



# Intégrer l'autonomie aux systèmes de contrôle industriels

Avril 2020

 Microsoft

# Table des matières

---

<b>Les ingénieurs conçoivent des machines industrielles de plus en plus intelligentes</b> .....	3
L'Industrie 4.0 s'appuie sur des systèmes intelligents et connectés .....	3
La feuille de route de l'Industrie 4.0 .....	4
<b>Des systèmes de contrôle autonomes pour dynamiser votre transformation numérique</b> .....	5
Les limites des systèmes de contrôle existants .....	5
Les systèmes de contrôle autonomes alimentent l'innovation.....	6
<b>Les systèmes de contrôle autonomes s'adaptent en temps réel à l'évolution des environnements ou des entrées et s'optimisent pour atteindre plusieurs objectifs</b> .....	6
<b>Présentation de Microsoft Project Bonsai</b> .....	7
Fonctionnement de Project Bonsai .....	7
<b>Microsoft Project Bonsai rend possible un large éventail de cas d'utilisation</b> .....	9
Étude de cas d'un contrôleur de mouvement : contrôle autonome des lames de bulldozer .....	9
Étude de cas de calibrage de machine : machines CNC chez Siemens .....	10
Étude de cas de contrôle et d'optimisation de processus : contrôle de processus de fabrication de tranches .....	10
<b>Microsoft démocratise le développement de systèmes de contrôle autonomes grâce à l'IA</b> .....	11



## Les ingénieurs conçoivent des machines industrielles de plus en plus intelligentes

Dans tous les secteurs industriels, des machines dynamiques et intuitives font évoluer les modes opératoires des entreprises. Contrairement à la technologie traditionnelle axée sur des règles, ces machines et processus flexibles s'adaptent à des environnements dynamiques et des variables évolutives. Imaginez une ligne de production sur laquelle des bras robotiques installent des composants électriques sur des machines. En règle générale, le bras doit s'interrompre si une pièce n'est pas orientée correctement sur la ligne de production. Mais avec une technologie dynamique et adaptable, le bras peut ajuster son mouvement pour installer facilement la pièce, quel que soit son positionnement.

Nous ne parlons pas d'une technologie d'un lointain futur. Des drones qui inspectent les pipelines indépendamment aux serres auto-optimisées, d'innombrables technologies intelligentes influencent notre monde actuel.

Tout comme la vapeur et l'électricité ont révolutionné l'industrie il y a un siècle, la technologie basée sur l'IA alimente la quatrième révolution industrielle, ou Industrie 4.0.

### L'Industrie 4.0 s'appuie sur des systèmes intelligents et connectés

L'industrie 4.0 est définie par une infusion d'intelligence, de connectivité et d'automatisation dans le monde physique. Des opérations intelligentes, connectées et agiles ouvrent la voie à une nouvelle ère pour l'industrie numérique. Au-delà de la technologie, il s'agit d'écosystèmes connectés de bout en bout, de stratégies commerciales innovantes et de collaborateurs productifs et habilités. Et comme pour les précédentes transformations industrielles, l'industrie 4.0 a le pouvoir de créer une quantité de valeur considérable pour presque toutes les organisations, et de générer jusqu'à 3 700 milliards d'USD d'ici 2025.<sup>1</sup> Pour citer des chiffres plus applicables aux entreprises moyennes : 50 % des entreprises qui adopteront l'IA au cours des 5 à 7 prochaines années peuvent doubler leur flux de trésorerie. Et les fabricants qui mettent en place des systèmes intelligents observent un gain de productivité de 17 à 20 %.<sup>2</sup> Ces changements représentent une occasion remarquable d'innover et créent de forts avantages concurrentiels.

Le potentiel de l'Industrie 4.0 est immense. Mais qu'implique cette transformation ?



# 17-20 %

de gain de productivité réalisé par les fabricants qui mettent en place des systèmes intelligents<sup>2</sup>

## La feuille de route de l'Industrie 4.0

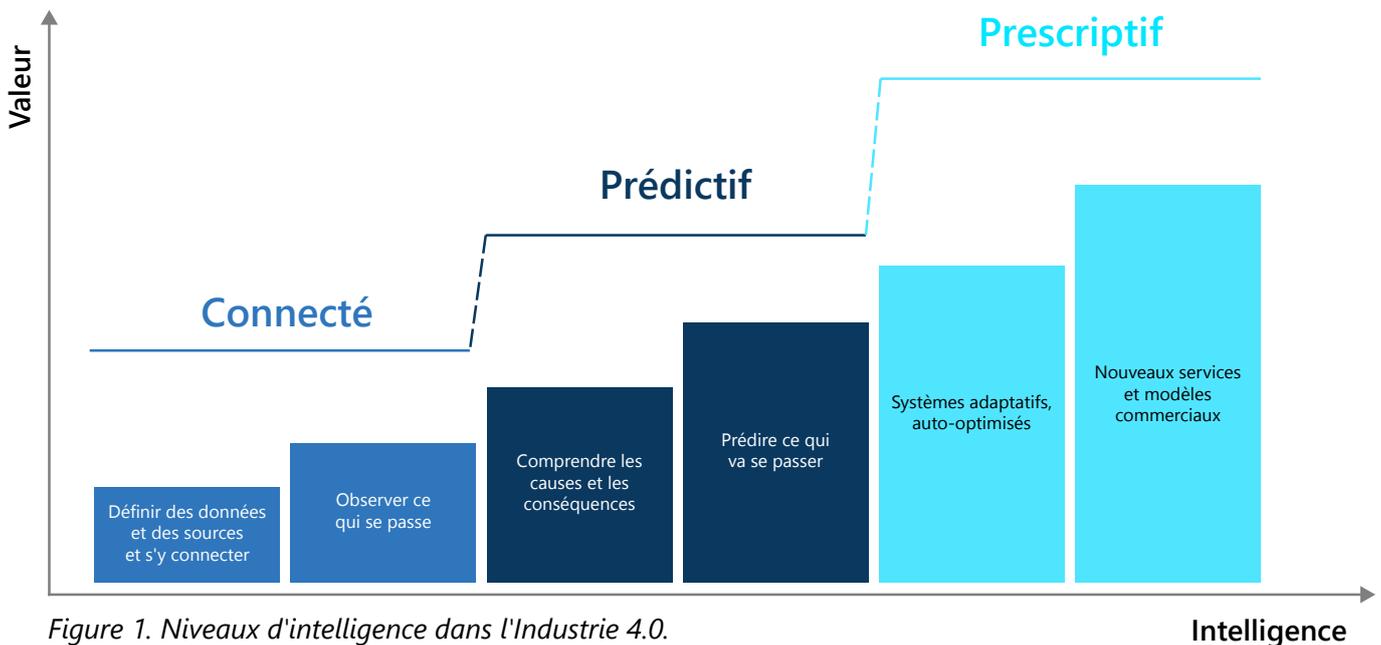


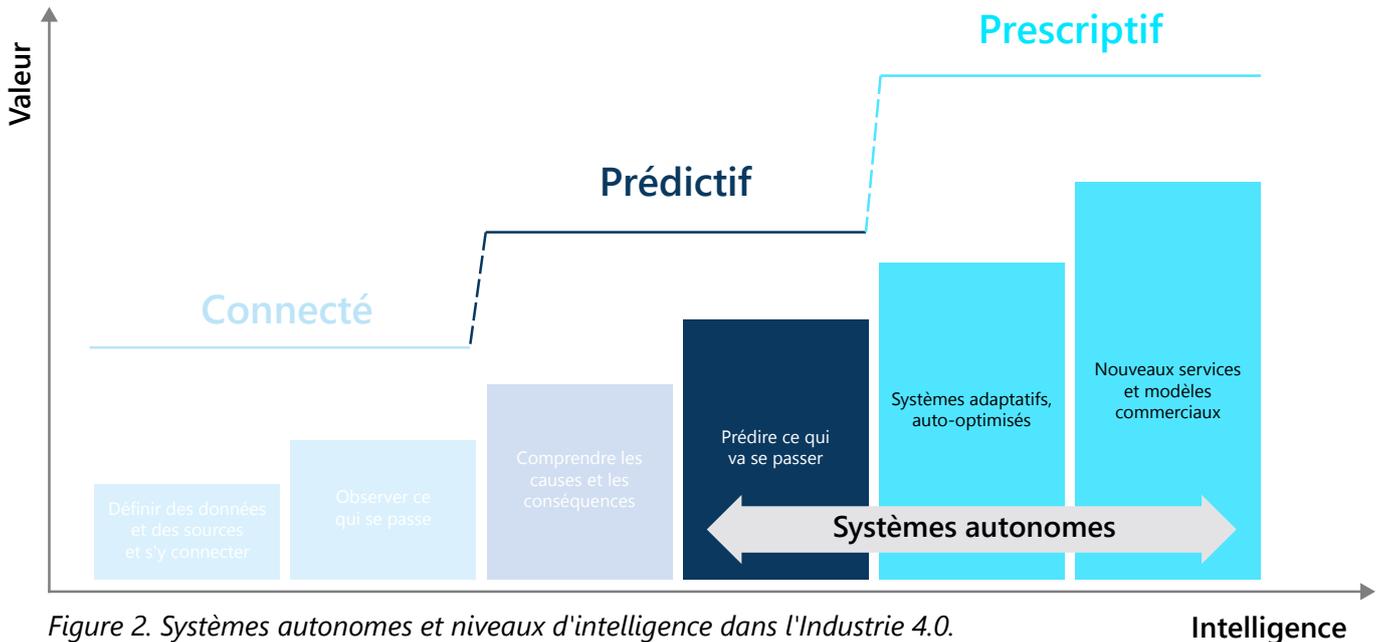
Figure 1. Niveaux d'intelligence dans l'Industrie 4.0.

Chez Microsoft, nous avons aidé des organisations de tous les secteurs à réaliser leur transformation numérique et à concrétiser la promesse de l'Industrie 4.0. Le précédent graphique montre la progression typique réalisée par ces clients.

- De nombreux fabricants sont actuellement au niveau « connecté » : établir une connectivité entre les machines, les lignes de production et les systèmes de contrôle.
- Au niveau « prédictif », les organisations exploitent des données de l'Internet des objets pour mieux comprendre leurs opérations et utilisent l'apprentissage automatique pour prédire les événements à venir, comme par exemple, lorsqu'une machine aura besoin de maintenance.
- Au niveau « prescriptif », les entreprises mettent en place une technologie et des processus adaptatifs, « auto-optimisés ». Il s'agit notamment, entre autres, de **systèmes de contrôle intelligents** qui permettent aux équipements et aux machines de s'adapter en temps réel à l'évolution des entrées ou des conditions environnementales, contrairement aux systèmes de contrôle plus statiques et plus rigides. Ce troisième niveau fait appel à des technologies révolutionnaires qui ont le pouvoir de changer l'ensemble des secteurs et de créer de nouveaux marchés.



# Des systèmes de contrôle autonomes pour dynamiser votre transformation numérique



## Les limites des systèmes de contrôle existants

Les systèmes de contrôle industriels forment la colonne vertébrale des entreprises dans différents secteurs, mais les systèmes actuels ont leurs limites. Les contrôleurs traditionnels tels que les MPC, les PID et les APC opèrent selon un ensemble d'instructions déterministes dans des environnements prévisibles. Bien que ces systèmes de contrôle exécutent efficacement une tâche à la fois, les opérateurs humains doivent réajuster manuellement les paramètres des machines selon les différents scénarios, conditions ou objectifs. Par exemple, un opérateur doit ajuster le contrôleur d'un bulldozer selon qu'il opère dans un sol mouillé, rocailleux ou sablonneux. De plus, ces technologies existantes ne sont capables de se concentrer que sur un seul objectif d'optimisation à la fois, comme maximiser le débit ou minimiser l'utilisation de l'énergie.

Ces systèmes comportent également des limites pour les utilisateurs. Il est souvent difficile pour les opérateurs et les ingénieurs de gérer avec des variables dans des systèmes disparates. L'existence de différents niveaux de complexité pour chaque

système met en valeur l'écart entre les actions possibles pour des opérateurs débutants et experts, ce qui rend difficile une gestion cohérente des systèmes entre différentes installations. Cela représente un défi pour de nombreux fabricants : actuellement, 40 % des fabricants manquent de compétences pour développer ou exécuter des systèmes de l'Industrie 4.0.<sup>3</sup> Mener à bien une transformation numérique, c'est être en mesure de tirer parti des technologies innovantes pour permettre à ses collaborateurs d'acquérir une plus grande efficacité.

### Limites des systèmes existants :

- Incapacité à contrôler l'évolution des scénarios et des conditions
- Difficulté à gérer des objectifs d'optimisation multiples ou évolutifs
- Incapacité à répondre aux entrées de données inconnues
- Les opérateurs humains ont des performances inégales et il faut du temps pour régler les paramètres manuellement

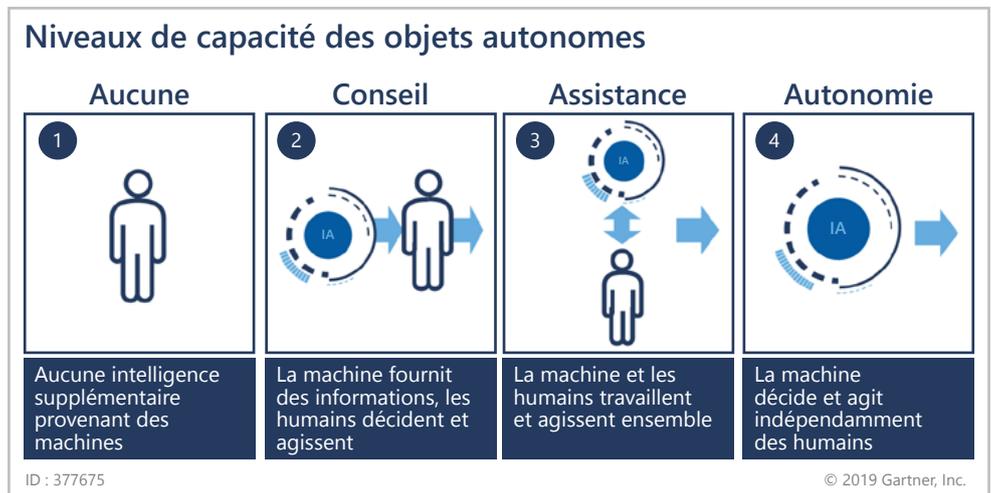
## Les systèmes de contrôle autonomes alimentent l'innovation

Alimentés par l'intelligence artificielle (IA), les systèmes de contrôle autonomes vont au-delà de l'automatisation basique. Au lieu de répéter des tâches spécifiques sans variation, les systèmes de contrôle autonomes s'adaptent en temps réel aux environnements évolutifs ou aux entrées, et s'optimisent même pour répondre à plusieurs objectifs. Par exemple, Schneider Electric utilise un système de contrôle autonome pour que ses systèmes CVC s'optimisent simultanément pour le confort de température, la conformité du niveau de CO<sub>2</sub> et la réduction de consommation d'énergie. Et une entreprise de transformation alimentaire a créé une ligne d'extrusion autonome avec des extrudeuses qui s'adaptent à des entrées variables telles que la composition des ingrédients et la teneur en humidité.

Comme le montre le diagramme *Niveaux de capacité des objets autonomes*, différents niveaux d'autonomie peuvent être exploités selon différents scénarios. Une autonomie « consultative » simple commence par des systèmes qui prédisent les événements à venir pour permettre aux collaborateurs de prendre des décisions éclairées. Les technologies d'assistance procurent aux collaborateurs des suggestions et des recommandations sur la meilleure conduite à suivre. Au niveau de capacité le plus avancé, les machines et les systèmes fonctionnent en totale autonomie et s'auto-optimisent sous une supervision humaine limitée, libérant ainsi les collaborateurs qui peuvent se concentrer sur des tâches plus décisives. La totalité de l'usine ou de l'installation ne fonctionne pas pour autant de façon indépendante, mais certains processus ou machines le peuvent.

## Les systèmes de contrôle autonomes s'adaptent en temps réel à l'évolution des environnements ou des entrées et s'optimisent pour atteindre plusieurs objectifs

Nous avons constaté que les systèmes autonomes les plus efficaces tirent parti d'une combinaison de chaînes d'asservissement numérique et d'une expérience humaine réelle. Les chaînes d'asservissement numérique reposent sur un processus d'utilisation des données de télémétrie en temps réel pour éclairer des actions et des recommandations, et sur des données historiques pour entraîner l'amélioration d'opérations ou de produits. La participation humaine intervient précieusement de deux façons. Dans la première, les ingénieurs et les opérateurs utilisent leur expertise pour construire des systèmes qui



Source : Gartner, Top 10 Strategic Technology Trends for 2019: Autonomous Things (mars 2019)

Exemple de conseil	Exemple d'assistance	Exemple d'autonomie
Les collaborateurs observent le statut de la machine et prennent des décisions éclairées quant à la planification de la maintenance	Les applications fournissent des délais de maintenance optimaux afin d'éviter des perturbations coûteuses et de minimiser les coûts de maintenance	Les systèmes identifient les délais idéaux et planifient la maintenance par eux-mêmes

Figure 3. L'évolution typique des objets autonomes



fonctionnent correctement. Dans la seconde, après le déploiement, il est toujours possible de garder un humain dans la chaîne pour superviser la solution et agir sur ses recommandations.

Ces scénarios se traduisent par d'importants avantages commerciaux. Ils ouvrent des opportunités qui étaient auparavant impossibles et qui améliorent considérablement le débit, l'efficacité et la qualité. Les systèmes autonomes peuvent effectuer des tâches telles que le calibrage et le réglage de machine plus rapidement que des opérateurs humains, et améliorer la qualité des résultats en opérant avec plus de justesse et de précision. Ils permettent aux collaborateurs d'atteindre une plus grande efficacité, à plus grande échelle, et d'ainsi mieux se concentrer sur des tâches plus importantes. Quel qu'en soit l'utilisation, le potentiel de l'impact commercial est considérable.

## Présentation de Microsoft Project Bonsai

Chez Microsoft, notre objectif est de permettre aux entreprises industrielles de développer et de maintenir des systèmes autonomes à leurs conditions. Ces systèmes complexes doivent répondre aux exigences spécifiques de chaque entreprise. La majorité des employés du secteur de la fabrication et de l'énergie sont ingénieurs, et non scientifiques des données. Pour concevoir des systèmes d'intelligence artificielle, ces entreprises font donc souvent appel à un tiers, et se retrouvent avec une solution « boîte noire » qu'ils ne peuvent pas facilement dépanner ou améliorer. Les organisations doivent être en mesure de créer des systèmes de contrôle intelligents grâce à leur expertise unique en la matière, sans faire

appel à des compétences avancées de science des données.

Grâce à la plateforme Microsoft Project Bonsai, c'est possible. Project Bonsai permet aux entreprises de créer leurs systèmes et processus les plus dynamiques avec des contrôleurs intelligents. Notre plateforme permet à leurs experts de créer et de gérer des systèmes autonomes explicables, vérifiables, réutilisables et fiables. Et selon leurs besoins opérationnels, les entreprises peuvent permettre aux contrôleurs de fournir des recommandations aux opérateurs ou leur donner un pouvoir de décision directe. Cette innovation de transformation ouvre de nouvelles possibilités et améliore considérablement le débit, l'efficacité et la qualité.

### Fonctionnement de Project Bonsai

Des experts de n'importe quel secteur peuvent créer l'agent d'IA, ou le cerveau, qui alimentera les systèmes de contrôle intelligents au moyen d'une combinaison unique de « machine teaching », d'apprentissage par renforcement, de simulation et de capacités de déploiement.

#### Identification de cas dans lesquels le cerveau gagne

1. Systèmes très complexes
2. Stratégies ou objectifs d'optimisation concurrents
3. Entrées évolutives
4. Environnements ou conditions imprévisibles

Initié par Microsoft, le **machine teaching** est une nouvelle approche complémentaire de l'apprentissage automatique (machine learning), qui peut être utilisée par d'autres personnes que des experts en IA. Avec le machine teaching, on peut décomposer un problème complexe en compétences individuelles et donner à l'IA des indices utiles vers des méthodes d'apprentissage plus rapide. Par exemple, dans un scénario d'entrepôt et de logistique, une équipe d'ingénieurs pourrait utiliser le machine teaching pour former des chariots élévateurs autonomes. On commencerait par des compétences basiques, comme s'aligner à une palette. Ensuite, en s'appuyant sur cela, on pourrait alors apprendre au chariot élévateur à se diriger vers une palette,

à la ramasser et à la reposer. À la fin, le chariot élévateur autonome saurait détecter d'autres personnes et d'autres équipements, et retourner à sa station de charge.

La plateforme utilise les étapes définies dans le processus de machine teaching pour informer le processus de formation. La technique d'apprentissage automatique que nous utilisons aujourd'hui est appelée **apprentissage par renforcement (RL, pour reinforcement learning)**.

L'IA apprend en exécutant des décisions et en recevant des récompenses pour les actions qui la rapprochent d'un objectif final. Bien que l'apprentissage par renforcement traditionnel soit une approche chronophage comportant beaucoup d'essais et d'erreurs, le machine teaching accélère et améliore le processus de formation et permet même aux ingénieurs de réutiliser des étapes individuelles pour d'autres cerveaux d'IA. Le machine teaching facilite également la compréhension et l'audit du comportement du système de contrôle autonome une fois déployé, ce qui est essentiel pour les applications de sécurité critiques.

Les entreprises ne peuvent pas se permettre de mettre des équipements indispensables hors-ligne ni de risquer d'endommager un système durant l'apprentissage de l'IA, le processus d'apprentissage par renforcement se déroule donc dans des **environnements de simulation** sûrs et rentables. Par exemple, un cerveau d'IA qui apprend à contrôler une lame de bulldozer reçoit des informations sur les variables dans l'environnement de simulation (comme le type de saleté ou la proximité des personnes qui marchent à proximité), réalise une action, puis est récompensé en conséquence. Le cerveau de l'IA améliore peu à peu ses décisions pour maximiser sa récompense, et les experts dans le domaine peuvent alors modifier le système de récompense pour parvenir à une solution qui fonctionne.

### Apprentissage par renforcement traditionnel

- Apprend par essai/erreur
- Inefficacité au niveau statistique

### Combiné au machine teaching

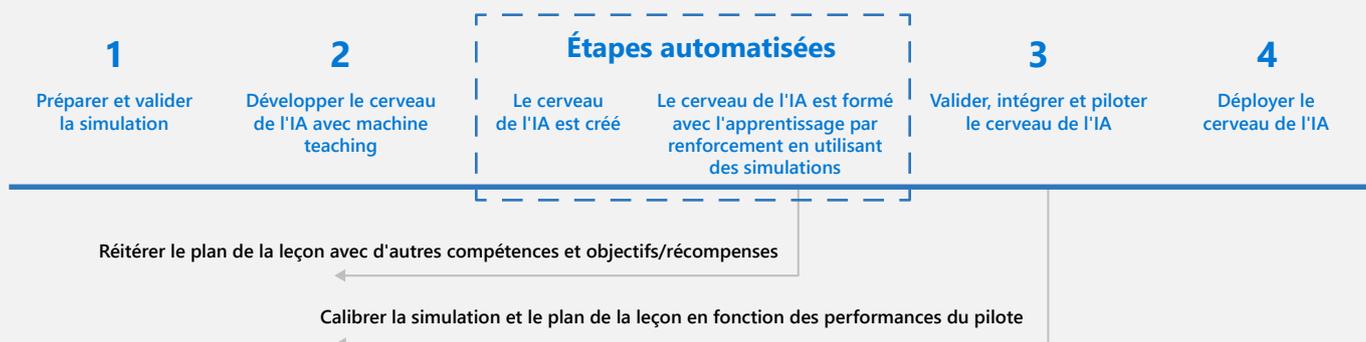
- Accélère la formation
- Étapes et processus réutilisables
- Explicable et vérifiable

Les environnements de simulation peuvent répliquer des millions de scénarios réels qu'un système pourrait rencontrer, notamment des situations de périphérie comme une panne du capteur, afin que le cerveau de l'IA puisse apprendre à s'adapter. Les entreprises peuvent également former rapidement le cerveau de leur IA en exécutant ces simulations en parallèle sur Microsoft Azure. Nous travaillons avec un écosystème de partenaires afin de garantir la compatibilité de notre plateforme avec des produits de simulation spécialisés comme AspenTech et MATLAB, pour permettre aux ingénieurs de réutiliser les conceptions de simulation qu'ils ont déjà créées.

Les entreprises peuvent **déployer** les cerveaux d'IA de trois façons : d'abord, dans le cloud, en tant que service que l'ordinateur du contrôleur peut induire si besoin. Deuxièmement, sur un appareil, intégré directement à un ordinateur de contrôle interopérable. Et troisièmement, en périphérie, en utilisant un ordinateur « compagnon » capable de communiquer en temps réel avec l'ordinateur du contrôleur.

Selon leurs besoins opérationnels, les entreprises peuvent faire en sorte que le cerveau de l'IA fournisse aux opérateurs une **aide décisionnelle** dans certains cas et lui conférer une **autorité décisionnelle directe** dans d'autres. Dans un

### Processus de formation du cerveau d'IA



scénario d'aide décisionnelle, la solution s'intègre au logiciel existant de surveillance de l'IoT pour fournir des recommandations et des prédictions favorables à une cohérence entre les opérateurs et offre aux opérateurs moins expérimentés un aperçu du niveau expert. Avec l'autorité décisionnelle directe, les cerveaux de l'IA peuvent développer des solutions créatives à des situations défiant les opérateurs les plus expérimentés.

Ces capacités ne dessinent que le début du parcours de nos systèmes autonomes. Nous continuerons d'intégrer des outils et des services révolutionnaires encourageant la transformation des secteurs industriels.

## Microsoft Project Bonsai rend possible un large éventail de cas d'utilisation

De l'optimisation des éoliennes aux machines et à la robotique, la chaîne d'outils de Project Bonsai de Microsoft permet aux entreprises d'insuffler de l'intelligence dans des systèmes de contrôle industriel nouveaux et existants.

Même si n'importe quel système peut être amélioré grâce à la technologie autonome, nous nous concentrons sur trois scénarios clés d'optimisation de systèmes.

- Contrôleur de mouvement : optimise les mouvements et la trajectoire d'objets tels que des bras robotiques, des lames de bulldozer, des chariots élévateurs, des équipements de forage souterrain et des véhicules de sauvetage.<sup>4</sup>
- Contrôle et automatisation des processus : optimise le débit, l'efficacité et la qualité des processus industriels, de la fabrication de biens de consommation et du traitement des aliments aux réacteurs thermiques et aux vannes de contrôle d'évaporation.
- Réglage et calibrage des machines : réduit considérablement les temps d'arrêt des machines en les calibrant plus rapidement et plus précisément que ne le peut l'intelligence humaine seule.

### Étude de cas d'un contrôleur de mouvement : contrôle autonome des lames de bulldozer

#### Problème de l'entreprise

Afin de préparer une lame de bulldozer pour une coupe, les opérateurs doivent ajuster un contrôleur PID. Ce processus peut être répétitif et fastidieux, car le réglage doit se faire pour chaque nouvelle pièce d'équipement et de matériel de coupe.

#### Méthode actuelle et limites

Le montage et la descente des lames de Dozer forment un processus contrôlé par cinq paramètres PID. Les opérateurs peuvent avoir besoin d'augmenter ou de diminuer certains paramètres sur site, si les paramètres par défaut ne sont pas appropriés.

#### Objectif et résultats de l'initiative des systèmes autonomes

Pour améliorer ce système, une entreprise a décidé de former un cerveau d'IA à des commandes de contrôle de sortie qui ajustent la lame du bulldozer de haut en bas en temps réel pendant une coupe. Cela permettrait d'optimiser le nombre d'ondulations, ou la planéité de la coupe, sur un seul bulldozer à différentes vitesses.

Le cerveau de l'IA a été déployé sur un système basé sur le processeur à usage spécifique connecté au bulldozer. Les actions ont été transmises du cerveau de l'IA au bulldozer en temps réel. En résultat, le cerveau a atteint un nombre d'ondulations qui a dépassé le niveau



de référence du PID sur plusieurs modèles de bulldozers à plusieurs vitesses.

## Étude de cas de calibrage de machine : machines CNC chez Siemens

### Problème de l'entreprise

À l'instar de nombreuses autres entreprises, le calibrage des machines CNC chez Siemens était un processus manuel et très long qui nécessitait des temps d'arrêt de machine et était souvent effectué par des experts tiers.

### Méthode actuelle et limites

Le processus de calibrage de machines nécessite des opérateurs humains experts et une moyenne de 20 à 25 étapes itératives sur plus de deux heures, et manque souvent de précision.

### Objectif et résultats de l'initiative des systèmes autonomes

Grâce à l'expertise des ingénieurs en mécanique, Siemens a conçu un cerveau d'IA permettant d'automatiser le calibrage des machines en quelques secondes ou quelques minutes, plutôt qu'en heures ou en jours. Ils ont atteint une précision à deux microns, pour quatre à cinq étapes itératives en 13 secondes. Le système permet un degré de précision incroyable (moins d'un micron) en 10 étapes itératives et peut calibrer plusieurs types et tailles de machine.

## Étude de cas de contrôle et d'optimisation de processus : contrôle de processus de fabrication de tranches

### Problème de l'entreprise

L'épitaixie du silicium est cultivé dans des réacteurs thermiques, qui doivent être strictement contrôlés pour un chauffage uniforme. Les différentes phases du processus nécessitent différents paramètres de lampe thermique pour maintenir des conditions optimales dans le réacteur : ces paramètres sont également appelés « recette ».

### Méthode actuelle et limites

Le contrôleur PID fournit une correction d'erreur permettant de maintenir une température cohérente. Le contrôleur se concentre uniquement sur la distribution de chaleur et ne prend pas en compte d'autres objectifs d'optimisation comme la vitesse ou l'utilisation d'énergie.

### Objectif et résultats de l'initiative des systèmes autonomes

Cette entreprise a développé un cerveau d'IA pour contrôler automatiquement les réacteurs, ce qui a accéléré le processus et permis une économie des coûts. Enfin, le cerveau de l'IA a minimisé le temps et le coût de la croissance du substrat de la tranche au-delà de l'objectif de cohérence de la qualité.



# Microsoft démocratise le développement de systèmes de contrôle autonomes grâce à l'IA

Avec la solution Project Bonsai de Microsoft, les ingénieurs peuvent concevoir des systèmes de contrôle plus intelligents et plus agiles qui permettent à leurs machines et processus de s'adapter en temps réel à des conditions changeantes. Notre solution permet aux ingénieurs d'appliquer leur domaine d'expertise afin d'accélérer le développement de ces contrôleurs et de s'assurer qu'ils répondent à leurs exigences uniques, sans faire appel à un scientifique des données. Seul Microsoft vous permet de déployer et de gérer des systèmes de contrôle intelligents explicables, vérifiables, réutilisables et fiables.

Pour en savoir plus, visitez le [site web de Project Bonsai](#) ou inscrivez-vous [ici](#). Notre projet Feuille de travail de découverte du projet et les sessions consultatives peuvent vous aider à déterminer comment intégrer au mieux les systèmes autonomes à votre entreprise et l'alimenter.



© 2020 Microsoft. Tous droits réservés. Ce livre blanc est proposé à titre informatif uniquement. Microsoft décline toute garantie, expresse ou implicite, quant aux informations fournies dans le présent document.

Ce document est fourni « en l'état ». Les informations et avis figurant dans ce document, dont les URL et autres références à des sites Internet, peuvent changer sans préavis. Vous assumez les risques liés à son utilisation. Ce document ne vous confère aucun droit légal envers toute propriété intellectuelle de tout produit Microsoft. Vous pouvez copier et utiliser ce document à des fins de consultation interne

<sup>1</sup> [The Next Economic Growth Engine, World Economic Forum 2018](#)

<sup>2</sup> [Factory of the Future: Achieving Digital Excellence in Manufacturing Today, Microsoft 2019](#)

<sup>3</sup> [Forrester Infographic: Manufacturing Firms Look Beyond Core IT for Digital Capabilities, Forrester 2019](#)

<sup>4</sup> [Helping first responders achieve more with autonomous systems and AirSim, Microsoft 2019](#)