



L'IA incarnée créera-t-elle des collègues robotisés ?

30 juin 2025 | Article

Un regard pragmatique sur ce que les robots à usage général peuvent – et ne peuvent pas encore – faire sur le lieu de travail.

TÉLÉCHARGEMENTS

[↓ Article \(10 pages\)](#)

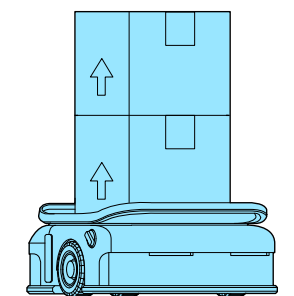
De la diplomatie raffinée de C-3PO aux exploits héroïques de R2-D2 sur le champ de bataille, les robots fascinent notre imagination depuis longtemps. Aujourd'hui, ce qui relevait autrefois de la science-fiction se rapproche peu à peu de la réalité industrielle. Des robots polyvalents, dotés d'une intelligence artificielle embarquée de plus en plus performante, sont testés dans des entrepôts, des usines, des hôpitaux et sur les champs.^[1] Et contrairement aux générations précédentes de robots, ils ne se contentent pas d'exécuter une seule tâche préprogrammée, mais s'adaptent à des environnements dynamiques, apprennent de nouveaux mouvements et suivent même des commandes verbales.

L'actualité se concentre principalement sur les humanoïdes – des robots à l'apparence humaine – dont les exploits récents incluent la course de marathons et l'exécution de saltos arrière. Les robots polyvalents existent sous de nombreuses autres formes, notamment ceux qui se déplacent sur quatre pattes ou sur roues (voir figure 1). Cependant, au moment d'élaborer leurs plans d'automatisation et d'analyser l'évolution du monde du travail, les dirigeants devraient se concentrer non pas sur l'apparence humaine de leurs robots, mais sur leur capacité à s'adapter à différentes tâches dans des environnements conçus pour les humains. Cette question est à la fois urgente et passionnante, car les robots polyvalents, y compris ceux de la sous-catégorie multifonctionnelle, pourraient devenir des membres à part entière des équipes de travail : formés pour emballer, prélever, soulever, inspecter, déplacer des marchandises et collaborer avec les humains en temps réel.^[2]

Pièce justificative 1

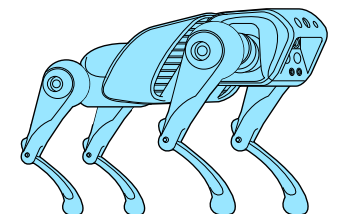
General-purpose robots come in many forms.

Mobility and manipulation capabilities



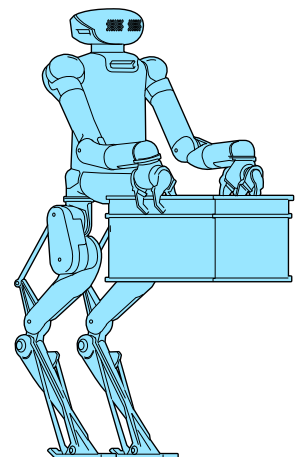
Wheeled robots

Often used in manufacturing and logistics to perform tasks such as assembly and transportation on relatively flat ground



Quadruped robots

Designed to navigate challenging terrains, such as uneven surfaces, stairs, and obstacles, making them suitable for tasks such as inspection and search and rescue



Humanoid robots

Can complete many tasks that were previously the sole domain of humans

McKinsey & Company

Mais à quelle vitesse la révolution robotique se produira-t-elle ? Si l'IA et la robotique embarquées progressent indéniablement, des questions subsistent quant à leur capacité à évoluer suffisamment vite, à moindre coût et de manière suffisamment fiable pour apporter une réelle valeur ajoutée à grande échelle. Le potentiel est immense, mais les progrès dépendront de la convergence de plusieurs avancées technologiques, de facteurs réglementaires et de la préparation des organisations. Plutôt que de parier sur l'optimisme ou le pessimisme, il est plus judicieux pour les dirigeants d'examiner les conditions dans lesquelles la robotique généraliste pourrait créer de la valeur. Cet article, qui analyse les promesses et met en lumière les difficultés, offre une perspective pragmatique aux hauts responsables qui évaluent quand, où et comment la robotique généraliste pourrait être pertinente pour leur entreprise.

Pourquoi tant d'enthousiasme ?

L'engouement croissant pour les robots polyvalents est bien réel. Qu'est-ce qui a changé, et pourquoi maintenant ?

Forte augmentation des investissements et de l'innovation

Le secteur a connu une croissance fulgurante. Les investissements dans la robotique à usage général ont quintuplé entre 2022 et 2024, dépassant le milliard de dollars par an. Des start-ups de pointe comme Figure AI, Skild AI et Agility Robotics ont levé des centaines de millions de dollars. Le nombre de dépôts de brevets a également explosé, avec un taux de croissance annuel composé de 40 % depuis 2022.

Les gouvernements s'y intéressent également. La Chine a fait de l'IA embarquée une priorité nationale, en y consacrant un fonds d'innovation de 138 milliards de dollars.

Le récent rapport de recherche du McKinsey Global Institute, intitulé « *Les prochains grands champs de bataille de la concurrence* », identifie l'IA incarnée et la robotique comme l'une des cinq frontières émergentes qui façonnent la productivité mondiale et l'infrastructure numérique futures.

Les modèles fondamentaux de l'IA comme puissance cérébrale de la robotique

De même que les grands modèles de langage ont permis aux chatbots de dialoguer naturellement, les modèles de base vision-langage-action (VLA) permettent aux robots d'interpréter des signaux visuels, de suivre des instructions vocales et d'exécuter des séquences complexes. Ces modèles de base prennent en charge des fonctions robotiques essentielles, telles que la perception, le raisonnement et la prise de décision. Associés à des capteurs multimodaux – capables de recevoir et de traiter de multiples entrées, comme le toucher et la force – ils créent des systèmes qui apprennent par l'observation des humains, sans programmation manuelle étape par étape.

Avancées matérielles en matière de mobilité et de dextérité

Les robots sont aujourd'hui plus agiles, plus stables et plus précis que jamais. De nombreux modèles peuvent effectuer des tâches

complexes, comme soulever des objets de formes irrégulières. Parallèlement, les progrès réalisés dans le domaine des actionneurs (moteurs ou autres dispositifs convertissant l'énergie stockée en mouvement) et de l'informatique de périphérie ont accéléré la prise de décision et permis d'accroître constamment l'efficacité énergétique.

Compatibilité avec les espaces centrés sur l'humain

Les robots humanoïdes ne sont pas seulement photogéniques : ils sont aussi pratiques. Ils peuvent se déplacer dans des espaces conçus pour les humains, notamment dans des couloirs étroits, en actionnant des poignées de porte, en utilisant des outils et en saisissant des objets sur des étagères. Si tous les cas d'utilisation ne nécessitent pas un robot bipède, la capacité des robots humanoïdes à évoluer dans des environnements humains, sans qu'il soit nécessaire de réaménager l'espace de travail, constitue un véritable atout.

L'accent mis sur la sécurité et la collaboration s'accroît

Les cobots — des robots conçus pour travailler en toute sécurité aux côtés des humains — deviennent plus intelligents et plus sûrs. Les risques ont diminué grâce à une fusion de capteurs améliorée (combinant par exemple la vision, l'ouïe et le toucher), à de meilleurs modèles de perception et à des limites de force programmables qui indiquent aux robots quand exercer une pression moindre. Déjà, des robots comme Digit d'Agility Robotics fonctionnent en toute sécurité

dans des centres logistiques (voir l'encadré « Une multitude de fonctions robotiques »).

Quels sont les défis ?

Malgré les progrès récents, les robots polyvalents ne sont pas encore prêts à l'emploi et leurs performances restent perfectibles dans de nombreux domaines. Lors d'un semi-marathon récent à Pékin, auquel participaient 21 robots humanoïdes, le robot le plus rapide a réalisé un temps de deux heures et quarante minutes, contre un peu moins d'une heure pour le meilleur humain.^[3] En attendant de nouvelles avancées technologiques, les humanoïdes ne détrôneront pas les humains ni ne rivaliseront avec eux dans de nombreuses autres tâches. Malgré l'engouement actuel et les démonstrations virales de robots qui ont suscité des attentes très élevées, l'écosystème robotique doit encore surmonter d'importants obstacles en matière de logiciels, de matériel, d'économie et d'exploitation.

Les modèles de base ont toujours besoin de données massives et spécifiques à la tâche.

Les modèles de base, entraînés sur d'immenses ensembles de données internet, peinent à s'adapter aux environnements physiques réels. Programmer un robot pour manipuler de la tôle ou charger un lave-vaisselle exige des milliards d'exemples d'interactions physiques – issus de vidéos, de laboratoires de simulation ou de situations réelles – et non de simples images annotées. La communauté scientifique s'efforce de créer et d'étendre des environnements de simulation afin d'accroître les données disponibles.

Les limites de puissance et de batterie réduisent le temps de fonctionnement

Les robots humanoïdes effectuant des tâches dynamiques nécessitent des batteries capables de supporter des taux de décharge élevés. Maintenir de telles performances dans le temps est complexe et peut entraîner une surchauffe ou une réduction de la durée de vie des batteries. Actuellement, les humanoïdes les plus performants peuvent généralement fonctionner pendant deux à quatre heures avec des batteries conventionnelles, soit moins d'une journée de travail industrielle complète. Les tâches impliquant le port de charges lourdes et des mouvements nécessitant un couple important déchargent les batteries plus rapidement. De plus, l'infrastructure de recharge est encore peu développée. Pour une adoption industrielle, les robots auront besoin de cycles de fonctionnement plus longs, d'une recharge plus rapide et de meilleures capacités de remplacement des batteries.

La manipulation reste coûteuse et lente.

La main humaine fonctionne grâce aux interactions de dizaines de muscles, d'os, de ligaments, d'articulations, de tendons et de nerfs. Lorsqu'elle fonctionne correctement, la main possède jusqu'à 27 degrés de liberté (le nombre de mouvements possibles) impliquant les doigts, les pouces et les poignets.^[4] Bien que les « mains » robotiques — ou effecteurs terminaux — soient également complexes, elles ne peuvent imiter parfaitement la précision et la délicatesse des mouvements de la main humaine. Par exemple, une main humanoïde de pointe développée par Sanctuary AI ne possède

que 21 degrés de liberté, ce qui limite son amplitude de mouvement par rapport à celle de la main humaine.^[5] Tant que les effecteurs terminaux n'auront pas une meilleure dextérité, vitesse et sensibilité, des tâches comme lacer ses chaussures ou éplucher une banane resteront des défis dignes d'un projet lunaire.

Les capteurs tactiles et les actionneurs souples (ceux dotés d'un élément souple ou élastique capable de se déformer sous la pression) ont connu des avancées prometteuses, mais ces dispositifs ne sont pas encore adaptés à un usage industriel. De plus, de nombreux robots utilisent des actionneurs ou des capteurs tactiles propriétaires, fabriqués en petites séries, souvent en Chine, ce qui représente un risque d'approvisionnement pour les équipementiers occidentaux.

Les problèmes liés à la chaîne d'approvisionnement et les problèmes d'intégration sont fréquents.

Most general-purpose robots are still assembled from bespoke parts, with no widely accepted standards, making it difficult to scale production. Supply chain bottlenecks, especially for high-precision actuators and sensors, continue to delay production, and integration with factory systems remains expensive and inconsistent.

Shortages of planetary roller screws, which are used in robots because they can handle heavier loads and provide smoother motion, are common, as are delays in torque-sensor shipments. Steadily increasing demand could create even greater constraints.

Furthermore, to make the robots function, developers must integrate hardware and software into a complex technology stack, which is

hard to industrialize.

High costs and slow ROI can delay adoption

The development and deployment of humanoid robots is expensive. Manufacturing costs typically range from \$30,000 to \$150,000 per unit, depending on design complexity and materials.^[6] Many common and essential components are among the costliest, including planetary roller screws, which can cost between \$1,350 and \$2,700 each.^[7] These screws, along with reducers, make up about 33 percent of the typical humanoid bill of materials, according to JPMorgan Chase.^[8]

Overall, general-purpose robots can cost anywhere from about \$15,000 to \$250,000 per unit, with payback periods often exceeding two years in early pilots.^[9] Humanoid maintenance costs are also high. Each repair, including shipping and technician labor, may require up to \$1,000, and potential downtime could increase the expense.^[10]

Widespread adoption of general-purpose robots will require lower manufacturing and maintenance costs. Returns must also accelerate, especially outside of high-margin sectors.

Organizational and workforce barriers slow progress

Finally, adoption is not just about technology—it's about people. Companies face workforce resistance, a lack of technical talent for operating and maintaining robots, and no clear playbooks for scaling pilots. Safety, ethics, and regulatory frameworks also remain patchy,

and there are numerous concerns. Humanoid robots, for instance, now weigh less than previously, but they are still large enough to hurt someone if they fall or otherwise malfunction. Boston Dynamics' Atlas, for instance, originally weighed about 330 pounds (150 kilograms) and is now down to about 180 pounds (82 kilograms). Without aligned leadership, clear KPIs, safety guidelines, and accountability, even promising pilots can stall.

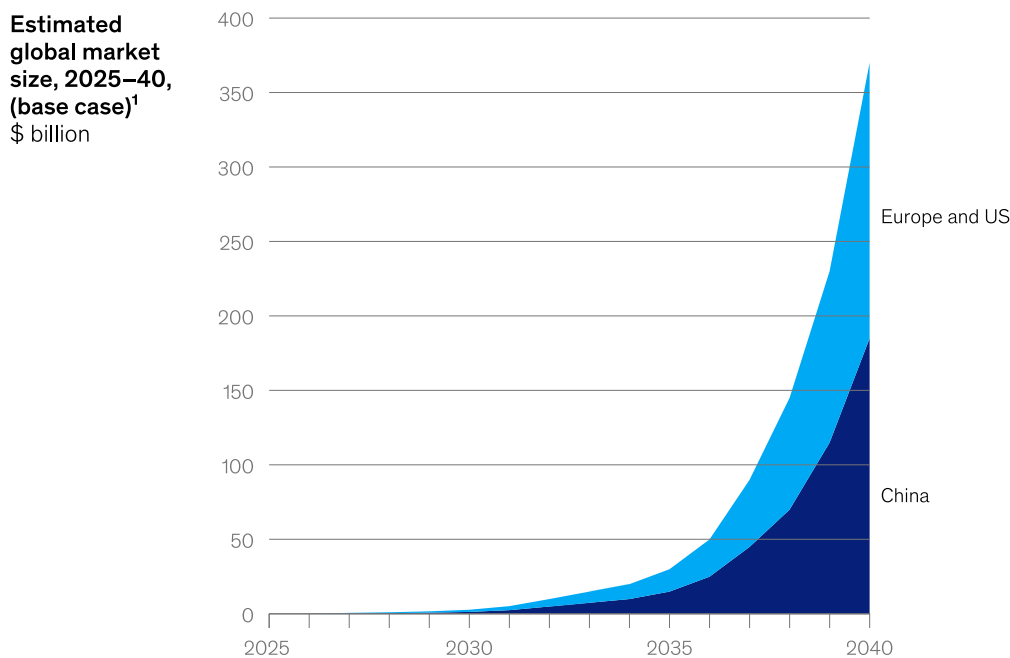
What could the market look like?

Despite these challenges, the market potential for general-purpose robotics is massive. Uncertainties persist, however, about timelines, adoption patterns, and technology readiness.

We analyzed general-purpose robotics adoption across sectors and geographies to estimate potential market size under multiple scenarios. Our base case assumes moderate progress in training data, hardware affordability, and integration capabilities, as well as steady cultural and organizational adoption. If this scenario materializes, the market could reach about \$370 billion by 2040 (Exhibit 2). Around 50 percent of that value could come from China, with the rest split between Europe and North America. The top use cases could include warehouse logistics, light manufacturing, retail operations, agriculture, and healthcare.

Exhibit 2

If progress continues at the current rate, the general-purpose robotics market could reach a value of \$370 billion by 2040, with about half in China.



¹The base case assumes a moderate adoption rate in China, partly encouraged by robotics subsidization, growth of the installed base (new markets and tasks), a standard hardware learning curve for unit cost reduction rates (Europe and US: \$40,000; China: \$30,000), and a capability development cycle of 3 to 4 years.

McKinsey & Company

While the base estimates are encouraging, they depend on progress in many areas. The key assumptions—or, to put it differently, what you have to believe—include the following:

- Foundation models continue to improve and are trained on rich physical-interaction data sets.
- Battery technology and power management improve enough to double autonomous uptime.
- Hand-like manipulation gets significantly cheaper and more robust.
- Component supply chains consolidate and standardize.
- Business leaders embrace long-term ROI and prepare their organizations for new workflows and skill sets.

What executives should do now

The general-purpose robotics industry may be at an inflection point. With humanoids, for instance, global manufacturing capacity is expanding rapidly, and many companies have announced ambitious plans for further production increases. This includes Agility Robotics, which intends to scale from 1,200 units of Digit robots in 2025 to 7,500 by 2027 at a new facility in Oregon. Eventually, Agility Robotics hopes the facility will have an annual capacity of 10,000 units. Similarly, Tianlian Robotics in China is building a production facility that aims to have an annual output of 1,000 to 3,000 humanoid robots upon completion.

Although full scaling for humanoids and other general-purpose robotics may take many years, the most forward-looking companies are already preparing for a future in which robotics transforms both the workplace and daily life. Here's how executives can approach the opportunity:

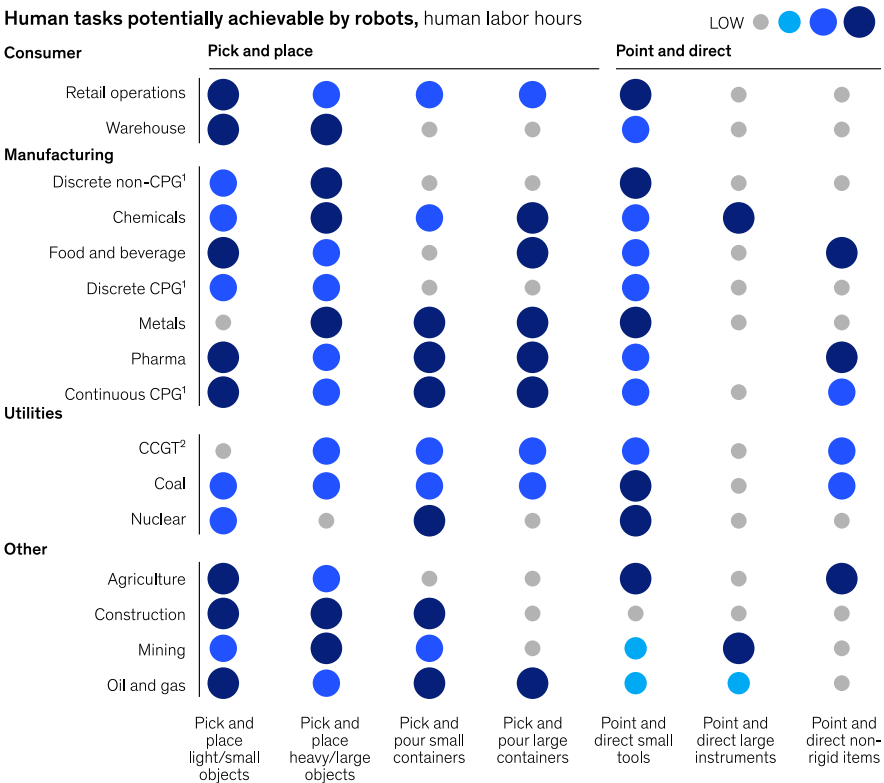
- *Set a long-term automation vision.* General-purpose robotics is not the first wave of automation, but it could be the most transformative. Define a long-term vision for where these technologies could play a role in operations—logistics, quality control, inspections, assembly, material handling—and begin identifying pilot-friendly environments. Many tasks are not far from being automated at scale (Exhibit 3).
- *Invest in data and data infrastructure.* Companies must invest in data for foundation models and data infrastructure to optimize training for general-purpose robots. They must also clearly document what information is used so that researchers can easily replicate their methodology when creating new robot platforms.
- *Watch the right indicators.* Track progress not just in robot demos but in enabling technologies: battery density, foundation model size and latency, and haptics (the ability to sense touch). Greater regulatory clarity could also be an encouraging sign. These

indicators are better barometers of progress than flashy videos that show robots operating in controlled environments.

- *Prepare your people.* Don't wait for robots to arrive before upskilling the workforce. Start building the talent and culture needed to work alongside machines, especially in maintenance, operations, and programming. Consider building internal capabilities in simulation, robotics integration, or AI tool development.
- *Build partnerships and ecosystems.* Stay close to the innovation frontier. This may mean partnering with robotics start-ups, joining standard-setting groups, or investing in modular infrastructure in factories or other workplaces that can easily be shifted to accommodate different robot types.
- *Move quickly to create upstream value.* Investors and component suppliers, such as those in semiconductors, actuators, power systems, and edge computing, should track where demand concentration is forming across robot platforms. Early partnerships and strategic bets on common standards, open platforms, or shared intellectual property could define long-term winners. As with the early days of smartphones or electric vehicles, supplier alignment often determines scaling success.

Exhibit 3

General-purpose robots will likely be able to perform multiple tasks across sectors.



¹Consumer packaged goods.
²Combined-cycle gas turbine.

McKinsey & Company

Robots could soon do the labor-intensive work of picking and placing items, pointing and directing instruments ...

... and transporting objects, as well as other tasks such as operating hand-held tools and manipulating basic devices.

Robots with the general intelligence, dexterity, and autonomy of a C-3PO or WALL-E aren't here yet, but the building blocks are emerging fast. The companies that win won't be those that buy in late but those that prepare early, experiment wisely, and scale responsibly. The age of the electronic coworker is coming—just not overnight.

How relevant and useful is this article for you?

☆☆☆☆☆

1. Lorsque l'IA est intégrée aux robots, on parle souvent d'IA incarnée car elle dirige les actions d'un objet dans le monde physique.
2. Multipurpose robots are programmed to complete a limited set of related tasks within a specific environment, while general-purpose robots can complete diverse, unrelated tasks across different settings.
3. "Humanoid robots for BMW Group plant Spartanburg," BMW Group, November 11, 2024.
4. Jim Lawton, Bert Verheugen, and Seán Egan, "How collaborative robots are changing medical device packaging," Machine Design, August 6, 2018.
5. Tanika Godbole, "Robots lose against humans in half-marathon," Deutsche Welle, April 19, 2025.
6. George ElKoura et al., *Handrix: Animating the human hand*, Eurographics Association, July 26, 2003.
7. "Sanctuary AI shows how reinforcement learning can control hydraulic robotic hands," Robot Report, April 3, 2025.
8. "The Prosumer model stays winning. Goldman Sachs estimates humanoid robot manufacturing cost: \$30k to \$150k per unit. Let's look at the competition," Install Base, May 15, 2024.
9. "The hidden hardware powering the humanoid revolution: Planetary roller screws take center stage," Impact Lab, April 27, 2025.
10. "The hidden hardware powering the humanoid revolution: Planetary roller screws take center stage," Impact Lab, April 27, 2025.
11. Nickie Louise, "Agility Robotics raises \$400M to scale bipedal robot Digit as humanoid race heats up," TechStartups.com, March 31, 2025; Loz Blain, "Boston Dynamics shows off another major leap in humanoid mobility," New Atlas, March 19, 2025.
12. *Robust.AI Blog*, "Humanoid robots: Dollars and GPTs," May 21, 2024.

ABOUT THE AUTHOR(S)

Ahsan Saeed est associé au bureau de McKinsey à Munich ; **Ani Kelkar** est associée au bureau de Boston, où **Sitos Nepal** est consultant ; **Christian Jansen** est associé au bureau de Hambourg ;