

# L'INTÉRÊT DES ROBOTS QUADRUPÈDES, ABOUTISSEMENT DE QUELLES TECHNIQUES ?

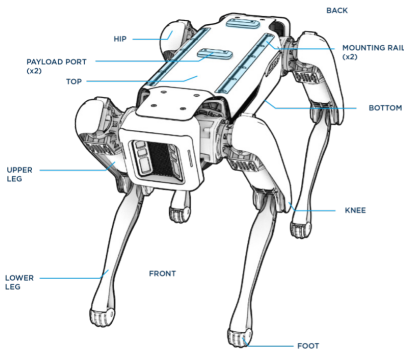
Séance ordinaire du 14 avril 2023  
Communication de M. Pascal Vaxivière

Cet article a été rédigé avec la complicité de GPT-4 (Generative pre-trained transformers), l'intelligence artificielle (IA) développée par la société OpenAI et sortie le 14 mars 2023. **Les caractères employés dans ce texte sont différents selon que celui-ci est rédigé par l'auteur ou par GPT-4** : le texte écrit par l'auteur est en caractères romains et le texte écrit par l'IA est en *caractères italiques*. Même si le style ou le contenu semblent médiocre, ils ont été conservés, afin que le lecteur ait une juste vision de l'état de l'art dans ce domaine. Les illustrations ont été ajoutées : s'il existe des IA capables de travailler sur du texte et des illustrations, ce n'est pas le cas de GPT-4. Tout commence par une question posée dans l'interface de l'application : « Tu es un expert en robots quadrupèdes et plus particuliè-

rement du robot Spot de Boston Dynamics. Tu vas m'aider à rédiger un article sur le sujet. Commence par me donner plusieurs propositions de plan et je choisirai celui qui me plaît. » L'art de poser les questions, de cibler le sujet, d'obliger l'IA à travailler sur le contexte propre à l'interrogation est appelé « prompt » dans le jargon informatique, les réponses seront d'autant plus pertinentes que le dialogue avec l'IA recentrera le sujet et ne se contentera pas d'une réponse basique.

1. *Introduction à Boston Dynamics et aux robots quadrupèdes;*
2. *Genèse de Spot : développement et évolution;*
3. *Zoom sur les capacités de Spot*
  - a. *Locomotion et stabilité*
  - b. *Autonomie et IA*
  - c. *Personnalisation et modularité;*

4. *Spot au service de différents secteurs*
  - a. *Industrie et logistique*
  - b. *Inspection et maintenance*
  - c. *Surveillance et sécurité*
  - d. *Recherche et développement ;*
5. *Défis et controverses entourant l'utilisation de Spot ;*
6. *L'avenir de Spot et des robots quadrupèdes : tendances et innovations ;*
7. *Conclusion.*



## 1. Introduction à Boston Dynamics et aux robots quadrupèdes

Dans l'ère actuelle, marquée par un progrès technologique incessant et soutenu, la robotique et l'intelligence artificielle (IA) se sont érigées en piliers fondamentaux, transformant en profondeur nos interactions quotidiennes et professionnelles. Les robots quadrupèdes, en vertu de leur aptitude à se mouvoir sur des terrains hétérogènes et à accomplir des tâches complexes, ont capté l'attention des chercheurs, des ingénieurs et des diverses industries. Boston Dynamics, entreprise américaine spécialisée en robotique, se positionne à l'avant-garde de cette révolution technologique.

Créée en 1992 par Marc Raibert, un éminent professeur du Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston Dynamics se voue à la conception de robots capables de « courir, sauter, grimper et transporter des charges utiles dans des environnements réels ». Au fil des années, ladite société a élaboré plusieurs robots novateurs, dont les renommés Big-Dog et Atlas. Toutefois, c'est Spot, leur robot quadrupède versatile, qui a bouleversé notre perception des robots et leur intégration dans divers domaines d'application.

Spot est un robot d'une agilité et d'une autonomie remarquables, apte à se mouvoir en toute sécurité dans des environnements ardues et à exécuter des tâches complexes avec une précision et une efficacité inégalées. Equipé d'une technologie de pointe et d'une intelligence artificielle avancée, Spot s'est rapidement imposé comme un instrument précieux dans divers secteurs, tels que l'industrie, la logistique, la recherche et le développement, voire la sécurité.

Dans cet article, nous étudierons l'évolution de Spot depuis sa genèse, en mettant l'accent sur ses capacités singulières et ses applications pratiques. Nous aborderons également les défis et les controverses entourant l'utilisation de ce robot avant-gardiste, ainsi que les tendances et les innovations qui détermineront l'avenir de Spot et des robots quadrupèdes en général.

## 2. Genèse de Spot : développement et évolution

Le développement de Spot trouve ses origines dans les recherches entreprises par Boston Dynamics au cours des an-

*nées précédentes, lesquelles ont donné naissance à des robots tels que BigDog et Atlas. Ces prédécesseurs ont contribué à la mise au point de la technologie nécessaire pour concevoir un robot quadrupède à la fois agile et polyvalent. La genèse de Spot fut un processus itératif, jalonné de nombreuses expérimentations et améliorations successives, visant à optimiser ses performances et à élargir son champ d'application.*

*Au fil des années, Spot a subi diverses modifications, tant sur le plan de la mécanique que de l'électronique et de l'intelligence artificielle. Ces évolutions ont été guidées par les retours d'expérience des utilisateurs, ainsi que par les avancées technologiques réalisées par Boston Dynamics et d'autres acteurs de la robotique. De même, l'entreprise a su tirer parti des enseignements tirés des applications pratiques de Spot dans des contextes variés, en intégrant ces connaissances dans les versions ultérieures du robot.*

*L'une des caractéristiques notables de Spot réside dans sa capacité à être régulièrement mis à jour, grâce à des mises à niveau logicielles et matérielles<sup>1</sup>. Cette approche modulaire a permis d'améliorer continuellement les fonctionnalités et les performances du robot, en réponse aux besoins changeants des industries et aux défis posés par les environnements de travail complexes.*

*Ainsi, l'évolution de Spot s'est déroulée par étapes successives, chacune apportant des améliorations significatives en termes de performance, d'autonomie, de robustesse et de polyvalence. Cette démarche de développement itératif et adaptatif, associée à une collaboration*

*étroite avec les utilisateurs et les experts du secteur, a permis à Spot de s'imposer comme un outil essentiel et performant, apte à relever les défis d'un monde en constante mutation.*

### **3. Zoom sur les capacités de Spot**

#### **a) Locomotion et stabilité**

*La locomotion et la stabilité de Spot constituent des aspects cruciaux de sa conception, permettant au robot quadrupède de se mouvoir avec aisance et dextérité dans des environnements variés et complexes. La structure mécanique de Spot s'inspire de la biomécanique animale, en particulier celle des quadrupèdes, pour reproduire des mouvements naturels et efficaces sur divers types de terrains.*

*Les jambes articulées de Spot, équipées de moteurs électriques et d'engrenages spécifiques, lui confèrent une mobilité remarquable. Elles sont conçues pour s'adapter en temps réel aux aspérités du sol, permettant ainsi au robot de maintenir un équilibre optimal et de se déplacer sur des surfaces inclinées, irrégulières ou même glissantes. De plus, Spot est capable de franchir des obstacles, tels que des marches ou des débris, et de se redresser en cas de chute.*

Ce point technique mérite plus qu'un paragraphe, car c'est une des grandes avancées qui ont permis l'émergence de ce type de robot. Dans les précédentes générations, comme le robot humanoïde français Nao, les moteurs actionneurs sont au niveau de chaque articulation, cette géométrie est très efficace (voir figure 1 page suivante), mais le poids du moteur de la seconde arti-

1. Les mises à niveau matérielles n'existent pas.



Figure 1



Figure 2

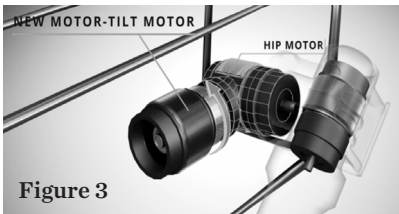


Figure 3

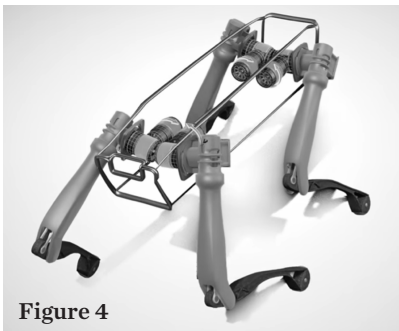


Figure 4

culation va jouer sur l'inertie, c'est-à-dire la rapidité de mouvement, et sur la consommation, puisque chaque mouvement de l'articulation haute va demander de lever un poids au bout d'un bras de levier.

Pour palier cet inconvénient, les ingénieurs de Boston Dynamics ont remonté tous les actionneurs au niveau de l'articulation haute et agissent sur une ossature très légère en fibre de carbone. Il faut alors trouver un actionneur qui puisse agir à distance sur l'articulation. Sur la *figure 2*, on voit le moteur linéaire qui permet d'agir sur un bras de levier, et actionner ainsi la « patte » en étant implanté à distance de l'articulation.

Les concepteurs ont rajouté un dernier moteur qui autorise la rotation de l'« épaule » et permet ainsi au robot de retrouver sa position de travail lorsqu'il chute sur le dos (*voir figure 3*). Cette articulation supplémentaire (*tilt*) est une innovation importante qui donne un degré de liberté supplémentaire à chaque « jambe » de Spot et permet ainsi un décalage des appuis en cas de sol accidenté.

Sur la *figure 4*, on peut voir que les pattes du robot quadrupède peuvent ainsi se trouver sur des plans différents et non alignées deux à deux.

La technique des moteurs est aussi très importante. On sait le progrès des moteurs à aimants permanents depuis la découverte des aimants fer-bore-néodyme, mais les constructeurs restent particulièrement discrets sur les techniques employées. Dans le cas de Spot, ce sont des moteurs pas à pas couplés à des réducteurs planétaires. La bataille technique et des brevets au-

tour de réducteurs légers et robustes est constante. Il faut choisir entre les réducteurs planétaires, à onde de déformation, cycloïdes, harmoniques : chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients, aucune de ces techniques n'est parfaite et il faudra plus de maturité dans ce domaine pour qu'une technique définitive émerge.

Il faut aussi dire qu'une grande partie de l'agilité de ces actionneurs est due à l'évolution des cartes de contrôle et d'asservissement en position des moteurs grâce au progrès dans la technique des transistors de commutation au nitrure de gallium, qui permettent dans le cas des robots de diminuer les pertes de commutation avec les effets en cascade sur les pertes de puissance globales. Cette meilleure commutation permet de diminuer la taille des dissipateurs thermiques, donc le poids, l'encombrement et le coût de la solution. C'est aussi un domaine crucial qui ne sera pas abordé ici.

*La stabilité de Spot repose également sur des capteurs et des algorithmes de contrôle avancés, qui lui permettent de percevoir et d'analyser son environnement en temps réel. Ces systèmes de perception fournissent des informations cruciales sur la position, l'orientation et la vitesse du robot, ainsi que sur les forces et les contraintes exercées sur ses membres. Les algorithmes de contrôle utilisent ces données pour ajuster les mouvements et les forces de Spot, en vue de maintenir son équilibre et d'optimiser sa locomotion. Enfin, Spot est équipé de diverses caméras pour percevoir son environnement et adapter sa locomotion en conséquence. Grâce à cette combinai-*

*son de conception biomécanique, d'ingénierie précise et de systèmes de contrôle avancés, Spot est capable de se déplacer avec aisance et stabilité sur divers types de terrains et de franchir des obstacles tels que des escaliers.*

Quelques mots aussi sur le problème de la communication entre les processeurs, les caméras, les capteurs et les actionneurs. Il n'est pas pensable d'avoir un câblage pour chacun de ces composants aussi tous sont reliés sur un bus CAN (*controller area network*), c'est un protocole de communication série utilisé principalement dans les réseaux de communication de l'industrie automobile. Il a été développé par Bosch au début des années 1980 pour répondre aux besoins de communication dans les véhicules modernes.

Ce système de communication robuste et fiable permet aux différents systèmes d'un véhicule, tels que les moteurs, les freins et les systèmes de climatisation, de communiquer entre eux de manière efficace et rapide. Il est conçu pour transmettre des données en temps réel avec une faible latence et une haute fiabilité, ce qui en fait un choix idéal pour les applications critiques de sécurité. Tous les périphériques sont connectés à une ligne de communication partagée. Chaque périphérique dispose d'une adresse unique sur le bus, ce qui lui permet de communiquer avec les autres périphériques en utilisant un ensemble de règles prédéfinies. C'est maintenant une norme *de facto* pour les communications de données largement utilisée dans l'industrie aérospatiale, la robotique et les systèmes de contrôle industriels.

*En somme, la locomotion et la stabilité de Spot résultent d'une combinaison harmonieuse entre une conception mécanique inspirée de la nature, des capteurs et des algorithmes de contrôle sophistiqués. Cette approche intégrée confère au robot une mobilité et une résilience remarquables, lui permettant de relever avec brio les défis posés par des environnements exigeants et changeants.*

### ***b) Autonomie et intelligence artificielle***

L'intelligence artificielle de Spot repose sur des algorithmes d'apprentissage automatique qui lui permettent de reconnaître et d'imiter les mouvements des animaux réels, comme les chiens. En enregistrant les angles formés par les membres d'un chien en mouvement, Spot peut reproduire ces mouvements pour se déplacer de manière fluide et naturelle<sup>2</sup>. Cette approche biomimétique lui confère une grande adaptabilité et un degré de stabilité élevé.

L'autonomie du robot Spot est rendue possible grâce à son système avancé d'intelligence artificielle qui lui permet de comprendre et de naviguer dans son environnement. Les images fournies illustrent comment Spot construit une carte tridimensionnelle de son environnement à l'aide de ses caméras et capteurs, représentant les objets et les surfaces sous forme de nuage de points colorés et de vues en coupe, mettant en évidence les différentes hauteurs des obstacles. Cette représentation détail-

lée est cruciale pour permettre à Spot de percevoir la forme, la taille et la position des obstacles. Ainsi, le robot peut adapter sa locomotion, planifier son parcours en toute sécurité et ajuster son comportement pour franchir les obstacles tels que les pentes, les marches et autres variations de niveau.

*La figure 5, en noir et blanc, est la pire illustration que l'on puisse fournir, les couleurs ayant disparu et le lecteur doit excuser cette piètre qualité, mais il est important de comprendre la cartographie d'un trajet pour le robot. En partant du haut de l'image, on voit la représentation d'un couloir qui mène à une volée d'escalier, les nuages de points ont été mémorisés par le robot lors de sa phase d'apprentissage, on devine plus qu'on ne voit des étiquettes reliées par des lignes, ce sont les trajectoires qui devront être suivies par le robot avec pour chaque étiquette (les données textuelles que l'on devine) un repère local qui permet au robot de s'orienter pour parcourir le segment suivant. Cette carte permet au robot la réalisation d'une mission en autonomie après apprentissage*

La figure 6 est la photo de l'escalier cartographié dans l'image précédente et l'on voit le robot en cours de déplacement lors d'une mission autonome.

*Le système d'intelligence artificielle de Spot repose sur des algorithmes d'apprentissage automatique qui lui permettent d'analyser et de traiter les informations recueillies par ses capteurs. Grâce à ces données, Spot est capable de prendre des décisions en temps réel pour se déplacer et interagir avec son environnement de manière autonome. De plus, le robot peut*

2. Information douteuse : Spot n'observe pas les chiens !

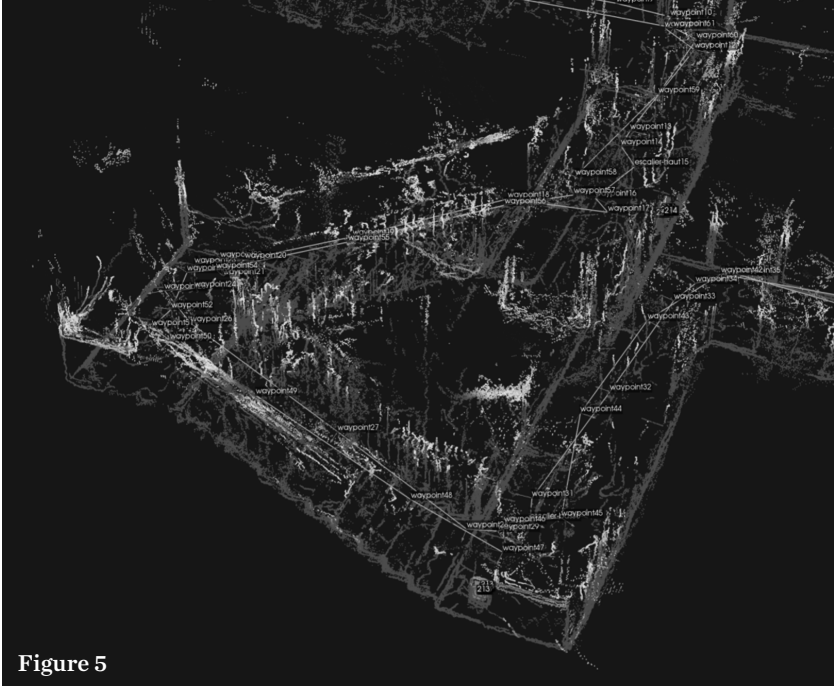


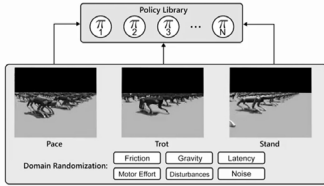
Figure 5



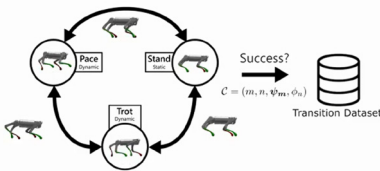
Figure 6

Ute (6)

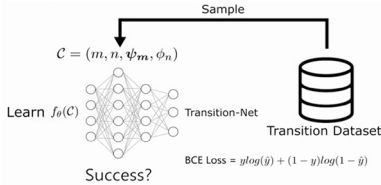
**Figure 7 : learning independant robust policies**



**Figure 8 : collecting transitions**



**Figure 9 : learning to transition with transition-net**



*apprendre de ses expériences et améliorer ses performances au fil du temps, en optimisant ses mouvements et ses actions pour accomplir diverses tâches avec plus d'efficacité.*

Cette notion d'apprentissage mérite aussi un développement. Voici un exemple d'entraînement d'une IA qui est utilisée pour le mouvement d'un robot. Ce n'est qu'une possibilité, là aussi, nous sommes dans un monde industriel, chacun garde jalousement la recette qui lui permet d'être le plus compétitif.

Dans un premier temps, on crée des scénarios pour les différentes allures (pas, trot, immobile) qui permettent de générer les actions à effectuer en tenant compte des paramètres physiques du robot modélisés : frottements, temps de réponse, effet de la gravité, limite physique des moteurs et en ajoutant de la perturbation et des bruits (voir figure 7).

Il faut ensuite faire des calculs de transition d'une allure à l'autre en éliminant les transitions qui échouent en provoquant la chute du robot. On obtient alors une bibliothèque qui, en fonction de paramètres physiques, donne les configurations valides de transition (voir figure 8). Cette collection de données va permettre d'entraîner une IA basée sur un réseau de neurones qui sera capable en temps réel d'activer le meilleur scénario en fonction des paramètres de transition (voir figure 9).

L'ordinateur embarqué du robot active un scénario en fonction de la demande de déplacement. Celui-ci génère un certain nombre de données physiques fournies par les capteurs : vitesse, accélération, position des actionneurs, température des moteurs et, bien évidemment, objectif à atteindre : est-on en phase d'accélération ou de freinage pour atteindre l'objectif? Ces données sont transmises à l'IA, qui propose le scénario suivant ayant le meilleur score (voir figure 10).

Bien évidemment les résultats des actions sont enregistrés en temps réel et si le passage d'un scénario à l'autre ne donne pas le résultat attendu, le modèle sera à nouveau entraîné afin de corriger le dysfonctionnement.

À cette simple description, il faut ajouter le problème de la sécurité : un trajet a été mémorisé, mais des obsta-

cles peuvent surgir. Spot est muni d'un ensemble de caméras frontales et latérales qui permettent d'analyser dynamiquement le contexte. Une seconde IA intervient qui analyse la scène pour gérer le trajet et activer des algorithmes d'évitements ou arrêter le déplacement le cas échéant.

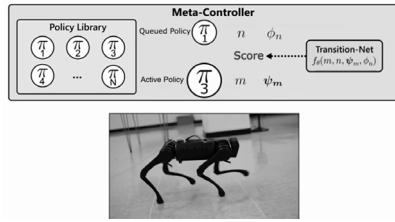
*En résumé, l'autonomie et l'intelligence artificielle du robot Spot sont étroitement liées à sa capacité à percevoir et à comprendre son environnement grâce à des représentations tridimensionnelles détaillées. Ces informations, combinées à des algorithmes d'apprentissage automatique avancés, permettent au robot de naviguer et d'accomplir des tâches complexes de manière autonome et efficace.*

**c) Personnalisation et modularité**

*Le développement de la personnalisation et de la modularité du robot Spot est un sujet important dans l'industrie de la robotique. En effet, les besoins et les applications des clients sont variés et spécifiques, nécessitant des configurations personnalisées pour répondre à leurs besoins. Les ingénieurs de Boston Dynamics ont pris en compte cette problématique et ont conçu le robot Spot avec une architecture modulaire, permettant aux clients de personnaliser les fonctionnalités du robot en fonction de leurs besoins.*

*Le robot Spot peut être équipé de différents modules pour ajouter de nouvelles fonctionnalités telles que des caméras, des capteurs de température, des capteurs de gaz ou encore des bras manipulateurs. Les modules sont interchangeables, ce qui signifie que les clients peuvent facilement remplacer un module défectueux*

**Figure 10**



*ou obsolète par un nouveau module pour maintenir le robot à jour.*

*En outre, l'architecture du robot Spot est conçue pour être facilement personnalisable grâce à l'utilisation de langages de programmation standard. Les clients peuvent programmer des fonctionnalités spécifiques pour leur application en utilisant des outils de programmation tels que ROS ou Python.*

*Enfin, le robot Spot est équipé d'une interface utilisateur conviviale qui permet aux utilisateurs de personnaliser les comportements du robot en fonction de leurs besoins. L'interface utilisateur fournit des outils de configuration avancés pour ajuster les paramètres du robot tels que la vitesse de déplacement, la sensibilité des capteurs ou encore les comportements d'interaction avec l'environnement.*

*L'intérêt de cette plateforme est double. Elle débarrasse l'utilisateur de tous les problèmes bas niveau : la stabilité, la marche, la gestion des caméras sont assurées par les IA embarquées fournies par Boston Dynamics, que l'on peut appeler le « cerveau reptilien ». Le second point réside dans la possibilité d'installer des accessoires (payloads) jusqu'à 14 kg qui peuvent communiquer avec le robot grâce à une bibliothèque d'API (application programming inter-*

face); ce sont les capteurs spécifiques à la tâche à effectuer, ainsi que les moyens de transmission et l'informatique embarquée. On peut ainsi modifier la mission en fonction d'événement haut niveau, transmettre des données et des images vers une base éloignée.

*En somme, la personnalisation et la modularité du robot Spot sont des caractéristiques importantes qui permettent aux clients de répondre à leurs besoins spécifiques et de maintenir le robot à jour en remplaçant facilement les modules défectueux ou obsolètes. En outre, l'architecture modulaire et les outils de programmation standard permettent aux clients de programmer des fonctionnalités spécifiques pour leur application en utilisant des langages de programmation familiers. L'interface utilisateur conviviale est également un atout important, offrant une flexibilité accrue pour ajuster les comportements du robot en fonction des besoins spécifiques des utilisateurs.*

### **3. Spot au service de différents secteurs**

*Le robot Spot de Boston Dynamics a la capacité de s'adapter à une multitude de tâches dans différents secteurs. Dans cet article, nous allons explorer les différentes industries où le robot Spot peut être utile et comment il peut améliorer l'efficacité et la sécurité dans ces secteurs.*

#### **a) Industrie et logistique**

*Dans le secteur industriel, le robot Spot peut être utilisé pour automatiser des tâches répétitives et dangereuses*

*pour les travailleurs. Le robot peut transporter des charges lourdes, effectuer des inspections de sécurité, et même aider à l'assemblage de produits. Le robot Spot est également capable de se déplacer facilement sur des terrains accidentés et peut aider à transporter des matériaux sur un chantier de construction. Dans le domaine de la logistique, le robot Spot peut être utilisé pour aider à la distribution de produits dans des entrepôts ou des centres de distribution.*

#### **b) Inspection et maintenance**

*Dans le secteur de l'inspection et de la maintenance, le robot Spot peut être utilisé pour inspecter des structures telles que des ponts ou des bâtiments en hauteur, où il peut être dangereux pour les travailleurs de se rendre. Le robot peut également inspecter des pipelines ou des canalisations dans des environnements difficiles d'accès, ce qui peut réduire les coûts et les risques associés à ces inspections.*

C'est un partenariat avec l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) qui a décidé l'École des mines de Nancy à investir dans l'achat d'un robot Spot. La première mission du robot a été d'effectuer une campagne d'essais dans le site souterrain de Bure (Meuse et Haute-Marne), avec la participation de la société Fugro, une entreprise spécialisée dans les géotechniques, afin de tester le robot en autonomie avec l'intégration d'un scanner 3D de précision.

Le site est un environnement aux contraintes multiples. Des galeries sont percées journalièrement, faisant évoluer

le site de façon permanente, aussi bien l'espace que l'encombrement au sol. Il est très important de vérifier l'évolution des galeries au millimètre près, afin de confirmer la stabilité géologique du site. Les rondes doivent se dérouler lors de l'arrêt des travaux afin d'échapper aux vibrations des foreuses.

Sur la *figure 11*, on voit le robot équipé du Lidar (*light detection and ranging*) de précision, ainsi que de matériel de transmission permettant l'envoi de commandes en cours de mission. Le robot parcourt les galeries en s'arrêtant régulièrement pour permettre un relevé de données, sa stabilité est suffisante pour ne pas perturber celui-ci.

La *figure 12* n'est pas une photo classique, mais le résultat de la saisie de mesures : chaque point est une capture laser donnant au millimètre près la distance de l'obstacle à la centrale de mesure. Des balises sur les parois du tunnel donnent des repères absolus. C'est



Figure 11

le travail des spécialistes de Fugro d'analyser ces données pour en déduire les mouvements du terrain.

### c) Surveillance et sécurité

*Le robot Spot peut être utilisé dans le domaine de la surveillance et de la sécurité pour patrouiller dans des zones dangereuses ou à haut risque pour les tra-*



Figure 12

vailleurs. Le robot peut également aider à la surveillance de bâtiments, de périmètres de sécurité et d'installations industrielles. En outre, le robot Spot peut être équipé de caméras, de capteurs thermiques et d'autres dispositifs de détection pour aider à la surveillance.

Nous avons pu mener aussi une expérimentation de surveillance robotique pour la base aérienne 133 de Nancy-Ochey (voir figure 13). Sur un terrain de 400 ha, un escadron composé de 100 militaires (hommes et femmes) et d'une trentaine de chiens monte la garde. Elle pourrait être complétée à l'avenir par Spot. Le projet n'a pas vocation à remplacer l'escadron mais bien d'intervenir en complément de ces derniers, pour la surveillance du site. Les équipes mobilisées aujourd'hui pour la surveillance de la base pourraient ainsi être libérées des tâches répétitives de parcours systématiques.

#### **d) Recherche et développement**

*Dans le domaine de la recherche et du développement, le robot Spot peut être utilisé pour aider à la recherche en intelligence artificielle, en robotique et en apprentissage automatique. Les chercheurs peuvent utiliser le robot Spot pour collecter des données en temps réel et effectuer des tests dans des environnements contrôlés. Le robot Spot peut également être utilisé pour tester de nouvelles technologies de capteurs ou pour développer de nouveaux modèles de comportement robotique.*

*En somme, le robot Spot de Boston Dynamics est un outil polyvalent qui*

*peut être utilisé dans une variété de secteurs pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la productivité des travailleurs. Les possibilités d'utilisation du robot Spot sont vastes et ne cessent de se développer avec le temps.*

#### **4. Défis et controverses entourant l'utilisation de Spot**

*L'utilisation de robots tels que le robot Spot soulève un certain nombre de défis et de controverses. Le premier défi concerne la question de la protection de la vie privée. Les robots sont souvent équipés de capteurs tels que des caméras et des microphones, qui peuvent collecter des données personnelles sensibles. Les fabricants de robots doivent être vigilants pour protéger ces données et garantir que les utilisateurs respectent les lois et réglementations relatives à la protection de la vie privée.*

*Un autre défi concerne l'impact des robots sur le marché du travail. Les robots peuvent remplacer les travailleurs dans certaines tâches répétitives ou dangereuses, ce qui peut avoir un impact sur l'emploi dans certains secteurs. Les fabricants de robots doivent être conscients de cet impact potentiel et travailler en étroite collaboration avec les travailleurs et les syndicats pour s'assurer que les robots ne causent pas de préjudice aux travailleurs.*

*En outre, l'utilisation de robots dans des situations où les décisions doivent être prises de manière autonome soulève des questions sur la responsabilité en cas d'erreur ou de dommage. Les fabricants de robots doivent travailler avec les autorités compétentes pour élaborer des protocoles et des réglementations qui garantissent que les robots sont utilisés de manière responsable et sûre.*



Figure 13 : expérimentation de surveillance robotique. Arnaud Salvini

*Enfin, il y a une certaine controverse autour de l'utilisation des robots dans les applications militaires. Les robots tels que le robot Spot peuvent être utilisés dans des situations de combat pour effectuer des tâches dangereuses telles que la reconnaissance ou le déminage. Cependant, cela soulève des questions éthiques sur l'utilisation des robots dans les conflits armés. Les fabricants de robots doivent être conscients de ces questions et travailler avec les autorités compétentes pour garantir que les robots sont utilisés de manière éthique et responsable.*

*En somme, l'utilisation de robots tels que le robot Spot présente des avantages évidents dans de nombreux domaines. Cependant, les fabricants de robots doivent être conscients des défis et des controverses associées à leur utilisation et travailler en étroite collaboration avec les*

*autorités compétentes pour garantir que les robots sont utilisés de manière responsable et éthique.*

##### **5. L'avenir de Spot et des robots quadrupèdes : tendances et innovations**

*Les robots quadrupèdes tels que Spot ont révolutionné l'industrie de la robotique. Cependant, leur potentiel reste largement inexploité. Les tendances actuelles en matière de robotique quadrupède se concentrent sur l'augmentation de la durée de vie des batteries, la réduction des coûts de production, l'amélioration de l'intelligence artificielle et l'intégration d'une gamme plus large de capteurs.*

*L'une des tendances les plus marquantes en matière de robotique quadrupède est l'utilisation de l'intelligence artificielle pour améliorer la capacité*

*de reconnaissance d'images et la perception de l'environnement. Les robots quadrupèdes pourraient être programmés pour effectuer des tâches complexes dans des environnements dangereux, tels que la collecte d'informations sur les incendies de forêt ou les zones de catastrophe naturelle.*

*La recherche actuelle en matière de robotique quadrupède se concentre également sur l'intégration de capteurs supplémentaires tels que des capteurs de pression, des caméras 3D, des capteurs de gaz, des capteurs de température et des microphones. Cela permettrait aux robots quadrupèdes de collecter des données plus précises sur leur environnement et de mieux interagir avec leur environnement.*

*Les innovations futures en matière de robotique quadrupède pourraient également inclure l'introduction de matériaux plus légers et plus résistants, ainsi que de nouvelles méthodes de contrôle des mouvements. Ces avancées pourraient potentiellement améliorer l'efficacité et la durabilité des robots quadrupèdes.*

*Le futur des robots quadrupèdes, comme Spot, est plein de promesses. Les tendances actuelles de l'industrie de la robotique quadrupède visent à améliorer la durée de vie des batteries, à réduire les coûts de production, à augmenter l'intelligence artificielle et à intégrer une gamme plus large de capteurs. L'avenir de la robotique quadrupède est passionnant et pourrait potentiellement changer radicalement notre façon de travailler et de vivre.*

*En conclusion, le robot quadrupède Spot de Boston Dynamics est un chef-d'œuvre d'ingénierie, offrant une variété*

*d'applications et de fonctionnalités pour différents secteurs. Avec sa locomotion et sa stabilité remarquables, sa personnalisation et modularité, son autonomie et son intelligence artificielle avancées, Spot est prêt à affronter les défis du monde réel. Cependant, son utilisation soulève des préoccupations quant à la sécurité et à la protection de la vie privée, ainsi qu'à l'impact potentiel sur le marché du travail. En outre, les développements futurs dans le domaine des robots quadrupèdes promettent de nouvelles avancées passionnantes dans des domaines tels que la robotique de service et la reconnaissance des environnements. Dans l'ensemble, Spot est un exemple fascinant de l'innovation robotique, et il est clair que son impact sur la technologie et la société sera important dans les années à venir.*

#### **Que conclure sur GPT-4 ?**

Il est nécessaire de lire cet article avec un œil critique : si le texte généré est aisé à lire, il apporte peu d'informations précises et reste très répétitif ; les trois paragraphes de l'introduction répètent le même message et le premier est même erroné, il n'y a pas d'IA dans les « couches » basses du logiciel. Ce texte donne l'impression de vouloir confirmer tout ce que le public attend d'une analyse d'une innovation technique, y compris les mises en garde pleine de « bon sens ». Même très convenablement rédigé, ce n'est qu'une compilation des nombreux textes écrits sur un sujet qui a été très commenté dans la presse scientifique ou autre. Et étant bien nourrie, l'IA a bien travaillé.

On ne le dira jamais assez, ce type de logiciel a une compréhension de la struc-

ture du langage et génère une réponse basée sur des motifs reconnus : il ne comprend pas le texte, il reconnaît un modèle et l'utilise pour prédire le texte suivant. C'est un problème important dans la version de mars 2023 : si dans un « prompt » on demande la biographie d'un inconnu pour le logiciel, par exemple d'un ministre français, la biographie est totalement fantaisiste. Ce biais, qui a beaucoup amusé la presse française, a depuis été corrigé par ses créateurs.

Il est certain que ces outils vont modifier le monde du travail : CoPilot,

l'IA professionnelle d'OpenAI, intégré maintenant aux éditeurs de code, permet aux informaticiens de générer rapidement les lignes de code souvent répétitives, augmentant ainsi la productivité. Il en sera de même pour de nombreuses professions. Pensons aux actes des notaires, aux rapports techniques ou à l'aspect éducatif : il sera nécessaire de sensibiliser, d'acculturer et de former les élèves et les enseignants à un usage raisonné des outils d'apprentissage automatique. Il est certain que nous aurons à revenir sur ce sujet. ❁

Images : Boston Dynamics,  
Pascal Vaxivière/Mines Nancy,  
ICRA 2023/Inventec AI  
Arnaud Salvini