

# Les systèmes de gestion des stocks intelligents

L'apport des technologies IoT et de l'intelligence artificielle

---

*Rapport académique – Recherche bibliographique*

## Auteurs

Sami BENNANE  
Fares OSMAN  
Zana COULIBALY

## Année universitaire

2025 / 2026

## 1 Introduction

Dans un contexte économique toujours plus concurrentiel, la maîtrise de la **gestion des stocks** est un facteur déterminant de performance pour les entreprises industrielles et commerciales. Une gestion efficace des inventaires permet de réduire les coûts (liés au surstockage ou aux ruptures) et d'améliorer le taux de service client. Historiquement, la gestion des stocks s'est appuyée sur des systèmes de gestion d'entrepôt informatisés (WMS) et des méthodes prévisionnelles classiques. Cependant, face à l'augmentation de la complexité des chaînes logistiques et à l'accélération des flux, les *méthodes traditionnelles* montrent leurs limites en termes de réactivité et de précision<sup>2</sup>.

Depuis quelques années, deux grandes familles de technologies révolutionnent ce domaine : l'**Internet des objets (IoT)** et l'**intelligence artificielle (IA)**. L'IoT, souvent considéré comme l'un des piliers de l'industrie 4.0, désigne l'ensemble des capteurs, dispositifs et infrastructures permettant de connecter des objets physiques à Internet afin de recueillir et d'échanger des données en temps réel. Appliquée à un entrepôt ou à un magasin, l'IoT permet par exemple de suivre en continu l'emplacement et la quantité des produits stockés, ou de surveiller les conditions environnementales (température, humidité) pour garantir la qualité des marchandises<sup>3</sup>. De son côté, l'IA regroupe des algorithmes et techniques (apprentissage automatique, systèmes experts, etc.) capables d'analyser de grandes quantités de données et d'en extraire des prédictions ou des décisions optimisées. En gestion des stocks, l'IA peut servir à prévoir la demande, à ajuster automatiquement les seuils de réapprovisionnement ou à optimiser l'agencement des entrepôts et les itinéraires de préparation de commandes.

On parle de plus en plus de **systèmes de gestion des stocks « intelligents »** pour désigner la convergence de ces deux approches technologiques. Ces systèmes intelligents reposent sur une infrastructure IoT qui alimente en données un moteur d'IA, formant ainsi un cercle vertueux où les capteurs fournissent une visibilité fine et instantanée, et où l'IA traite ces informations pour améliorer continuellement les processus. Par exemple, la connexion d'objets en entrepôt fournit des données de stock en temps réel, tandis que des algorithmes prédictifs analysent ces données conjointement à l'historique des ventes pour anticiper les besoins de réapprovisionnement<sup>4</sup>.

L'objectif de ce rapport est d'analyser en profondeur l'apport de l'IoT et de l'IA dans les systèmes de gestion des stocks contemporains. Nous examinerons dans un premier temps les contributions spécifiques de l'IoT : comment les capteurs et objets connectés permettent d'automatiser et de fiabiliser le suivi des inventaires. Dans un second temps, nous aborderons les applications de l'IA en gestion des stocks : prévision de la demande, optimisation des approvisionnements, robotisation intelligente, etc. Nous mettrons ensuite en évidence la synergie IoT-IA au sein de solutions intégrées, en nous appuyant sur des exemples concrets issus de la littérature et de l'industrie (cas d'entrepôts automatisés, études de cas d'entreprises pionnières). Enfin, nous discuterons des **défis** liés à l'adoption de ces technologies (investissements, sécurité des données, compétences requises) et des **perspectives** qu'elles ouvrent en termes de chaîne d'approvisionnement du futur.

## 2 L'apport de l'Internet des Objets (IoT) dans la gestion des stocks

### 2.1 Suivi en temps réel et traçabilité des stocks

L'Internet des Objets permet d'équiper l'entrepôt ou le point de vente d'un **réseau de capteurs et d'identifiants** qui communiquent en temps réel les informations de stock. Une des technologies IoT les plus répandues en gestion des stocks est la **RFID** (*Radio Frequency Identification*). En apposant des étiquettes RFID sur chaque article ou palette, et en déployant des lecteurs dans les zones de stockage, il devient possible d'identifier automatiquement les mouvements de produits sans intervention humaine. Contrairement au code-barres qui nécessite un scannage manuel, la RFID permet une lecture à distance, simultanée et sans ligne de vue de multiples étiquettes, ce qui accélère grandement les opérations d'inventaire et de suivi. Par exemple, Tejesh et Neeraja (2018) ont développé un système d'inventaire s'appuyant sur l'architecture IoT où un micro-ordinateur central (Raspberry Pi) agrège les données transmises par des lecteurs RFID disséminés dans l'entrepôt<sup>7</sup>. Ce système peut localiser un produit instantanément et tenir à jour une base de données des stocks en temps réel, offrant une visibilité complète sur l'emplacement des articles et leurs quantités disponibles. Les résultats montrent qu'une telle solution connectée fonctionne de manière dynamique et à moindre coût comparativement aux systèmes traditionnels.

Outre la RFID, de nombreux autres capteurs IoT contribuent à la **traçabilité des stocks** et des actifs logistiques. Des capteurs de position (par exemple utilisant la géolocalisation indoor ou l'ultra-wideband) fixés sur les chariots ou conteneurs peuvent suivre les déplacements des marchandises dans l'entrepôt ou durant le transport. Des solutions de vision par caméra intelligente (souvent couplées à de l'IA de reconnaissance d'images) sont également employées pour compter automatiquement les articles sur les étagères ou détecter les ruptures de linéaire en magasin. L'ensemble de ces dispositifs génère un flux continu de données qui alimentent le système d'information logistique. Ainsi, l'IoT apporte une **visibilité en temps réel** sans précédent sur l'état du stock et les activités d'entreposage<sup>4</sup>. Grâce à cette visibilité, les gestionnaires peuvent prendre des décisions plus rapides et précises, par exemple prioriser le réapprovisionnement d'un produit qui atteint un seuil critique ou identifier immédiatement une erreur de stockage.

### 2.2 Supervision des conditions de stockage et maintenance préventive

Au-delà du comptage des articles, l'IoT joue un rôle crucial dans le **contrôle des conditions environnementales** et la sécurité des entrepôts. Des capteurs IoT de température, d'humidité, de luminosité ou de vibrations peuvent être déployés pour surveiller en continu les conditions de stockage, en particulier pour les produits sensibles (produits alimentaires, pharmaceutiques, œuvres d'art, etc.). Une fluctuation de température ou un taux d'humidité trop élevé peut altérer la qualité des produits : l'IoT permet de détecter ces anomalies en temps réel et d'alerter les gestionnaires avant que les marchandises ne soient endommagées. Par exemple, dans une réserve alimentaire, des capteurs de température connectés peuvent déclencher automatiquement une alarme ou ajuster le thermostat si la chaîne du froid risque d'être rompue.

De même, l'IoT contribue à la **sécurité et à la prévention des pertes** en entrepôt. Des détecteurs de mouvement, des caméras intelligentes ou des capteurs d'ouverture de porte

connectés peuvent signaler toute intrusion ou activité anormale en dehors des horaires prévus. Une étude de Chihana (2018)<sup>5</sup> a proposé un modèle IoT pour sécuriser les silos de stockage de grains en Afrique, combinant des capteurs infrarouges passifs (PIR) pour détecter les intrusions et des modules de communication GSM/GPRS pour alerter à distance les responsables. Couplé à des étiquettes RFID pour le suivi des sacs de grain, ce système visait à réduire drastiquement les vols et pertes en entrepôt en garantissant une surveillance continue sans nécessiter de présence humaine permanente.

Par ailleurs, l'IoT ouvre la voie à la **maintenance préventive** des infrastructures de stockage. En équipant les équipements (convoyeurs, chariots élévateurs, robots de stockage) de capteurs surveillant l'état des machines (température moteur, niveau d'usure, etc.), on peut anticiper les pannes et planifier la maintenance avant qu'une défaillance n'interrompe les opérations. Cette approche, souvent appelée maintenance prédictive, permet d'accroître la disponibilité des moyens logistiques et d'éviter des ruptures de stock causées par un arrêt imprévu de la production ou de la distribution.<sup>6</sup>

## 2.3 Architecture d'un entrepôt intelligent connecté

Un système IoT efficace pour la gestion des stocks repose sur une architecture bien conçue intégrant différents niveaux. Typiquement, on distingue les **objets connectés de terrain**, la **passerelle IoT** et les **systèmes de gestion** au niveau supérieur.

Les objets de terrain incluent tous les capteurs et actionneurs disposés dans l'entrepôt : lecteurs RFID, capteurs environnementaux, caméras, robots mobiles AGV (Automatic Guided Vehicles) équipés de télémétrie, etc. Ces dispositifs collectent les données brutes (identifiants d'articles, valeurs mesurées, images) et les transmettent via un réseau local (Wi-Fi, Zigbee, LTE/5G privé, etc.) à une passerelle. La **passerelle IoT** joue le rôle d'aggregateur et de filtre : souvent un ordinateur industriel ou un serveur local, elle reçoit les flux de données des capteurs, peut effectuer un pré-traitement (filtrage, agrégation temporelle) et les envoie vers le système central. Cette passerelle assure aussi la communication descendante, par exemple pour envoyer des commandes aux actionneurs (verrouiller une porte, allumer un signal, piloter un robot) en fonction des décisions prises plus haut.

Le niveau supérieur est constitué par le **système d'information logistique** de l'entreprise (WMS/ERP) éventuellement hébergé dans le *cloud*. C'est à ce niveau que les données IoT sont stockées, intégrées avec d'autres données (commandes clients, prévisions, etc.) et présentées aux utilisateurs sous forme d'indicateurs ou de tableaux de bord. Dans un entrepôt intelligent, ce niveau comprend aussi souvent un **module décisionnel** ou des services d'IA qui exploitent les données en temps réel pour automatiser certaines tâches. Par exemple, Jabbar *et al.* (2018) décrivent une architecture de « web des objets » pour un entrepôt intelligent où un module administratif central (*smart warehouse brain*) orchestre les données collectées et génère des événements ou actions en réponse. Ce système pilote en temps réel les différents équipements (capteurs, robots, systèmes CVC<sup>1</sup>) et assure une interaction fluide entre les objets physiques et les applications logicielles de l'entrepôt. Les expérimentations de cette architecture ont montré une amélioration des performances de l'entrepôt en termes de rapidité de réaction et de précision du suivi.<sup>1</sup>

En résumé, l'IoT apporte à la gestion des stocks une **infrastructure connectée** permettant l'automatisation et l'optimisation de nombreuses tâches autrefois manuelles et chronophages. L'entrepôt devient un « *système cyber-phérique* » où chaque objet ou zone de stockage est

---

1. Chauffage, ventilation et climatisation (HVAC en anglais).

muni d'une sorte de « conscience numérique » transmettant son état en continu. Cette numérisation fine du terrain pose les bases indispensables pour tirer parti, dans un deuxième temps, de l'intelligence artificielle, qui va donner un sens à ces données et guider les décisions.

### 3 L'apport de l'intelligence artificielle (IA) dans la gestion des stocks

#### 3.1 Prévision de la demande et optimisation des approvisionnements

L'un des domaines où l'IA a un impact majeur en gestion des stocks est la **prévision de la demande**. Une bonne anticipation des ventes futures permet de définir des niveaux de stock optimaux et d'éviter aussi bien les ruptures que les surstocks. Les méthodes classiques de prévision (moyennes mobiles, lissage exponentiel, modèles ARIMA) atteignent leurs limites face à la volatilité de la demande et à la multiplicité des facteurs influents (saisonnalité complexe, promotions, comportements clients imprévisibles). Les techniques d'*apprentissage automatique* offrent ici une meilleure capacité de modélisation. Des algorithmes d'apprentissage supervisé comme les **forêts aléatoires**, les réseaux de neurones (y compris les réseaux *deep learning* tels que les LSTM pour séries temporelles) ou les méthodes de *boosting* (XGBoost, LightGBM) peuvent ingérer de larges historiques de ventes enrichis de données externes (tendances du marché, météo, événements) pour produire des prévisions plus fiables.<sup>3</sup>

Des travaux récents montrent que les approches fondées sur l'intelligence artificielle permettent d'améliorer significativement la précision de la prévision de la demande. Dans l'étude de Arora et al. (2020), les auteurs appliquent une approche par ensemble de modèles combinant des méthodes statistiques classiques et des modèles avancés d'apprentissage automatique pour la prévision des ventes dans le secteur de la distribution de boissons alcoolisées. Les résultats montrent que les modèles finaux permettent de réduire l'erreur de prévision d'environ 50% pour le produit le plus vendu et de 33,5% pour le produit générant le plus de revenu, par rapport à un modèle statistique naïf. Les auteurs soulignent également qu'il n'existe pas de modèle universel unique pour tous les produits, chaque référence nécessitant un ajustement spécifique afin d'obtenir une réduction significative de l'erreur. Ces améliorations de précision permettent d'optimiser la gestion des stocks en réduisant les risques de rupture ainsi que les excédents de stock, contribuant ainsi à une meilleure performance opérationnelle.<sup>8</sup>

Au-delà de la simple prévision, l'IA excelle lorsqu'il s'agit de coupler la prédiction à la décision, c'est-à-dire à la **optimisation des approvisionnements**. En effet, prévoir la demande n'est qu'une étape : il faut ensuite traduire cette information en un plan d'inventaire optimal, en décidant quand et combien commander ou produire. Des techniques d'*optimisation mathématique* combinées avec les prévisions IA permettent de calculer des politiques de réapprovisionnement minimisant les coûts tout en respectant des contraintes (capacités de stockage, délais fournisseurs, objectifs de service). Par exemple, un cadre courant est celui de l'optimisation multi-objectifs cherchant à minimiser simultanément le coût de possession des stocks et le coût des ruptures. L'IA peut intervenir de plusieurs façons : en générant des scénarios de demande futurs (via des modèles prédictifs) qui alimentent un solveur d'optimisation (par programmation linéaire ou stochastique), ou même en apprenant directement une politique de gestion via le **renforcement** (les algorithmes d'apprentissage par renforcement peuvent apprendre des stratégies de commande en interagissant avec un environnement simulant l'évolution des stocks).

Une approche intéressante combine un modèle de prévision IA, un module d'optimisation

linéaire pour la quantité à commander, et un retour d'information en temps réel via l'IoT. Kumar et Goyal (2025) ont proposé un tel modèle hybride pour une chaîne logistique industrielle<sup>3</sup>. Dans leur étude, les prévisions générées par un réseau de neurones sont utilisées pour déterminer les commandes optimales en tenant compte des capacités de stockage et des coûts ; parallèlement, les capteurs IoT assurent un suivi en temps réel des stocks et une boucle de rétroaction. Les résultats montrent que cette combinaison « IA + optimisation + IoT » dépasse les approches isolées. Surtout, le système est capable de s'adapter aux imprévus : en cas d'écart entre la demande réelle et la prévision, l'algorithme ajuste les commandes suivantes pour éviter la rupture.

### 3.2 Automatisation intelligente des entrepôts et robotique

L'IA intervient également dans l'**automatisation physique** de la gestion des stocks, en conjonction avec la robotique et l'automatisation industrielle. Les **entrepôts automatisés** de dernière génération utilisent des robots mobiles autonomes (AGV ou AMR) pour déplacer les marchandises, des bras robotisés pour la préparation des commandes, et des systèmes automatisés de stockage/déstockage (AS/RS). L'efficacité de ces dispositifs repose de plus en plus sur des algorithmes d'IA pour la perception de l'environnement, la planification des mouvements et l'optimisation des opérations<sup>20,21</sup>.

Par exemple, la gestion d'une flotte de robots mobiles dans un entrepôt requiert un **pilotage intelligent** pour éviter les congestions et minimiser les temps de trajet. Amazon illustre bien cette dynamique avec son système **Sequoia**<sup>20</sup>, qui coordonne de nombreux robots équipés de caméras et appuyés par des algorithmes avancés de vision et de planification. L'intégration d'une IA plus globale de coordination, comme **DeepFleet**<sup>21</sup>, montre l'évolution vers des flottes robotisées de plus en plus orchestrées par le cloud et les modèles d'optimisation à grande échelle.

L'intelligence artificielle est aussi mise à profit pour améliorer la **précision des opérations de picking**. Des systèmes de vision par ordinateur, couplés à des bras robotisés, permettent désormais de reconnaître les objets dans un bac et de les saisir efficacement. Le robot **Vulcan**, doté du sens du toucher, illustre cette tendance en combinant perception, ajustement de la force de préhension et apprentissage automatique<sup>22</sup>.

Notons que l'intelligence des entrepôts ne se limite pas aux robots : des **systèmes experts** et des algorithmes d'IA peuvent optimiser la gestion des emplacements (*slotting*) ou recommander des plans de chargement plus efficaces pour la distribution<sup>26</sup>.

### 3.3 Analyse des données et aide à la décision

Enfin, l'IA joue un rôle transversal d'**analyse avancée des données** de stock pour aider les gestionnaires à prendre des décisions éclairées. Les outils analytiques modernes permettent de détecter automatiquement des **anomalies** ou des **motifs cachés** dans la gestion des stocks. Par exemple, des approches de *detection d'anomalies* peuvent signaler qu'un produit connaît un taux de sortie anormalement élevé ou qu'un stock ne bouge pas du tout, ce qui peut indiquer un risque de vol, d'erreur ou d'obsolescence<sup>24,27</sup>.

L'IA permet également d'évaluer divers **scénarios** et leur impact sur les stocks. Des simulations pilotées par IA peuvent répondre à des questions du type : « Que se passerait-il si la demande augmentait de 20% le mois prochain ? » ou « Quel est le risque de rupture si le fournisseur X a un retard de 1 semaine ? »<sup>20</sup>. Ces outils d'analyse prédictif améliorent la résilience de la supply chain en préparant les entreprises aux aléas<sup>19,26</sup>.

Mentionnons également l'apport de l'**IA dans l'établissement de stratégies globales de stock**, par exemple via des modèles d'optimisation multi-échelons. Pour un grand réseau logistique, l'IA peut aider à décider comment répartir les stocks entre les différents niveaux afin de minimiser le coût total tout en maintenant un excellent taux de disponibilité<sup>19,26</sup>.

En somme, l'IA en gestion des stocks se manifeste du niveau opérationnel (tâches d'entrepôt automatisées) jusqu'au niveau stratégique (décisions globales de politique de stock), en passant par le tactique (choix d'approvisionnement optimaux). Sa puissance réside dans sa capacité à digérer la **masse de données** générée par les systèmes IoT et transactionnels, pour en extraire des informations actionnables et parfois même prendre directement les décisions appropriées de façon autonome<sup>18,19,26</sup>.

## 4 Convergence de l'IoT et de l'IA : vers une gestion des stocks intelligente et autonome

Les deux sections précédentes ont mis en lumière les bénéfices propres à l'IoT et à l'IA. Toutefois, c'est bien la **convergence**<sup>10</sup> de ces technologies qui donne naissance aux systèmes de gestion des stocks les plus performants à ce jour. L'association étroite de capteurs ubiquitaires et d'algorithmes intelligents permet de réaliser la vision d'une **supply chain cognitive**, où les flux physiques et d'information sont intégrés de manière transparente et adaptive.

Dans ce cadre, les systèmes IoT-IA suivent une logique opérationnelle simple : les dispositifs connectés assurent la remontée continue d'informations sur l'état des stocks et les conditions d'exploitation, ces données sont ensuite traitées par des algorithmes capables de détecter des variations significatives ou d'anticiper des besoins futurs, et les actions correspondantes sont déclenchées automatiquement par les systèmes logistiques. Ce fonctionnement en boucle fermée, allant de la captation à l'exécution, constitue la base d'une gestion de stock plus réactive et largement autonome.

Plusieurs études de cas illustrent l'impact de cette synergie IoT-IA. Rajendran *et al.* (2025) ont étudié deux contextes industriels<sup>2</sup> – l'un dans une entreprise de logistique en Finlande, l'autre dans un centre de distribution Amazon – pour évaluer les gains liés à l'adoption conjointe de l'IoT, de l'IA et de l'automatisation dans les processus d'inventaire. Leurs observations montrent une **amélioration de l'intégrité et de l'efficacité des données d'inventaire**, grâce à la réduction des interventions manuelles source d'erreurs. Les écarts d'inventaire (différences entre le stock théorique et le stock réel) tendent vers zéro, car chaque mouvement est instantanément enregistré par les capteurs et contrôlé par le système. De plus, la capacité de **surveillance en temps réel** élimine les retards d'information : les gestionnaires savent à tout moment précisément ce qu'il y a en stock, ce qui permet des décisions rapides et fondées. Cette réactivité accrue se traduit par une meilleure disponibilité produit et une diminution des ventes manquées dues à des ruptures.

Un autre bénéfice majeur souligné dans les travaux récents est la **diminution de la charge de travail humaine** liée aux tâches répétitives, grâce à l'automatisation des opérations d'inventaire et de suivi des mouvements de stock<sup>12</sup>. Les opérations manuelles de comptage ou de vérification visuelle sont progressivement remplacées par des systèmes connectés capables de collecter et de analyser les données en continu, ce qui réduit significativement le risque d'erreurs. Cette automatisation libère du temps pour des activités à plus forte valeur ajoutée, telles que l'analyse, l'amélioration des processus ou le pilotage opérationnel. Les retours d'expérience montrent également une **amélioration de la coordination logistique**<sup>11</sup> : la combinaison de l'IoT et de l'IA permet d'orchestrer les flux de manière plus efficace, de li-

miter les goulets d'étranglement et d'optimiser l'utilisation de l'espace, rendant l'organisation globale plus fluide et plus réactive.

Une caractéristique importante de la combinaison IoT–IA est la capacité du système à **s'ajuster de manière dynamique**. Alors que les systèmes d'inventaire traditionnels reposent sur des règles statiques (par exemple recompléter au point de commande  $s$  pour revenir au niveau  $S$ ) et exigent des reconfigurations manuelles périodiques, l'intégration de technologies Industrie 4.0 permet un ajustement plus souple des paramètres opérationnels. Ainsi, si des capteurs IoT détectent une évolution du profil de demande ou un changement dans l'environnement (par exemple un comportement d'achat modifié par une promotion), l'IA peut adapter en continu les seuils de réapprovisionnement ou la priorisation des tâches.

Cette **capacité d'adaptation**, toutefois, doit être maîtrisée : elle constitue un atout dans un contexte de volatilité et d'incertitude, mais son impact réel sur la résilience dépend de son calibrage, certaines reconfigurations étant susceptibles de produire des effets contre-productifs si elles sont trop fréquentes ou mal ajustées.

On voit émerger le concept d'**« AloT<sup>17</sup> » (Artificial Intelligence of Things)**, qui désigne précisément l'intégration de l'IA dans l'écosystème IoT. En gestion des stocks, l'AloT pourrait se matérialiser par des **objets connectés intelligents** capables de prendre localement certaines décisions. Par exemple, un capteur de niveau de stock sur une étagère pourrait embarquer un petit module d'IA qui anticipe une rupture prochaine et initie lui-même une commande de réapprovisionnement automatique via le système, sans attendre une instruction centrale. De même, on peut imaginer des chariots autonomes collaboratifs échangeant entre eux (de machine à machine) des informations sur leurs missions et adaptant leurs itinéraires de manière décentralisée grâce à un apprentissage mutuel. Ces idées relèvent encore de la R&D, mais certaines sont en cours de test, notamment avec l'essor de l'**edge computing** qui permet de déporter de l'intelligence au plus près des capteurs.

En termes de résultats mesurables, la convergence IoT–IA conduit à une **optimisation globale<sup>13</sup>** difficilement atteignable avec des systèmes traditionnels. Les travaux récents montrent que l'intégration conjointe de capteurs, de données en temps réel et d'algorithmes d'IA améliore significativement la performance opérationnelle, notamment en renforçant la visibilité, la coordination et la capacité à ajuster les décisions au plus près des conditions réelles.

Surtout, cette convergence confère une **agilité accrue<sup>14</sup>**. Les entreprises dotées de solutions numériques avancées démontrent une meilleure résistance aux perturbations — qu'il s'agisse de fluctuations brusques de la demande, de retards fournisseurs ou d'aléas plus larges. Elles sont capables de réviser rapidement leurs plans, de réorienter les flux ou de réaffecter les stocks en fonction des signaux captés sur le terrain.

Cette dynamique a été mise en lumière lors de crises récentes, notamment durant la pandémie de COVID-19<sup>16</sup>, où les chaînes d'approvisionnement disposant d'outils de perception et d'analyse en temps réel ont montré une capacité supérieure à maintenir la continuité des opérations par rapport à des systèmes plus rigides.

Pour résumer, la fusion de l'IoT et de l'IA dans la gestion des stocks permet de **dépasser les silos traditionnels** entre opérations d'entrepôt, informatique de gestion et analyse décisionnelle. Elle aboutit à des systèmes intégrés, intelligents, capables d'auto-apprentissage, qui approchent l'objectif d'un **pilotage en temps réel et prédictif** de la chaîne logistique. La prochaine étape, déjà en ligne de mire, est celle des **entrepôts autonomes** où l'intervention humaine se limite à la supervision, l'amélioration continue et la gestion des exceptions, tout le reste (du suivi des entrées/sorties à la préparation des commandes en passant par l'approvisionnement) étant géré par un écosystème d'objets intelligents coordonnés.

## 5 Défis et perspectives d'avenir

Malgré les promesses et succès documentés des systèmes de gestion des stocks intelligents, leur adoption large comporte encore plusieurs **défis** qu'il convient de maîtriser pour en récolter pleinement les bénéfices.

Le premier défi est d'ordre **financier et organisationnel**<sup>13</sup>. L'implémentation de capteurs IoT à grande échelle, l'acquisition de robots ou d'automates, ainsi que le développement de solutions d'IA sur mesure représentent des investissements substantiels. Pour de nombreuses entreprises, en particulier les PME, ces coûts peuvent constituer un frein important. Même lorsque le retour sur investissement est envisageable sur le long terme grâce aux gains d'efficacité réalisés, il faut pouvoir financer le projet et justifier cet investissement auprès de la direction. Par ailleurs, passer à un système automatisé et piloté par la donnée implique des changements organisationnels : il est nécessaire de former le personnel aux nouveaux outils et, parfois, de redéfinir certains rôles (par exemple, les magasiniers voient leur travail évoluer d'opérations manuelles vers de la supervision de machines). La **résistance au changement** peut apparaître si les équipes ne sont pas suffisamment impliquées ou si l'on perçoit que l'automatisation pourrait modifier la nature de certains emplois. Il est donc crucial d'accompagner le déploiement par une gestion du changement adaptée, en mettant en avant les bénéfices pour chacun (amélioration des conditions de travail, réduction des tâches pénibles, montée en compétences, etc.).

Un deuxième défi majeur concerne la **sécurité des données et la cybersécurité**<sup>12</sup>. En rendant l'entrepôt « intelligent » et connecté, on l'expose à des cyber-risques potentiels : intrusion dans le réseau IoT, détournement d'automates, accès non autorisé à des informations sensibles telles que les niveaux de stock ou les prévisions de vente. Les données massives collectées, souvent centralisées dans le cloud, posent également des enjeux de **confidentialité**. Il est donc indispensable d'adopter des mesures de sécurité solides : chiffrement des communications IoT, authentification robuste des dispositifs, cloisonnement des réseaux opérationnels, mises à jour régulières pour corriger les vulnérabilités. Sur le plan organisationnel, cela implique aussi de développer de nouvelles compétences en cybersécurité industrielle et de prévoir des procédures adaptées pour protéger les informations critiques de l'entreprise et de ses partenaires logistiques.

Un autre défi est **technologique et d'intégration**<sup>11</sup>. La cohabitation fluide de l'IoT et de l'IA nécessite une architecture logicielle fiable et souvent complexe. L'intégration des flux IoT en temps réel avec les systèmes d'information existants (WMS/ERP) peut s'avérer ardue, en particulier lorsqu'il existe des solutions hétérogènes ou propriétaires. De plus, la performance des algorithmes d'IA dépend fortement de la qualité des données : il est essentiel que les données capturées par les capteurs soient précises, complètes et représentatives. Comme le souligne le principe «garbage in, garbage out» en science des données, des données biaisées ou incomplètes peuvent conduire à des décisions erronées. Il convient donc de prévoir des mécanismes de validation et de nettoyage des données, ainsi qu'un **contrôle humain** régulier des résultats produits par l'IA, du moins dans les phases initiales.

Malgré ces défis, les **perspectives d'avenir** des systèmes de gestion des stocks intelligents restent prometteuses. Plusieurs tendances identifiées dans la littérature récente méritent d'être soulignées :

- **Déploiement à grande échelle et standardisation** : la réduction progressive des coûts des capteurs IoT et de la puissance de calcul, combinée à l'adoption croissante des jumeaux numériques, devrait rendre ces solutions plus accessibles, y compris pour des entrepôts de taille moyenne.

- **Jumeaux numériques et simulation<sup>15</sup>** : les **digital twins** appliqués à la supply chain offrent la possibilité de reproduire en temps réel l'ensemble des flux physiques et numériques, permettant de simuler des scénarios variés (ruptures d'approvisionnement, fluctuations de demande, modifications de configuration) avant de les appliquer dans le monde réel. Dans certains cas, l'usage de digital twins a permis, selon McKinsey, jusqu'à **20% d'amélioration du taux de respect des promesses clients** (livraison dans les délais) et **10% de réduction des coûts de main-d'œuvre** dans des contextes d'entrepôts ou de logistique optimisée.
- **Intelligence artificielle plus avancée** : les progrès en IA, notamment en apprentissage profond, permettent d'améliorer la prévision de la demande et l'optimisation des stocks. L'association IA + jumeau numérique autorise des approches prédictives et prescriptives, favorisant des décisions plus rapides, plus précises et plus robustes.
- **Optimisation globale de la chaîne** : en reliant les différents maillons tels que l'approvisionnement, stockage, transport, distribution grâce à l'IoT, l'IA et les jumeaux numériques, il devient possible d'optimiser end-to-end, limitant les inefficiences, améliorant la réactivité, et renforçant la résilience.

En conclusion de cette partie, les défis actuels ne sont pas insurmontables et sont progressivement levés à mesure que la technologie mûrit et que les retours d'expérience se multiplient. La trajectoire est clairement tracée vers des **chaînes logistiques toujours plus automatisées, intelligentes, connectées et résilientes**. Les entreprises qui sauront maîtriser et adopter ces outils auront un avantage concurrentiel indéniable, en offrant un service plus fiable, plus rapide et moins coûteux.

## 6 Conclusion

La gestion des stocks, longtemps considérée comme un domaine opérationnel classique, est en train de vivre une **transformation profonde grâce aux technologies IoT et IA**. Ce rapport a exploré les différents aspects de cette transformation en montrant comment, de la captation des données sur le terrain jusqu'à la prise de décision stratégique, l'IoT et l'IA apportent des améliorations à chaque étape de la chaîne.

L'Internet des objets a introduit une **visibilité fine et instantanée** sur les inventaires. Les entrepôts et magasins s'équipent de capteurs, d'étiquettes RFID, de dispositifs connectés qui font remonter en continu l'état du stock et de son environnement. Il en résulte une réduction drastique des erreurs de suivi et la possibilité d'agir en temps réel pour corriger les écarts ou anomalies. L'intelligence artificielle, quant à elle, a doté les systèmes de gestion de capacités d'**anticipation** (prévisions de la demande beaucoup plus fiables) et d'**optimisation** (prise en compte d'une multitude de facteurs pour décider des approvisionnements ou orchestrer des processus automatisés). L'IA permet de tirer pleinement parti de la masse de données produite par l'IoT, en la transformant en décisions concrètes améliorant l'efficacité opérationnelle et financière.

En combinant IoT et IA, on obtient des systèmes intelligents capables non seulement de dépeindre fidèlement la situation présente, mais aussi de **prévoir** l'évolution future et d'**agir** de manière autonome pour maintenir un état optimal. Les exemples cités dans ce rapport – qu'il s'agisse d'un algorithme ajustant les commandes en fonction des ventes du jour même, ou de robots coordonnés pour préparer les commandes plus vite qu'aucun humain ne le pourrait – illustrent le saut qualitatif en cours dans la gestion des stocks. Les bénéfices chiffrés, tels que la réduction des coûts de stockage, l'accélération du traitement des commandes ou l'amélioration du taux de service, sont déjà attestés par les premières implantations industrielles.

Néanmoins, cette révolution ne va pas sans défis. Nous avons souligné l'importance d'accompagner ces changements par des investissements appropriés, une sécurisation des systèmes et une formation des acteurs humains pour qu'ils deviennent les pilotes avisés de ces outils. Car si l'objectif ultime est l'automatisation maximale, l'humain conserve une place centrale : celle de définir les objectifs, de superviser le bon fonctionnement, et d'apporter la flexibilité et l'innovation que les machines ne peuvent atteindre seules.

En guise d'ouverture, on peut affirmer que nous ne sommes encore qu'au début de l'ère des systèmes de stocks intelligents. Le rythme d'innovation est soutenu, tant du côté des dispositifs IoT (plus petits, moins chers, plus autonomes) que du côté des algorithmes d'IA (de plus en plus puissants et spécialisés). Les **entrepôts du futur** seront probablement des environnements hyper-connectés où la quasi-totalité des opérations seront optimisées en temps réel par des intelligences artificielles intégrées. Cette vision s'inscrit dans celle, plus large, de l'**industrie 4.0** et de la **logistique 4.0**, où la donnée et son exploitation intelligente deviennent le nerf de la guerre.

En conclusion, l'apport de l'IoT et de l'IA aux systèmes de gestion des stocks se manifeste par une amélioration sans précédent de la visibilité, de l'efficience et de l'adaptabilité des chaînes d'approvisionnement. Les entreprises qui embrassent ces technologies construisent les **chaînes logistiques intelligentes** de demain, capables de répondre aux défis d'un marché globalisé, incertain et exigeant, tout en ouvrant la voie à de nouveaux gains de productivité et de service. Il appartient désormais aux ingénieurs et managers de saisir ces opportunités et de relever les défis associés pour transformer durablement la fonction logistique.

## Annexe : Références

### Références

- [1] S. JABBAR, M. KHAN & B.,N. SILVA (2016). *A REST-based industrial Web of Things' framework for smart warehousing.. Social Sciences*, 8(5), 84. DOI : [10.3390/socsci8050084](https://doi.org/10.3390/socsci8050084).
- [2] RAJENDRAN, P., BALARAMAN, N. K. & VISWANATHAN, H. (2025). *Enhancing Accuracy and Efficiency in Physical Count Processes : Leveraging AI, IoT, and Automation for Real-Time Inventory Management in Supply Chain*. In *Proc. of the 10th Int. Conf. on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDS 2025)*.
- [3] KUMAR, V. & GOYAL, S. (2025). *AI-Driven Forecasting and Optimization for Inventory Control in Manufacturing Supply Chain*. *Advances in Consumer Research*, 2(4), 5085–5091.
- [4] ARTICLE DE L'ENTREPRISE SMARTMAKERS QUI MET EN PLACE CE GENRE DE DISPOSITIF (2025). *C'est ainsi que l'IA transforme la chaîne d'approvisionnement - et les données en temps réel en sont un élément essentiel.. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 11(11), 1466–1474. DOI : [10.22214/ijraset.2023.57200](https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57200).
- [5] SIPIWE CHIHANA, JACKSON PHIRI, & DOUGLAS KUNDA (2025). *An IoT based Warehouse Intrusion Detection (E-Perimeter) and Grain Tracking Model for Food Reserve Agency*. *Procedia Computer Science*, 253, 1236–1245. DOI : [10.1016/j.procs.2025.01.185](https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.185).
- [6] BABAR TARIQ & JASMIN KHAN (2024"). *IoT-Based Predictive Maintenance in Industrial Environments*. *Journal of Supercomputing*, 74(9), 4419–4433. DOI : [10.1007/s11227-018-2334-3](https://doi.org/10.1007/s11227-018-2334-3).
- [7] B. SAI SUBRAHMANYA TEJESH & S. NEERAJA (2018). *Warehouse inventory management system using IoT and open source framework*. DOI : [10.1109/ICASI.2018.8394441](https://doi.org/10.1109/ICASI.2018.8394441).
- [8] T. ARORA (2020). *Demand Forecasting In Wholesale Alcohol Distribution : An Ensemble Approach*. Disponible sur :<https://scholar.smu.edu/datasciencereview/vol13/iss1/7/#:~:text=ensemble%20approach%20was%20applied%20using,model%20to%20meaningfully%20reduce%20error>.
- [9] AUTEURS MULTIPLES. (2025). *State of the Art of Digital Twins in Improving Supply Chain Resilience*. MDPI. Disponible sur <https://www.mdpi.com/2305-6290/9/1/22>.
- [10] AUTEURS MULTIPLES. (2025). *Driving Supply Chain Transformation with IoT and AI Integration*. MDPI. Disponible sur <https://www.mdpi.com/2624-831X/6/2/21>.
- [11] AUTEURS MULTIPLES. (2023). *Application of IoT in Sustainable Supply Chain Management*. MDPI. Disponible sur <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/694>.
- [12] AUTEURS MULTIPLES. (2025). *Digital Transformation in Supply Chains*. *Frontiers in Sustainability*. Disponible sur <https://www.frontiersin.org/.../1584580/full>.
- [13] AUTEURS MULTIPLES. (2025). *Industry 4.0 and Supply Chain Resilience*. MDPI. Disponible sur <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/17/7922>.
- [14] AUTEURS MULTIPLES. (2025). *Revolutionizing Supply Chains with AI Automation*. MDPI. Disponible sur <https://www.mdpi.com/2078-2489/16/1/26>.

- [15] MCKINSEY & COMPANY. (2023). *Using Digital Twins to Unlock End-to-End Supply Chain Growth*. Disponible sur [lien](#).
- [16] MCKINSEY & COMPANY. (2025). *Technology Trends Outlook 2025*. Disponible sur [.](#)
- [17] DIGI INTERNATIONAL. (s.d.). *AIoT – Artificial Intelligence of Things (définition)*. Disponible sur <https://fr.digi.com/resources/definitions/aiot>.
- [18] Wang et al. (2025). *Deep Reinforcement Learning with CNNs for Inventory Management*. Disponible sur : <https://www.informatica.si/index.php/informatica/article/view/3975>.
- [19] McKinsey & Company (2022). *AI-driven operations forecasting in data-light environments*. Disponible sur : <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/ai-driven-operations-forecasting-in-data-light-environments>.
- [20] Amazon (2023). *Amazon Robotics / Introducing Sequoia : a robotic fulfillment system*. Disponible sur : <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center>.
- [21] Amazon (2025). *DeepFleet : the generative AI brain for warehouse robots*. Disponible sur : <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-million-robots-ai-foundation-model>.
- [22] Journal du Robot (2025). *Vulcan, le bras robotisé d'Amazon doté du sens du toucher*. Disponible sur : <https://www.journaldurobot.com/actualites/vulcan-le-robot-damazon-dote-du-sens-du-toucher/>.
- [23] Factored.ai (2025). *Inventory Anomaly Detection / Data Analytics*. Disponible sur : <https://www.factored.ai/coes/data-analytics>.
- [24] ToolsGroup (2025). *Machine Learning in Demand Planning : From Accuracy to Agility*. Disponible sur : <https://www.toolsgroup.com/blog/machine-learning-in-demand-planning/>.
- [25] AR Racking (2021). *Système EOQ (modèle de Wilson) en entrepôt : gestion des stocks*. Disponible sur : <https://www.ar-racking.com/fr/blog/systeme-eoq-ou-modele-de-wilson-en-entrepot-gestion-des-stocks/>.
- [26] CyberPerformance (2024). *L'IA pour la gestion des stocks : solutions pour entreprises*. Disponible sur : <https://cyberperformance.ca/lia-pour-la-gestion-des-stocks-solutions-pour-entreprises/>.