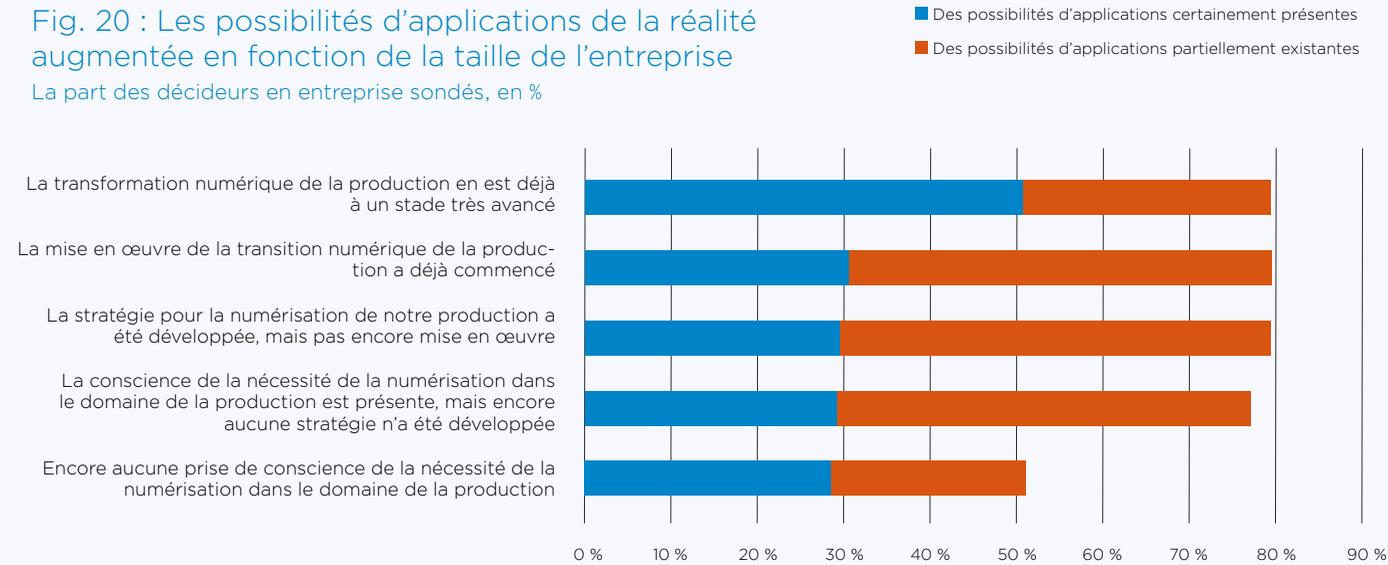


Fig. 20 : Les possibilités d'applications de la réalité augmentée en fonction de la taille de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés, en %



Les possibilités d'applications les plus mentionnées dans toute l'Europe sont l'assurance de la qualité, les prestations de montage, de maintenance et de réparation ainsi que l'optimisation des processus de fabrication (voir graphique 21). On remarque que les décideurs en entreprise optent pour différentes priorités dans les différents pays. Pour les entreprises du Royaume-Uni qui

envisagent au moins en partie des possibilités d'applications pour la RA, la production, la formation et l'intégration des employés occupent la première place, tandis qu'en France, c'est plutôt l'assistance technique à distance pour une expertise en tout lieu, qu'en Allemagne, Espagne et Suède, la priorité va aux prestations de montage, de maintenance et de réparation et qu'en Italie

Fig. 21 : Les possibilités d'applications de la réalité augmentée dans le secteur de la production de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés qui voient en principe des possibilités d'applications pour la RA dans leur production, en %

Plusieurs réponses possibles

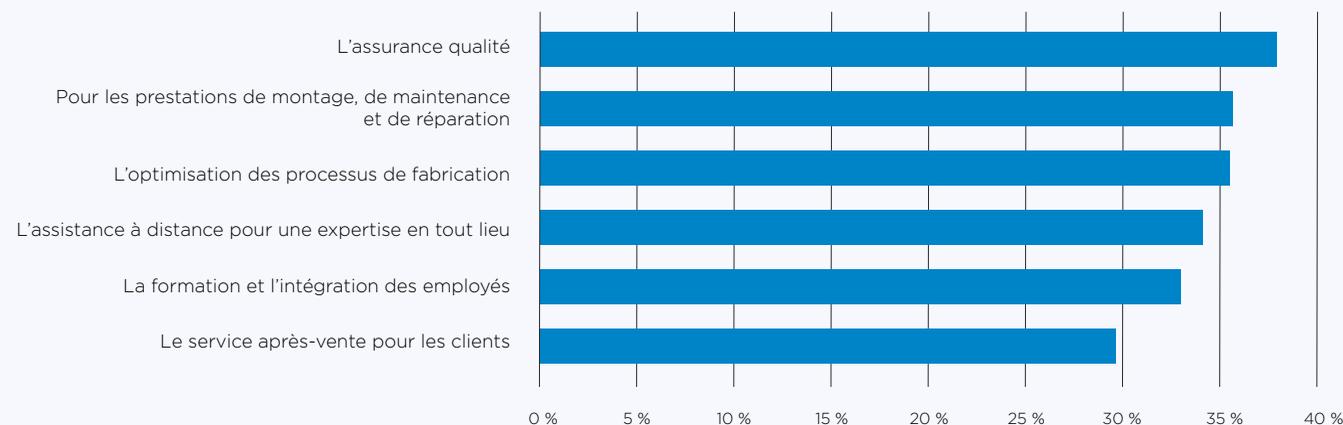


Fig. 22 : Les possibilités d'applications pour la réalité augmentée dans le secteur de la production - un comparatif des pays

La part des décideurs en entreprise sondés qui voient en principe des possibilités d'applications pour la RA dans leur production, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

Plusieurs réponses possibles

	∅	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
L'assurance qualité	38 %	39 %	41 %	28 %	33 %	41 %	44 %	37 %	48 %	51 %	41 %
Pour les prestations de montage, de maintenance et de réparation	36 %	42 %	27 %	31 %	43 %	33 %	29 %	45 %	19 %	24 %	39 %
L'optimisation des processus de fabrication	36 %	32 %	20 %	32 %	37 %	42 %	32 %	33 %	26 %	48 %	38 %
L'assistance à distance pour une expertise en tout lieu	34 %	35 %	39 %	40 %	36 %	34 %	41 %	31 %	13 %	20 %	32 %
La formation et l'intégration des employés	33 %	34 %	43 %	31 %	33 %	36 %	21 %	33 %	29 %	28 %	35 %
Un service après-vente pour les clients	30 %	24 %	37 %	25 %	23 %	29 %	35 %	39 %	39 %	42 %	35 %

c'est l'optimisation des processus de fabrication qui est plébiscitée (voir graphique 22).

Le décalage entre l'utilisation actuelle et l'utilisation envisagée de la RA dans la production s'explique de différentes manières : dans certains cas, les utilisateurs potentiels ne sont pas encore convaincus

de son potentiel commercial : le rendement supplémentaire généré par les possibilités d'utilisations peut possiblement ne pas (encore) dépasser les frais. Ou bien, les outils actuellement proposés ne sont pas encore suffisamment développés, nécessitent trop d'instructions et/ou ne sont pas encore assez connus en raison du manque de transparence du marché.

3.6 L'intelligence artificielle : les possibilités d'applications

Dans toute l'Europe, environ 73 % des décideurs en entreprise voient le potentiel offert par l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine de la fabrication de leur entre-

prise (voir graphique 23). Avec 88 %, les personnes interrogées en Pologne sont en tête, suivies par l'Espagne (87 %), l'Italie (82 %) et l'Allemagne (74 %). À l'inverse, plus de 40 % des

Fig. 23 : Les possibilités d'applications pour l'intelligence artificielle dans la production - un comparatif des pays

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

La différence par rapport à 100 % : ne sait pas/pas de réponse

	∅	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Des possibilités d'applications certainement présentes	30 %	38 %	24 %	32 %	36 %	34 %	13 %	29 %	16 %	23 %	32 %
Des possibilités d'applications partiellement existantes	42 %	36 %	25 %	39 %	51 %	48 %	31 %	36 %	39 %	47 %	57 %
Aucune possibilité d'application	21 %	22 %	41 %	24 %	9 %	14 %	43 %	25 %	33 %	23 %	9 %

Fig. 24 : Les possibilités d'applications de l'intelligence artificielle en fonction de la taille de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

La différence par rapport à 100 % : ne sait pas/pas de réponse

■ Entreprises de moins de 249 employés
■ Entreprises de plus de 250 employés

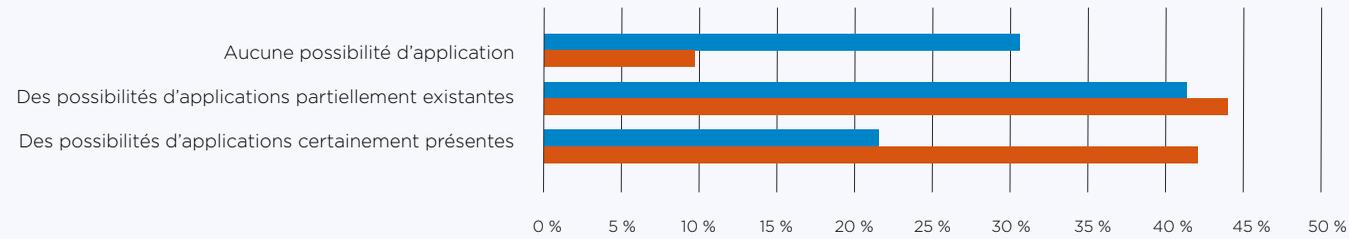


Fig. 25 : Les possibilités d'applications de l'intelligence artificielle en fonction de la taille de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

■ Des possibilités d'applications certainement présentes
■ Des possibilités d'applications partiellement existantes

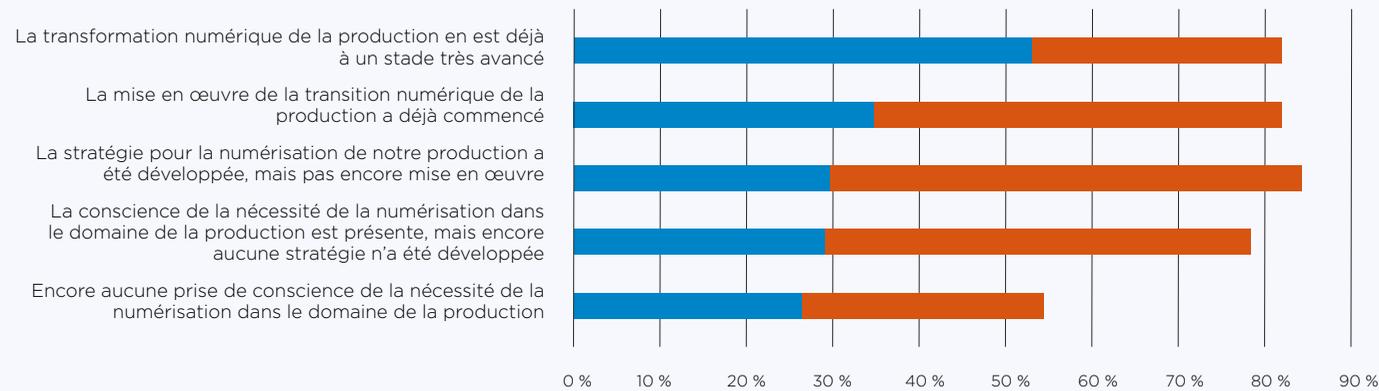
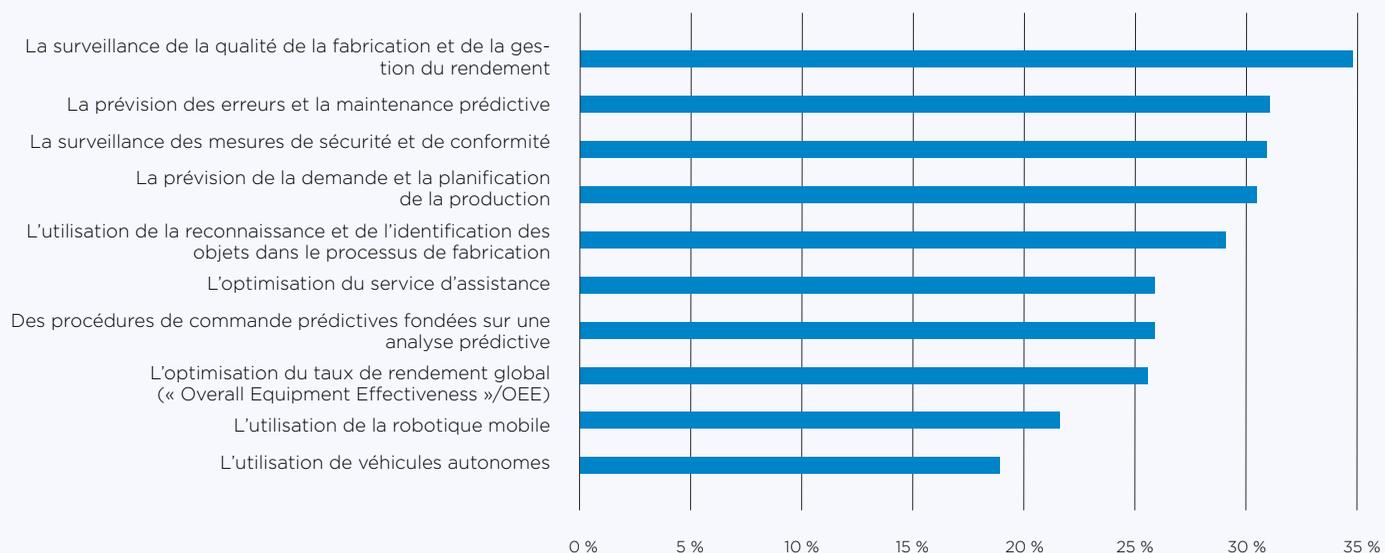


Fig. 26 : Les possibilités d'applications de l'intelligence artificielle dans le secteur de la fabrication de l'entreprise

La part des décideurs en entreprise sondés qui voient en principe des possibilités d'applications pour l'IA dans leur production, en %

Plusieurs réponses possibles



entreprises au Danemark et au Royaume-Uni n'envisagent aucune possibilité d'application de l'IA dans leur production.

La valorisation de l'IA augmente de manière tendancielle à la fois en fonction de la taille de l'entreprise (voir graphique 24) et des progrès déjà effectués dans la numérisation de la production (voir graphique 25).

Les entreprises qui envisagent des possibilités d'applications de l'intelligence artificielle dans leur production citent surtout les champs suivants, chacun avec des taux d'approbation de plus de 30 % : la surveillance de la qualité de la fabrication et la gestion du rendement, la prévision des erreurs et la maintenance prédictive, la surveillance des mesures de sécurité et de conformité ainsi que la prévision de la

demande et la planification de la production (voir graphique 26).

La comparaison des pays révèle en partie des priorités différentes pour les possibilités d'applications de l'IA dans le processus de production. À titre d'exemple, les entreprises en Italie et en France priorisent la prévision de la demande et la planification de la production, tandis qu'au Royaume-Uni, l'utilisation de la reconnaissance et de l'identification des objets occupe la première place (voir graphique 27).

Les algorithmes d'IA dédiés par exemple à l'apprentissage automatique (ML) nécessitent une grande quantité de données provenant de l'entreprise. Quand il s'agit de déterminer où celles-ci doivent majoritairement être stockées et traitées, plus de deux

Fig. 27 : Les possibilités d'applications pour l'intelligence artificielle dans le secteur de la fabrication – un comparatif des pays

La part des décideurs en entreprise sondés qui voient en principe des possibilités d'applications pour l'IA dans leur production, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

Plusieurs réponses possibles

	∅	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
La surveillance de la qualité de la fabrication et de la gestion du rendement	35 %	31 %	28 %	29 %	35 %	37 %	42 %	34 %	29 %	49 %	38 %
La prévision des défaillances et la maintenance prédictive	31 %	36 %	31 %	23 %	31 %	35 %	50 %	21 %	19 %	33 %	32 %
La surveillance des mesures de sécurité et de conformité	31 %	30 %	24 %	28 %	31 %	29 %	29 %	34 %	32 %	38 %	36 %
La prévision de la demande et la planification de la production	31 %	29 %	31 %	30 %	33 %	37 %	24 %	18 %	32 %	28 %	30 %
L'utilisation de la reconnaissance et de l'identification des objets dans le processus de fabrication	29 %	29 %	37 %	28 %	30 %	36 %	24 %	21 %	23 %	25 %	27 %
L'optimisation du service d'assistance	26 %	22 %	19 %	23 %	24 %	28 %	37 %	32 %	19 %	30 %	29 %
Des procédures de commande prédictives fondées sur une analyse prédictive	26 %	31 %	28 %	24 %	25 %	28 %	18 %	25 %	29 %	26 %	21 %
L'optimisation du taux de rendement global (« Overall Equipment Effectiveness »/OEE)	26 %	26 %	24 %	28 %	30 %	26 %	29 %	18 %	19 %	20 %	22 %
L'utilisation de la robotique mobile	22 %	17 %	13 %	21 %	22 %	25 %	26 %	18 %	32 %	17 %	26 %
L'utilisation de véhicules autonomes	19 %	21 %	15 %	19 %	19 %	18 %	18 %	21 %	23 %	20 %	17 %

tiers des entreprises en Europe optent pour une solution sur site, soit un serveur de sauvegarde Core (37 %), intégrée par exemple dans leur propre centre de données ou pour un serveur de sauvegarde Edge (30 %). Seuls

Fig. 28 : La sauvegarde et le traitement des données de l'entreprise pour une utilisation par les algorithmes d'IA et d'AA du futur

La part des décideurs en entreprise sondés, en %

	ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Sur place dans une mémoire Edge (directement sur les appareils ou sur un serveur Edge)	30 %	39 %	15 %	34 %	41 %	33 %	15 %	22 %	25 %	25 %	26 %
Sur place sur une mémoire Core (propre centre de données, salle de serveurs)	37 %	43 %	26 %	32 %	44 %	36 %	24 %	31 %	40 %	32 %	51 %
Dans le Cloud/en dehors de l'entreprise	19 %	9 %	21 %	20 %	10 %	20 %	32 %	24 %	19 %	32 %	15 %

les décideurs du Danemark optent majoritairement avec 32 % pour une solution Cloud ou pour une sauvegarde en dehors de l'entreprise (voir graphique 28).

La différence par rapport à 100 : ne sait pas/pas de réponse

Fig. 29 : La sauvegarde et le traitement des données de l'entreprise pour une utilisation par les algorithmes d'IA et d'AA du futur

La part des décideurs en entreprise sondés qui approuvent (plutôt) l'aspect évoqué, en %

Marquage : la part supérieure à la moyenne des pays européens

	ø	DE	UK	FR	ES	IT	DK	SE	NO	NL	PL
Des compétences en informatique et les « soft skills » vont devenir toujours plus importants pour les employés de la fabrication.	77 %	80 %	66 %	77 %	79 %	78 %	72 %	67 %	79 %	78 %	79 %
À l'avenir, les employés travailleront toujours plus « main dans la main » avec des machines et des robots.	75 %	79 %	64 %	76 %	75 %	80 %	68 %	65 %	77 %	76 %	82 %
À l'avenir, les employés exécuteront vraisemblablement moins d'opérations lors du processus de fabrication, mais en assureront le contrôle et la surveillance.	74 %	76 %	59 %	76 %	80 %	77 %	56 %	62 %	68 %	79 %	81 %
Dans le cadre de l'industrie 4.0, nous réorganisons totalement nos processus de production au sein de notre entreprise.	64 %	69 %	42 %	70 %	73 %	76 %	32 %	40 %	63 %	55 %	78 %
Rien ne va véritablement changer pour la plupart des employés de la fabrication.	61 %	63 %	47 %	61 %	70 %	65 %	40 %	48 %	53 %	65 %	72 %
La dextérité manuelle et les connaissances techniques deviendront de moins en moins importantes pour les employés de la fabrication.	60 %	67 %	40 %	62 %	76 %	64 %	38 %	44 %	53 %	58 %	65 %

3.7 L'évolution des processus

La transformation numérique de la production se définit largement par la mise en œuvre de technologies numériques, mais elle comprend également d'autres aspects que la simple utilisation de nouvelles applications. Les processus de travail des employés s'en trouvent également modifiés, tout comme l'ensemble des processus de production. Ceci implique également pour les employés du secteur de la production de nouvelles exigences pour les qualifications ou au niveau de leur adaptation.

Environ 77 % des entreprises s'attendent à ce qu'en conséquence de la transformation numérique de la production, les compétences informatiques et les « soft skills » gagnent en importance pour les employés du domaine de la fabrication (voir graphique 29). Les affirmations selon lesquelles

à l'avenir les employés, les machines et les robots travailleront toujours plus « main dans la main » (75 %) obtiennent des taux d'approbation très élevés, tout comme celles qui prédisent que les employés contribueront toujours moins aux processus de fabrication, et seront plutôt chargés de leur contrôle et de leur surveillance (74 %). Ceci entre en contradiction avec l'attente que la plupart des employés ne seront pas confrontés à de grandes évolutions dans le secteur de la fabrication, tout de même exprimée par 61 % des décideurs en entreprise en Europe.

À l'évidence, les employeurs voient les évolutions des processus générées par la numérisation, mais ils s'attendent cependant à ce qu'une large part de leurs employés puissent s'adapter sans trop d'efforts.

3.8 L'interprétation des résultats

Lors de cette enquête dédiée à l'industrie 4.0, tout comme lors de celle concernant la logistique 4.0, on constate que le progrès de la transformation numérique dans le secteur de la production diffère largement au sein des entreprises interrogées.

Les défis identifiés jouent certainement un rôle important lors de la transformation. Des aspects tels que les investissements de temps et financiers vont certainement ralentir le progrès de la transformation dans les entreprises disposant de moyens limités.

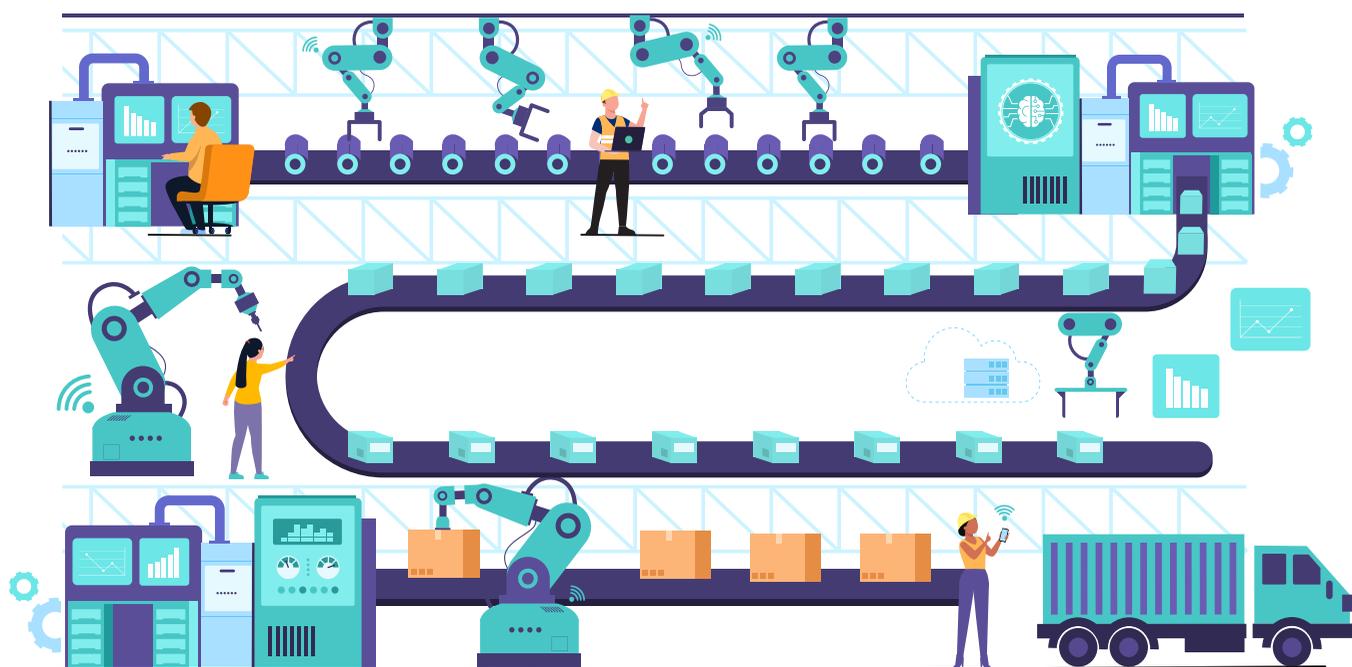
L'étude approfondie de trois applications révèle que dans l'ensemble, la proportion des entreprises qui utilisent déjà l'Internet des objets, la réalité augmentée ou l'intelligence artificielle pour leur production est plus faible que la proportion des entreprises qui

peuvent sur le principe envisager des possibilités d'applications pour ces technologies. À cela s'ajoute que le marché se trouve encore dans sa phase d'expansion.

Dans certains cas, certaines entreprises ne sont pas encore convaincues des avantages économiques que pourraient leur apporter les outils actuellement disponibles sur le marché, même si dans le même temps elles restent ouvertes sur le principe envers l'utilisation de technologies numériques dans leur production. Les attentes liées à la transformation numérique sont particulièrement élevées en Pologne, en Italie et en Espagne, alors qu'au Royaume-Uni et dans les pays scandinaves (le Danemark, la Suède et la Norvège), un important travail de persuasion s'impose.

On observe aussi de grandes différences en fonction de la taille des entreprises : ainsi, les entreprises de plus de 250 employés reconnaissent plus les possibilités d'applications de l'IoT, de la RA et de l'IA que les petites et moyennes entreprises. Ceci s'explique probablement par le fait que la taille des entreprises est généralement liée à l'importance et au degré de complexité des processus de fabrication. En effet, même si la production tient également un rôle important pour les petites et moyennes entreprises interrogées, celle-ci est probablement moins complexe que dans les grandes entreprises.

Que la valorisation des avantages offerts par les applications numériques soit également liée au progrès accompli dans la transformation numérique au sein de leur propre entreprise pourrait évoquer des effets de courbe d'apprentissage : plus l'expérience avec les nouvelles technologies est importante, et plus une utilisation potentiellement accrue est plébiscitée. Ceci devrait également s'appliquer de manière générale à la transformation numérique de la production.



4 Des exemples issus de la pratique

De nombreuses entreprises ont déjà mis en œuvre des applications de l'industrie 4.0 à des degrés divers. Parmi celles-ci, on peut mentionner différentes technologies telles que l'intelligence artificielle ou la réalité augmentée. Les exemples suivants permettent d'illustrer concrètement l'utilisation de ces applications.

AGCO/Fendt

AGCO, l'entreprise de technologie agricole possède une usine à Asbach-Bäumenheim dans laquelle elle produit des cabines de tracteur et des capots de la marque Fendt pour divers véhicules agricoles du groupe et elle a mis en place une nouvelle infrastructure numérique. À titre d'exemple, le processus de qualité numérique est effectué avec des tablettes et l'installation d'écrans sur le poste de travail. Les formulaires ont été remplacés par des applications de smartphone simples à utiliser. Si le personnel décèle une erreur, celle-ci sera photographiée avec un smartphone, documentée et classée de manière appropriée avant d'être directement transférée au secteur où elle s'est produite. Ce type de solutions numériques améliore la documentation et permet également une organisation flexible des modifications des produits.

Une planification et une simulation entièrement numériques effectuées grâce à un jumeau numérique tiennent un rôle essentiel dans l'usine. Celles-ci se basent sur des mo-

dèles en 3D d'installations, d'équipements et de produits et utilisent une application de RV pour la simulation des processus de travail. Un réseau numérique MES (pour la gestion des processus industriels) se charge de la gestion courante des données, ce qui permet à tous les employés de l'usine d'accéder à une source d'information commune. On évite ainsi une sauvegarde redondante des données. Étant donné que les machines et les systèmes produits par AGCO doivent offrir une grande flexibilité, de nombreux tracteurs Fendt sont en fait des pièces uniques configurées par les clients. Afin que ce soit possible, l'usine utilise un système de montage extrêmement flexible pour que toutes les séries de tracteurs et tous les modèles puissent être produits avec différents équipements en fonction des exigences des clients et pour réagir rapidement et avec flexibilité aux exigences actuelles du marché.

L'usine se charge également de la peinture des pièces de montage qui sont ensuite montées dans d'autres usines du groupe AGCO. Afin de réduire au maximum les erreurs humaines et ainsi la production de déchets, l'usine a été équipée d'une installation de peinture intelligente. Afin de prévenir des mélanges de couleurs involontaires ou des erreurs entre les peintures en poudre et liquides, dès leur arrivée un scannage des pièces de production de la commande concernée ainsi que du nombre d'exemplaires est effectué et visualisable par les employés grâce à des lunettes intelligentes.

Les données sont ensuite transférées via une interface vers la commande des installations de l'entreprise FendtView. Les numéros des programmes et la couleur sont contrôlés selon des règles préétablies pour éviter des contradictions et d'éventuelles erreurs telles que le mélange de deux couleurs lors d'un processus de peinture.

BASF

Le groupe de chimie BASF a recours à la maintenance prédictive afin par exemple de prévoir l'état de fonctionnement des installations. Grâce à des capteurs, des données concernant l'état de fonctionnement sont collectées en temps réel avant d'être ensuite analysées par un logiciel spécial. L'objectif est ici de prévoir le moment optimal pour effectuer les mesures de maintenance afin de réduire les réparations et les pannes non prévues et d'optimiser les processus de maintenance et de production.

BASF tente également de connecter ses chaînes logistiques internes avec celles de ses clients afin d'optimiser la fiabilité des livraisons et de réduire les coûts sur l'ensemble de la chaîne logistique. Pour cela les clients prodiguent des informations numériques spécifiques concernant les livraisons requises. BASF analyse également sur une plateforme numérique des données globales liées aux transports et les met en relation, comme par exemple les prévisions météorologiques et d'autres actualités. Il devient ainsi possible de réagir plus vite aux événements qui ont un impact sur la chaîne logistique et de réduire les retards.

BASF a créé un laboratoire numérique pour le domaine de la recherche. Des appareils intelligents y sont utilisés qui sont capables d'effectuer des mesures de manière autonome et d'ensuite automatiquement les documenter. Grâce à l'informatique en nuage, ces mesures peuvent aussi être partagées avec d'autres appareils.

Le projet « Kraftwerk 4.0 » optimise la production d'énergie de l'usine principale de BASF située à Ludwigshafen. Celle-ci constitue le plus grand domaine dédié à la chimie du monde et possède ses propres trois centrales électriques. Les besoins en énergie de ce site équivalent environ aux besoins privés en énergie de la Suisse. La production d'énergie peut ainsi être effectuée avec de faibles capacités de réserve. Cependant, afin de pouvoir efficacement planifier des achats d'électricité supplémentaires, l'entreprise a recours à la prévision de la demande, à la fois pour la production et pour les achats supplémentaires. Celle-ci est automatisée et est assistée par un outil d'analyse basé sur les mégadonnées et transformé en algorithme qui prend en considération l'historique des besoins, les données météorologiques et les prix actuels de l'énergie. Lorsqu'un nouveau contrat est passé avec un client, les nouveaux besoins pour les centrales électriques sont automatiquement déterminés. La précision des pronostics peut ainsi passer d'environ 70 à 80 % à 95 %.

Depuis quelques années, BASF possède en plus un superordinateur baptisé Curiosity capable d'effectuer diverses simulations dans l'objectif d'optimiser les produits et de générer des innovations. Il est ainsi possible

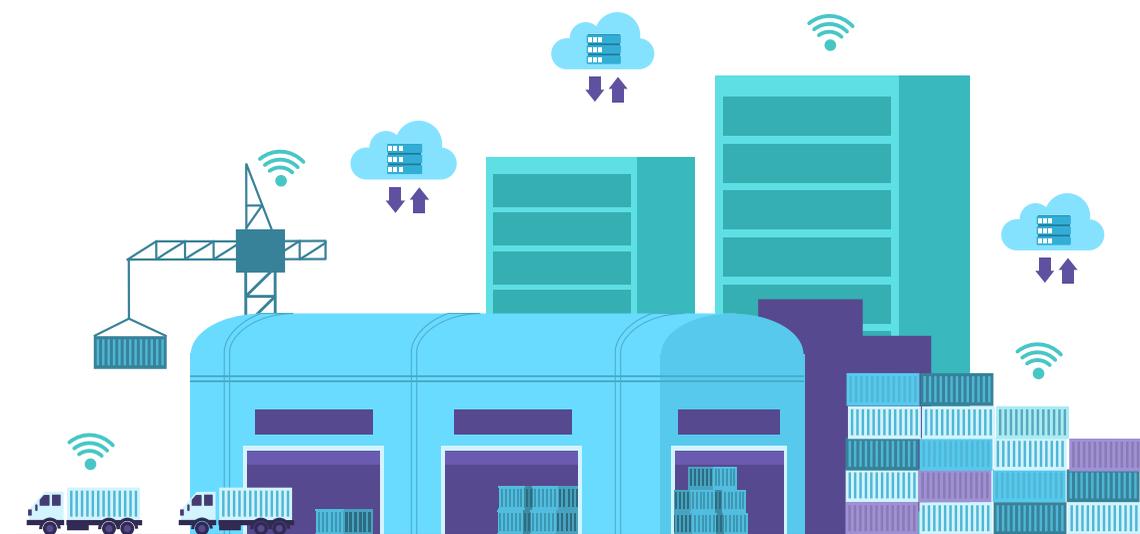
de calculer les interactions entre des pesticides et les sols et leur infiltration dans les nappes phréatiques. De telles simulations pour l'environnement sont très complexes et sont nécessaires pour l'homologation des pesticides par les autorités. Elles peuvent ainsi être calculées en quelques heures au lieu de plusieurs années.

Benzinger

L'entreprise Benzinger produit des tours et des fraiseuses qui sont principalement utilisés dans les secteurs de l'optique, de la mécanique de précision, de la médecine, de la dentisterie, de l'électrotechnique, de la régulation, des systèmes fluides et de stockage, de l'industrie de la sous-traitance automobile, de l'aéronautique et de l'aérospatiale et de l'industrie de l'horlogerie et de la bijouterie. L'entreprise offre tous ces services en tant que prestataire unique : de l'ingénierie à la construction et à l'installation de machines-outils de pièces souhaitées par les clients jusqu'au service après-vente.

La majeure partie des machines possèdent un long cycle de vie et lors de leur livraison, elles n'étaient pas encore équipées d'un accès à Internet, ce qui rend problématique leur utilisation dans le cadre de l'industrie 4.0. Afin de résoudre ce problème, Benzinger a entamé un programme de modernisation afin d'intégrer la communication humain-machines, la connexion numérique et une commande intelligente des machines dans les tours et fraiseuses déjà livrés. Un « tableau de bord intelligent » permet dorénavant aux clients d'accéder de partout et en toute sécurité à leurs documents (dessins, documentations des machines, plans d'équipements, etc.). Il leur rappelle les travaux de maintenance à effectuer et garantit au fabricant comme à ses partenaires pour les services un accès limité et gérable aux commandes des machines.

Benzinger améliore ainsi la maintenance des anciennes machines grâce à une plus grande efficacité et obtient des temps de réaction plus rapides. Autrefois, en cas de besoin il fallait bricoler une connexion à Internet via un ordinateur portable.



Ceci est dorénavant de l'histoire ancienne grâce à l'intégration d'un module IoT. Cet outil est compatible avec 70 % des installations existantes du fabricant de machines. La grande majorité des clients disposent donc à présent de la possibilité d'augmenter leur efficacité de manière significative. Dans le cadre de la numérisation des anciennes machines, des erreurs peuvent se produire qui devront rapidement être corrigées sans qu'il soit nécessaire de procéder à un échange du parc des machines. De plus, ce module ne nécessite pas de ligne dédiée à Internet : la connexion est activée via un canal sûr et encapsulé et ne dure que le temps de la séance de maintenance à distance. Si cela ne s'avère pas suffisant, la RA permet aux clients d'effectuer les réparations à distance. Avec ces options, Benzinger introduit de nouveaux modèles de services orientés clients et augmente aussi la satisfaction de ses clients, ce qui favorise leur fidélisation.

Bosch

Il y a déjà 20 ans de cela, l'entreprise de technologie Bosch a introduit son propre « Bosch Production System » (BPS). Le BPS est évolutif, ce qui le rend adapté aussi bien à la fabrication en petites quantités qu'en grandes quantités. L'objectif est ici d'augmenter la valeur ajoutée et de prévenir le gâchis. Ceci est dorénavant rendu possible par une fusion entre le BPS et les technologies de l'industrie 4.0. Grâce à l'assistance des applications de l'industrie 4.0, toutes les opérations peuvent être analysées dans les moindres détails. Les écarts entre les valeurs attendues et les potentiels d'optimisation sont ainsi rapidement décelés. Tout ceci est possible grâce au Nexeed Industrial

Application System développé par l'entreprise.

Grâce à Nexeed, il est possible chez BSH Hausgeräte GmbH, une filiale de Bosch, de surveiller et d'optimiser la production. Le logiciel collecte les données de chaque machine et les harmonise ensuite. S'il constate des écarts au niveau des normes pour la température ou la pression, un employé est automatiquement informé et peut rapidement prendre les mesures nécessaires. Ceci permet de réduire l'immobilisation des installations, les pertes de production et les dommages consécutifs.

Dans son usine de Bamberg et dans ses filiales internationales, Bosch a entièrement automatisé les lignes de production de ses composants pour les moteurs à essence et diesel ainsi que les piles à combustible et les a équipées du Nexeed Manufacturing Execution System. Ceci lui permet de pouvoir comparer les données de toutes les lignes du réseau de fabrication formé par toutes les usines, également au niveau international, et d'introduire des améliorations. Des informations concernant l'état et l'état de fonctionnement de tous les composants produits sont collectées. Si au terme d'une étape de la production un produit est en dessous ou en deçà d'un niveau de tolérance fixé, l'application déclenche immédiatement une alarme. Et ces informations sont disponibles pour tous les employés de toutes les usines du réseau de production. On peut ainsi lors de la survenue d'un problème dans une usine déterminer si ce type de problème a déjà été rencontré dans cette usine ou dans une autre. Si c'est le cas, les employés peuvent voir comment

leurs collègues ont réglé ce problème, ce qui permettra d'économiser du temps. Bosch a introduit des mesures similaires à celles prises pour ses usines de Hombourg, Feuerbach et Bamberg pour son réseau de production international composé de onze sites de production de systèmes de freinage ABS et ESP qui est géré par l'usine de Blai-chach. Ces mesures ont permis depuis 2012 d'augmenter la productivité des installations de plus de 20 % par an.

En tant qu'entreprise de production présentant de forts besoins en énergie, Bosch tente de répondre aux exigences d'une production respectueuse du climat et durable et de repenser sa gestion énergétique. Dans le cadre de sa stratégie pour la durabilité, l'entreprise a développé son Energy Efficiency Toolbox qui affiche tous les champs pertinents pour la production et crée ainsi un genre de carte des besoins et de la consommation énergétiques afin d'assurer une gestion énergétique plus efficace. L'Energy Efficiency Toolbox rassemble des méthodes de diagnostic et affiche les potentielles optimisations qui pourraient permettre d'améliorer l'efficacité énergétique. Cette Toolbox contient les données de 1 200 projets réalisés dans différentes usines Bosch qui sont utilisées pour effectuer les calculs. La collecte des données est effectuée grâce à l'intégration de capteurs et de modules de communication sur les installations qui transmettent ces données concernant l'énergie directement aux systèmes informatiques supérieurs. Elles sont ensuite couplées à des étapes spécifiques de processus et à des produits. Ceci permet d'obtenir les chiffres indicateurs qui détermineront les besoins d'intervention et les

possibilités d'optimisation. Ceci est effectué par un logiciel intelligent de gestion de l'énergie. L'utilisation de cette Energy Efficiency Toolbox a permis à Bosch depuis 2020 d'atteindre la neutralité carbone pour toute l'entreprise, y compris pour ses plus de 400 sites répartis dans le monde.

Claas

Le fabricant de machines agricoles Claas a créé dans son usine située dans la ville française du Mans les conditions pour la production de tracteurs toujours plus complexes et pourtant configurables individuellement. Pour cela, de nombreux processus complexes des lignes de production ont dû être repensés. L'utilisation de la RV a permis lors de la planification de l'usine d'effectuer au préalable tous les processus de manière numérique, même les modèles de tracteurs qui ne sont pas encore produits. L'introduction de véhicules à guidage automatique (AGV) a tenu un rôle essentiel dans l'automatisation de la production. Ce sont des véhicules utilisés pour déplacer de manière autonome des marchandises, ici des tracteurs qui au cours de leur processus de production doivent être déplacés automatiquement et sans chauffeur vers chaque station de montage. L'usine dispose actuellement de 40 AGV capables de déplacer des charges de jusqu'à 20 tonnes. De plus, les installations de montage ont gagné en espace grâce à la nouvelle infrastructure dédiée à la logistique, ce qui réduit également les risques d'erreurs car seules sont délivrées sur les chaînes les pièces qui sont absolument nécessaires. La capacité de production globale de l'usine a ainsi pu être augmentée d'environ 30 %.

Ford

Le fabricant automobile Ford mise sur la maintenance et les réparations de ses véhicules sur des solutions de RA et apporte ainsi son assistance aux techniciens automobiles grâce à un réseau de revendeurs international. Les mécaniciens peuvent recevoir l'aide d'un employé du Technical Assistance Center (TAC) de Ford, une équipe d'experts centralisée qui porte assistance dans le monde entier à tous les techniciens des revendeurs de Ford et de Lincoln pour les diagnostics de pannes. Grâce à des appels vidéo bidirectionnels effectués via des lunettes intelligentes, les spécialistes du centre d'assistance technique peuvent voir exactement la même chose que les techniciens sur place. Les employés du CAT peuvent apporter leur aide de manière ciblée et des instructions en temps réel directement dans le champ visuel du mécanicien. Celles-ci peuvent prendre la forme de commentaires affichés sur l'écran, de marquages sur des images en direct ou dans des manuels et des guides pour les réparations. Ils sont également en mesure de partager leur propre écran avec les techniciens ou bien d'enregistrer les séances pour le contrôle qualité. L'utilisation de solutions de RA aide Ford à éliminer plus rapidement les erreurs décelées, ce qui a un impact positif sur les promesses de services de Ford à ses clients.

Leitner

L'entreprise Leitner est leader mondial dans le développement et la construction de téléphériques. En tant qu'entreprise du groupe High Technology Industries (HTI), elle construit des téléphériques pas uniquement dans les montagnes, mais aussi dans les villes.

Leitner fonde sa réussite économique sur les innovations. Cette stratégie concerne aussi bien ses propres produits que les processus. À titre d'exemple, les pôles de rotors qui sont intégrés par centaines dans le système de propulsion d'un téléphérique sont fabriqués dans une cellule de production de manière entièrement automatisée grâce à des robots. Le robot exécute les 20 étapes du processus de la fabrication, tandis que le tout est surveillé via le traitement d'images prises par des caméras haute résolution. Des capteurs collectent et traitent par exemple les dimensions au niveau de la largeur et de la hauteur. En cas d'écart constatés avec les niveaux de tolérance fixés, les pôles de rotors concernés sont déclarés défectueux et éliminés automatiquement du processus de fabrication.

Les téléphériques de Leitner sont techniquement très complexes. Afin de réduire au maximum pour les clients les frais générés par les travaux réguliers de maintenance et les réparations, Leitner mise sur des solutions de maintenance à distance fondée sur la RA. Du centre de services situé à Sterzing, environ 100 experts techniques prennent en charge les plus de 2 500 téléphériques répartis dans le monde grâce à l'assistance à distance. Des experts sont immédiatement connectés avec l'installation concernée et sont ainsi en mesure de contrôler les erreurs les plus typiques ou bien, le cas échéant, d'ajuster les réglages. L'assistance aux clients est ainsi disponible à tout moment et tout au long de l'année, où que se trouve le client.

À cela s'ajoute que les employés des clients peuvent sur place grâce à la RA, sous la forme de marquages et de dessins, aider

les spécialistes de Leitner qui se trouvent à distance. Un ordinateur de Leitner est alors connecté à un smartphone sur place, ce qui permet au spécialiste de bénéficier de la même perspective sur l'installation que le technicien présent dans le téléphérique. Souvent, le téléphérique ne doit même pas être immobilisé lors de ces interventions. Et les barrières linguistiques ne constituent pas un barrage. En cas de besoin, au terme de ce premier dépannage rapide, il est aussi possible de convenir d'un rendez-vous personnel pour la maintenance.

thyssenkrupp

L'entreprise thyssenkrupp utilise pour ses différents secteurs commerciaux de nombreuses solutions que l'on peut classer sous le terme « industrie 4.0 ». thyssenkrupp a par exemple numérisé la production de son usine de Hohenlimbourg et connecté les processus des fournisseurs, de son usine et de ses clients. La production de matériaux est contrôlée à distance chez le fournisseur afin qu'ils puissent être disponibles en cas de délais de livraison courts requis par le client. À l'inverse, les clients peuvent également grâce à la mise en réseau en temps réel influencer la production de l'usine et déterminer eux-mêmes dans le système informatique la commande qui doit être produite. Des modifications peuvent encore être effectuées jusqu'à un bref délai avant le début de la production. Pour ce faire, thyssenkrupp a développé sa propre application pour permettre aux clients de passer des commandes qu'ils pourront encore modifier peu de temps avant le lancement de la production. À titre d'exemple, cette mise en réseau a déjà permis de réduire les frais de stockage.

Pour sa production d'arbres à cames dans son usine d'Ilsenburg, thyssenkrupp a, avec l'aide d'applications issues de l'industrie 4.0 telles que des scanners de codes-barres ou matriciels et des lecteurs RFID, fusionné le monde physique avec des réseaux de données dans le cyberspace pour créer un « système cyber-physique » dans l'objectif de construire une usine intelligente. Les arbres à cames et les installations servant à leur production sont ainsi en échange constant. Chaque arbre à cames reçoit sa propre identité et doit être enregistré de manière individuelle auprès de chaque machine. L'installation est ainsi informée de la validité du statut du produit et s'il peut être monté par cette installation ou si par exemple il lui manque encore l'une des étapes précédentes du processus.

thyssenkrupp Material Services permet, grâce à une plateforme IIoT développée par ses soins et évolutive, à des machines de différents fabricants et de différentes générations de communiquer ensemble, ce qui autorise le recours à des applications telles que la maintenance prédictive. L'objectif est ici d'automatiser les processus sur toute la chaîne logistique pour les rendre plus efficaces. La plateforme autorise à la fois l'échange de données et la communication entre les machines, tout comme entre les machines et les systèmes informatiques. Les opérations peuvent être planifiées de manière optimale et flexible partout dans le monde et indépendamment des sites et être harmonisées. La plateforme autorise également l'analyse des données, non seulement en les collectant, mais aussi en les rendant accessibles.

5 Conclusion

Depuis dix ans déjà, l'industrie 4.0 exerce son influence sur le secteur manufacturier. Au cours de cette période, de nombreuses entreprises ont procédé à une transformation numérique de leur production. Les exemples issus de la pratique présentés dans cette étude illustrent les différentes formes que celle-ci peut prendre. Grâce à la numérisation de leurs processus de production, les entreprises peuvent bénéficier par exemple d'une augmentation de leur productivité et de leur efficacité ainsi que d'une réduction de leurs coûts. Ceux-ci constituent également les avantages que les 1 452 décideurs en entreprise provenant de dix pays européens qui ont pris part à cette enquête mentionnent comme étant les plus importants.

Cette enquête révèle cependant également que la vision de l'industrie 4.0 des entreprises interrogées demeure très hétérogène. Alors que certaines entreprises se montrent résolument pionnières dans ce domaine, d'autres en sont encore au tout début de leur transformation numérique. Parmi ces retardataires, on observe même dans certains cas l'absence totale de prise de conscience de la signification majeure de l'industrie 4.0, ou bien les investissements à effectuer au niveau du temps et financier constituent, selon leurs propres dires, le défi majeur, et pour elles un prix (encore) trop cher à payer.

Mais même si de nombreuses entreprises font encore preuve d'hésitation, elles ne pourront pas sur le long terme éviter de procéder à une transformation numérique de leur production si elles veulent continuer à réussir sur le marché. L'industrie 4.0 constitue en effet l'une des clés pour rester concurrentiel. Elle seule permettra à l'avenir aux entreprises d'adapter leurs processus de production afin qu'ils soient rentables, durables et parfaitement adaptés aux exigences de leurs clients. Il convient également de prendre en considération que l'industrie 4.0 affecte la totalité des chaînes de création de valeur de la production des biens de consommation. Ces chaînes de

création de valeur ne se limitent cependant pas au cadre de l'entreprise. La transformation numérique de seulement certaines étapes d'une chaîne de création de valeur ne suffira pas à réaliser pleinement ses potentiels. Concrètement, cela signifie pour les entreprises qui n'effectuent pas encore de transition vers une transformation numérique de leur production qu'elles ne pourront par exemple dans certains cas plus faire partie de la chaîne de création de valeur en tant que fournisseurs car elles ne pourront plus être intégrées aux processus connectés mis en place par leurs partenaires.



Handelsblatt
RESEARCH INSTITUTE

Le **Handelsblatt Research Institute (HRI)** est un institut de recherche indépendant membre du Handelsblatt Media Group. Il réalise des études scientifiques sur commande de ses clients et clientes, tels que des entreprises, des investisseurs financiers, des associations, des fondations et des organismes publics. Il dispose pour cela des compétences scientifiques d'une équipe de 30 personnes qui réunit des économistes, des spécialistes en sciences sociales et naturelles, ainsi que des historiens possédant des compétences journalistiques qui se chargent du traitement des résultats.

Il collabore de plus avec un réseau de partenaires et de spécialistes. Le Handelsblatt Research Institute propose également des recherches documentaires, des analyses concurrentielles et des études de marché.

Conception, recherche et mise en page :

Handelsblatt Research Institute

Toulouser Allee 27

40211 Düsseldorf

www.handelsblatt-research.com

Les auteurs : Dennis Huchzermeier, Dr Sven Jung, Dr Frank Christian May, Thomas Schmitt

Mise en page : Isabel Rösler, Ilka Schlegtendal

Düsseldorf, mars 2022

Source pour les illustrations : Freepik