

Square

DONNER DU FUTUR AU TALENT



MÉCANISATION, AUTOMATISATION, ROBOTISATION ET COBOTISATION DE LA LOGISTIQUE À L'HEURE DE LA SUPPLY CHAIN 4.0

PHILIPPE LACHAIZE, XAVIER PERON,
PIERRE-OLIVIER WIMEZ, ROMAIN GOMEZ,
ESTEFANIA TOBON.



MÉCANISATION, AUTOMATISATION, ROBOTISATION ET COBOTISATION DE LA LOGISTIQUE À L'HEURE DE LA SUPPLY CHAIN 4.0



Par Philippe LACHAIZE, Xavier PERON,
Pierre-Olivier WIMEZ, Romain GOMEZ,
Estefania TOBON.

SOMMAIRE

0.	Introduction.....	7
1.	Définitions de la Mécanisation, Automatisation, Robotisation et Cobotisation.....	9
2.	Les retours d'expériences de robotisations intra-logistiques.....	15
3.	Les bonnes pratiques d'Automatisation et Robotisation combinées selon les unités de manutentions.....	25
4.	Démêler le vrai du faux sur les projets d'automatisation et de robotisation.....	29
5.	L'automatisation et la cobotisation, associées à une logistique 4.0, des réponses aux enjeux actuels de consommation	37
6.	Le double numérique, une opportunité de la logistique 4.0 pour les entrepôts automatisés et robotisés, un objet de R&D chez Flow & Co.....	45
7.	Conclusion.....	51



INTRODUCTION

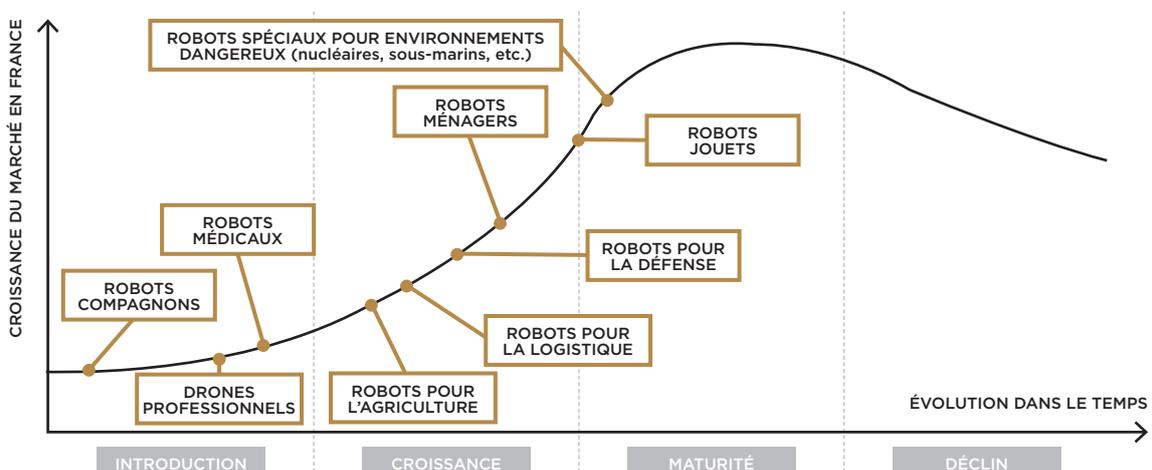
L'objectif de ce document est de présenter l'inéluctable robotisation et cobotisation (collaboration homme-robot) des entrepôts logistiques de distribution dans les prochaines années. La robotisation concerne, aujourd'hui, essentiellement l'industrie. L'IFR (International Federation of Robotics) dans son rapport annuel, annonce un chiffre d'affaires de ventes de robots industriels en 2018 de 16,5 milliards de dollars, pour environ 422 000 robots industriels dans le monde. Les industries automobiles et manufacturières sont les plus gros consommateurs de robots industriels. La robotisation concerne également les services. Xerfi présentait déjà, en 2014, une estimation du développement des robots de service.

La robotisation de la logistique est en avance par rapport aux estimations. Son expansion est très forte comme le montre la robotisation partielle d'entrepôts ces deux dernières années (2019 et 2020), chez Amazon, Cdiscount, Carrefour, Décathlon, Uniqlo et de nombreux autres acteurs.

Fin 2019, Amazon a inauguré à Brétigny-sur-Orge un entrepôt gigantesque de 150 000 m² avec environ 4 000 robots, le premier en France.

Amazon souhaite installer une cinquantaine d'entrepôts comme celui-ci. CDiscount dispose d'une préparation de commandes robotisée installée par l'équipementier français Exotec. Cette robotisation française et innovante montre des robots qui montent le long des échelles sur les racks de stockage et viennent en séquence apporter leurs bacs de stock à un préparateur de commandes. CDiscount a également installé un des premiers bras articulés et automatisés de picking. Les Supply Chains

Figure 1. Le positionnement des différentes catégories de robots sur la courbe de cycle de vie de la robotique de service (source : Xerfi).



des grands distributeurs européens en GSA (Grandes Surfaces Alimentaires) ou GSS (Grandes Surfaces Spécialisées) suivent tous la voie tracée par les leaders mondiaux du e-commerce en installant des transtockeurs miniloads, des systèmes à navettes (multishuttle), et de plus en plus de robots.

La robotisation du dernier kilomètre est également en marche, mais uniquement en phase de pilote contrairement à la logistique. Alibaba a présenté en 2020 un robot de livraison pour les commandes faites en ligne (sur Cainiao ou Taobao). Celui-ci se fraie un chemin au milieu des piétons et présente le colis à l'heure choisie par le client. Un simple code envoyé par SMS permet de récupérer la commande.

La mécanisation et la robotisation de la logistique ont, par rapport aux processus manuels, les avantages suivants :

- Baisse des coûts de distribution par une augmentation forte de la productivité de la préparation des commandes de distribution (palettes, colis ou unitaires).
- Baisse importante de la pénibilité au travail (moins de kilomètres parcourus par jour et prise et dépose des produits à hauteur).
- Adaptation aux flux e-commerce et aux préparations unitaires avec constitution et fermeture automatique des cartons.
- Capacité de traiter des flux plus importants avec une plus grande sobriété en m².
- Adaptation à la forte croissance des référentiels (notamment avec des produits en Marketplace).
- Flexibilité surtout pour la robotisation / cobotisation.

Le premier moteur de ce mouvement est bien évidemment la baisse des coûts. Hors transport, le coût à l'article pour des activités B2B peut être divisé par deux, le coût à l'article pour des activités en B2C peut être divisé par trois.

Le second moteur est la pénibilité. En préparation manuelle, les préparateurs de commandes

peuvent parcourir de 10 à 15 kilomètres par jour, en soulevant jusqu'à 10 tonnes cumulées et monter environ 1 000 fois sur un chariot de préparation. De plus, les prises de produits peuvent se faire d'une hauteur de 20 cm à une hauteur de 1,5 mètres. L'accidentologie est forte, les maladies professionnelles fréquentes. Quasiement personne ne peut faire ce travail avec une bonne productivité jusqu'à l'âge de la retraite. La mécanisation et surtout la robotisation permettent d'acheminer via convoyeur ou via robot les produits aux opérateurs ce qui permet de diminuer les distances parcourues. Les produits peuvent être à bonne hauteur de prise afin de diminuer les efforts sur le dos et les bras. Cette robotisation se déploie depuis quelques années en logistique. Ce déploiement est de plus en plus local, car les clients souhaitent des délais de livraison plus courts sans augmenter les prix des produits, ce qui nécessite des entrepôts de proximité.

La croissance du e-commerce augmente fortement les besoins en main d'œuvre dans les entrepôts en transformant les préparations de colis complets vers les magasins en préparations unitaires vers les clients finaux. Cette robotisation de la Supply Chain avale évite de créer des emplois à forte pénibilité. Il est aujourd'hui très difficile d'estimer l'impact sur l'emploi.

Le déploiement de la Supply 4.0 (IoT, IA, digitalisation,...) rend possible une très forte digitalisation de tous les processus. L'amélioration des performances des robots permet de construire sur la partie amont de la Supply Chain des usines plus petites, plus flexibles et plus efficaces et, sur la partie aval, aujourd'hui en retard, une distribution robotisée. Cette évolution est bien évidemment mondiale et touche autant les Etats-Unis que la Chine et l'Europe. La robotisation alliée à la Supply 4.0 est une opportunité très forte de relocalisation d'une partie des productions avec une distribution plus proche mais avec un pilotage, une surveillance de la Supply Chain, qui peuvent être délocalisés.

1.

DÉFINITIONS DE LA MÉCANISATION, AUTOMATISATION, ROBOTISATION ET COBOTISATION

Mécanisation, automatisation, robotisation et cobotisation sont des concepts **régulièrement employés comme synonymes**. Ils traduisent en effet le passage d'un mode de production s'appuyant sur la force humaine ou animale à un mode de production s'appuyant sur la puissance des machines. Ils correspondent cependant à des étapes plus ou moins avancées de cette substitution de force de production.

LA MÉCANISATION DÉPLACE ET SOULÈVE DES CHARGES

La mécanisation est le premier stade de cette évolution. L'homme ne délègue à la machine qu'un rôle « mécanique » de mouvement ou de charge des UM (Unités de Manutention : palettes, colis ou unités de toutes tailles selon les processus logistiques). La mécanisation ne nécessite pas de besoin informatique ou d'automate.

Les machines sont utilisées comme de simples outils pour permettre un gain de productivité ou une diminution de la pénibilité du travail.

Les convoyeurs permettent de transporter des palettes, des colis ou des unités d'un endroit à un autre sans nécessiter le déplacement d'un opérateur. Les bras de levage, quant à eux, aident à soulever plus facilement des UM lourdes.

L'AUTOMATISATION OPTIMISE LES FLUX INTRA-LOGISTIQUES

Vient ensuite la phase d'automatisation. Les machines, en plus de leur rôle purement mécanique, deviennent partiellement autonomes. Elles sont à même de gérer des flux et des opérations en se référant à des règles de gestion et d'optimisation.

Un convoyeur peut disposer de différents brins et d'aiguillages qui peuvent allouer certains brins à certaines opérations. Une fermeuse de cartons peut adapter la hauteur de fermeture en fonction du remplissage du colis. Une ouvreuse de cartons peut positionner sa lame plus ou moins haut en fonction du format du colis et peut appuyer plus ou moins fort en fonction de l'épaisseur du carton.

Ces règles de gestion peuvent être encore plus complexes quand il s'agit de gérer l'envoi de cartons de stock à des postes de prélèvement à la pièce. Il faut gérer le nombre de postes ouverts, envoyer tous les cartons correspondant à une même commande à un même poste de prélèvement, prioriser les commandes les plus stratégiques, afficher les informations de la commande sur l'écran du préleveur, rediriger les colis avec des erreurs de prélèvement, organiser le réapprovisionnement...

Automatiser exige également de repenser en profondeur les flux, l'agencement, les rôles et habitudes des équipes.

Dans un entrepôt classique, le processus de préparation est un processus de type « Person to Goods », l'opérateur se déplace pour aller chercher les produits. Dans les entrepôts automatisés ou robotisés, les processus sont généralement de type « Goods to Person ». Les produits sont acheminés automatiquement à l'opérateur. Ce dernier ne se déplace plus et sa productivité augmente. La productivité pour des processus manuels particulièrement bien optimisés est d'environ 150 lignes par personne et par heure (cela dépend de la longueur du picking). En « Goods to Person » la productivité atteint 400 à 550 lignes à l'heure et par personne (voire plus), quel que soit le nombre de références différentes.

LA ROBOTISATION GÈRE DES ROBOTS ÉVOLUANT DANS UNE ZONE DÉLIMITÉE

Avec la robotisation, la notion d'intelligence s'accroît. La frontière entre automatisation et robotisation est double. La première différence concerne tout d'abord la prise de décision. Dans un système automatisé, seul le système automatisé prend des décisions (comme par exemple la gestion de trafic). La robotisation, comme son nom l'indique, s'appuie sur des robots, c'est-à-dire des entités autonomes, capables de prendre

elles-mêmes des décisions (comme la gestion de trafic selon ce qui entoure le robot). Ces robots peuvent être immobiles, comme des bras articulés, ou se déplacer comme des AGV (Automated Guided Vehicle).

La seconde différence entre automatisation et robotisation est qualitative. La robotisation pousse encore plus loin l'intelligence déléguée aux machines : cette intelligence devient plus complexe mais aussi évolutive.

LA COBOTISATION GÈRE DES COBOTS QUI INTERAGISSENT EN SÉCURITÉ AVEC LES OPÉRATEURS

L'ultime étape est la cobotisation. Le mot cobotisation est une concaténation des mots coopération et robotisation. Les cobots sont en effet des robots qui évoluent, interagissent et se déplacent dans des environnements dits "ouverts" c'est-à-dire que l'Homme et la machine travaillent dans le même espace, sans limite physique définie et sans barrière de protection. Les cobots MIR (Mobile Industrial Robot), par exemple, sont capables de transporter des palettes (colis ou armoires) au sein d'un entrepôt de la zone de préparation vers la zone d'expédition. Cobots et opérateurs peuvent travailler de manière asynchrone sur des tâches différentes du processus ou de manière synchrone et simultanée sur une même tâche. Les véhicules autonomes sans chauffeur sont des exemples de cobots dans le transport : ils se déplacent dans les rues au même titre que les piétons ou les voitures conduites par des humains en interagissant avec ces derniers et en respectant des règles de sécurité. La sécurité est d'ailleurs un des sujets majeurs de la cobotisation. Certains cobots sont, par exemple, équipés de lidars (Light / Laser Imaging Detection And Ranging) pour leur permettre d'appréhender leur environnement et d'adapter leurs mouvements ou leur vitesse en fonction.

La cobotisation des lignes de production industrielle est avancée. Cette cobotisation commence à s'étendre à la logistique nécessaire aux lignes de production comme l'acheminement depuis les stocks vers la ligne de production des matières premières et des consommables, les allées et venues vers différents ateliers des produits semi-finis et même l'évacuation des produits finis vers un stock en attente d'expédition aux centres de distribution.

Le développement des voitures autonomes est freiné par la difficulté de mettre au point des lois de commandes tenant compte de tous les cas possibles, mêmes les cas extrêmes. Au sein d'un entrepôt, la logique est beaucoup plus simple, face à des circonstances extraordinaires ou en cas d'anomalie, le cobot va s'arrêter et un être humain prendra la décision à la place du cobot.

QUELLES SOLUTIONS POUR QUELLE LOGISTIQUE ?

Ainsi, de même qu'il est très peu probable de confondre une calculette, un calculateur, un ordinateur et un smartphone, même s'ils permettent tous les quatre de faire des calculs, mécanisation, automatisation, robotisation et cobotisation décrivent des **modes de production bien différents**. Et chacun d'entre eux peut répondre à des problématiques spécifiques.

La mécanisation permet de gérer des flux importants à moindre coût comme par exemple le convoyage de charges d'un point A vers un point B. En amont et en aval de la mécanisation, des opérateurs géreront les flux.

Une automatisation simple permet à partir d'un simple automate d'enchaîner différentes tâches comme convoyage et tri.

Une automatisation plus complexe permet de piloter un ensemble d'automates et de gérer les flux entre ces automates. Certains automates pouvant être dédiés au stockage de palettes, d'autres au stockage de colis fermés ou de bacs,

d'autres aux convoyages, à la mise en forme de colis, à la fermeture de colis.

La robotisation permet de gérer des processus plus complexes de manière plus autonome : la palettisation de colis, la préparation par couches, ou le déplacement d'unités de manutention par des véhicules autonomes en zone fermée. Cette robotisation nécessite, comme l'automatisation, des zones mécanisées fermées aux opérateurs et ouvertes aux seuls personnels de maintenance. Le schéma des flux est défini et chaque robot évolue dans un environnement prévu.

La cobotisation et la robotisation permettent une plus grande flexibilité et évolutivité par rapport à la mécanisation et l'automatisation. En effet, le parcours d'un robot autonome ou d'un cobot peut évoluer, pas celui d'un convoyeur. Mais la cobotisation permet en plus des mouvements entre plusieurs espaces où évoluent également des opérateurs. Les processus sont ainsi beaucoup plus évolutifs.

Dans un entrepôt, il sera possible de mixer ces différents niveaux en fonction des caractéristiques des processus et des objectifs souhaités. Par exemple :

- Mécanisation du déchargement des palettes depuis l'intérieur des camions en provenance des usines sur les quais de réception avec convoyeurs à chaînes (sans aucun lien avec les autres mécanisations).
- Contrôle manuel de la réception sur les quais.
- Automatisation simple du flux de palettes après le contrôle réception vers le stockage.
- Automatisation complexe des flux de palettes et de colis dans des transstockeurs de palettes (stockage automatisé avec des racks de palettes, un mât qui se déplace sur un rail le long des racks, d'une nacelle qui monte et descend le long du mât et d'un système de préhension des palettes) et des transtockeurs mini-loads (stockage automatisé avec des racks de colis), préparation à la palette homogène (une seule référence unique sur la palette) ou au colis homogène (une seule ré-

férence dans le colis), réapprovisionnement de la zone de préparation unitaire.

- Robotisation de la préparation unitaire avec des solutions de type Exotec (voir ci-après).
- Robotisation de la palettisation client avec des colis homogènes en provenance des mini-load et des colis hétérogènes (plusieurs références différentes dans le colis) en provenance de la préparation unitaire Exotec.
- Chargement manuel des palettes dans les camions.

LES PRINCIPALES FAMILLES DE ROBOTS POUR LA LOGISTIQUE ?

Les robots de type bras articulés



Source Kuka

Ces robots avec des bras articulés sont présents sur toutes les chaînes industrielles. Ces robots peuvent assez facilement s'adapter à la logistique. Ils sont généralement immobiles mais peuvent être mis également sur des rails ou des chariots.

Les robots de type AGV (Automatic Guided Vehicle)



Source : Elettric80 (sur la photo un LGV pour Laser Guided Vehicle)

Les **AGV** ont un système de navigation externe et sont donc dépourvus d'intelligence propre.

L'intelligence de ces machines provient d'un système tiers, un ordinateur central, qui leur envoie les ordres de mission et de navigation. Pour se déplacer, ils utilisent des technologies de type filoguidage : **ils suivent un rail, un laser ou un fil** (enterré ou noyé dans le béton et générant un champ magnétique ou des impulsions électromagnétiques). Le type de guidage dépend des installations actuelles, de la configuration de l'entrepôt et du niveau de flexibilité désiré. Ces types de robots gardent ainsi une autonomie très réduite et leurs déplacements sont limités par l'installation fixe des systèmes de guidage. De plus, ces robots évoluent dans un environnement fermé sans interaction entre les hommes et les machines. En cas de détection d'anomalies, les AGV s'arrêtent et attendent l'opérateur de maintenance.

Les robots de type AMR (Autonomous Mobile Robot)



Source : MIR

Les robots dont **l'intelligence et le système de navigation sont « on board »**, c'est-à-dire que les ordres de mission et de navigation ne sont plus envoyés depuis un système central mais proviennent des robots eux-mêmes. Ce sont les **AMR**.

Grâce à la combinaison de leur carte de navigation interne et de divers capteurs (caméras, lasers...), ils se repèrent et se déplacent dans un

environnement contraint ou non. Ils sont en effet capables d’interagir avec des opérateurs, de s’arrêter et de contourner un obstacle.

Figure 2. Principales différences entre AGV et AMR

	AUTOMATED GUIDED VÉHICULES (AGV)	AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS (AMR)
NAVIGATION	Infrastructure de navigation « externe » : par fils, rails, lasers, radio télécommandé.	Infrastructure de navigation « interne » : tous les capteurs de direction sont « on board ». Le robot se guide dans l’environnement de manière autonome.
OBSTACLES	Tout obstacle arrête le parcours de l’AGV qui n’est pas en mesure de le contourner ou de l’éviter.	Le robot est capable de contourner l’obstacle et trouve le chemin, le meilleur chemin selon sa carte interne.
FLÉXIBILITÉ	Chaque nouvelle infrastructure ou nouveau chemin doit être paramétré et installé centralement.	Implémentation avec facilité de nouvelles cartes et de nouveaux chemins même dans un environnement totalement différent.
MODULARITÉ	Possibilité par une action humaine de changer ou d’ajouter une fonctionnalité ou un module à l’AGV.	Toute nouvelle fonctionnalité ou nouveau module est géré « on board » par le software du robot.
CHARGEMENT	Station de chargement.	Station de chargement.

Les robots de type cobot

Le terme cobot vient de la contraction entre « robot » et « collaboratif ». Le cobot est conçu pour interagir avec les êtres humains dans un même espace de travail.

Le cobot est un assistant, il peut être conçu à partir de robots avec des bras articulés ou à partir d’AMR.

Les principales innovations techniques sont :

- Mécanique comme les robots 6 axes capables de ramasser un objet au sol et de le donner à un humain à hauteur de hanche.
- La technologie tactile.

- La technologie mobile.
- La technologie de détection d’obstacle ou de mouvements à proximité afin de réaliser les évitements.
- La vision artificielle permettant la prise en compte de l’environnement, notamment de bras humains par exemple.

Les principales innovations informatiques sont :

- La logique d’apprentissage par démonstration, un être humain exécute plusieurs fois la tâche, le robot apprend, puis réalise la tâche à la place de l’humain.

- La logique d'apprentissage seul avec des algorithmes d'IA ou de deep learning.
- L'informatique cognitive (à partir du langage humain, de bases de données, de schémas ou dessins et d'auto-apprentissage).
- La logique de programmation par les opérateurs (et non par les programmeurs ou la maintenance).



Source : Fanuc

LES PRINCIPAUX OUTILS INFORMATIQUES POUR LA LOGISTIQUE AUTOMATISÉE OU ROBOTISÉE

Dans la quasi-totalité des entrepôts, la gestion des opérations manuelles est faite par un module de l'ERP ou par un logiciel de gestion d'entrepôt. Cet outil est appelé WMS (Warehouse Management System).

L'automatisation nécessite la présence d'automates avec leurs outils de Système d'Information, les PLC (Program Logic Controller) et les outils de gestion en temps réels de plusieurs automates, les WCS (Warehouse Control System).

La robotisation nécessite la présence de gestionnaire de robots comme par exemple des AGV Managers.

L'architecture classique est la suivante :

- L'ERP gère les commandes d'achats et les

commandes clients et la disponibilité des stocks. L'ERP est interfacé avec le WMS.

- Le WMS gère les opérations manuelles en entrepôt comme les réceptions, les préparations et les expéditions. Le WMS est interfacé avec le WCS de l'équipementier majeur ou avec les WCS des différents équipementiers.
- Le WCS gère les flux d'unités de manutentions dans l'entrepôt. Le WCS est interfacé avec les automates PLC et les gestionnaires de flotte de robots AGV Manager.
- L'automatisation nécessite également un outil SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition, pour piloter et contrôler les états de fonctionnement des équipements. Ce dernier outil est interfacé avec le WCS.
- Les outils de gestion de la maintenance GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur), peuvent être gérés seuls ou en interface avec les WCS.

2.

LES RETOURS D'EXPÉRIENCES DE ROBOTISATIONS INTRA-LOGISTIQUES

LA ROBOTISATION PEUT S'ADAPTER À LA QUASI-TOTALITÉ DES OPÉRATIONS EN ENTREPÔTS

Pour la réception, les processus concernés sont :

- Le déchargement de conteneurs, avec des robots qui prennent les colis et les déposent sur un convoyeur.
- Le déchargement de camions, avec des AGV (véhicules autonomes) qui prennent les palettes et les acheminent vers des stockages intermédiaires.
- La palettisation suite à la réception.

Pour le stockage et le réapprovisionnement, les processus concernés sont :

- La mise en stock avec du stockage au sol, en allées larges ou étroites.
- Le prélèvement pour le réapprovisionnement.
- L'acheminement dans les emplacements de picking par des AMR (robots mobiles autonomes).

Pour la préparation :

- Multishuttle (système à navettes) de préparation.
- AMR (pilotant des armoires, soulevant des bacs).
- Autostore (système de stockage compact avec empilement de bacs).
- Assistant de picking avec acheminement du colis client en face de l'emplacement de picking.
- Bras articulés de préparation.

Pour l'expédition :

- Robots de palettisation.
- Robots de tri des colis en expédition.

Pour les opérations à valeur ajoutée logistiques :

- Robotisation de la dépose de documents / échantillons dans les colis.
- Robotisation de la différenciation retardée.

Ci-après nous allons présenter les processus logistiques les plus aisés à robotiser et les types de robots associés

LES ROBOTS DE DÉCHARGEMENT DE CONTENEURS SONT EN PHASE PILOTE



Source : MIR

Dans un entrepôt manuel, le déchargement de conteneurs est une tâche difficile. L'été, sous le soleil, la chaleur à l'intérieur des containers peut atteindre 60 degrés. L'hiver, sous la neige, la température ressentie est largement négative.

Afin de maximiser le nombre de colis à l'intérieur, les colis sont vraiment serrés du sol au plafond. Prélever le premier colis au niveau du toit est difficile et nécessite à l'opérateur d'être surélevé, ceci étant susceptible de créer des accidents. Prélever le dernier colis au niveau du sol nécessite de se baisser et est susceptible de créer des TMS.

Les solutions semi-automatiques avec ventouse et convoyeur télescopique équipés de lumière et de ventilation permettent de limiter la pénibilité. Les premières solutions robotisées de déchargement automatique des colis sont sur le marché. Le robot prélève les colis dans le conteneur pour les déposer sur un convoyeur.

Un concept prometteur est celui de l'équipementier Copal.

LES ROBOTS DE PALETTISATION SONT TRÈS LARGEMENT RÉPANDUS

Dans un entrepôt avec une gestion manuelle, le poste de palettisation est le poste à la pénibilité la plus forte. Ce poste consiste à regrouper tous

les colis qui ont été préparés par les opérateurs sur des palettes à destination des transporteurs.

La pénibilité de ce poste est particulièrement élevée, lorsque ce poste est opéré de manière classique :

- Prise à niveau de hanche sur convoyeur ou chariot.
- Marche avec les colis vers la palette de destination (plus ou moins de pas selon le tri nécessaire).
- Poids soulevés par jour par un seul opérateur égal au poids soulevé par tous les préparateurs de commandes.
- Dépose sur une palette au sol pour le premier colis.
- Éventuelle torsion selon l'ergonomie du poste.
- Dépose au-dessus des épaules pour le dernier colis.
- Peu d'arrêts possibles car sinon les colis s'accumulent sur les convoyeurs.

Dans certains entrepôts, ces postes sont réservés aux intérimaires, ce qui n'est évidemment pas une bonne solution.

Ces robots de palettisation sont proposés par tous les grands équipementiers qui les fabriquent directement ou qui intègrent ces produits depuis des équipementiers plus petits.

Différentes techniques existent et doivent être adaptées à la forme des colis :

- Bras articulés permettant la palettisation sur 5 à 6 positions.
- Systèmes de poussoirs et de positionnement produit qui évitent la préhension du colis par une ventouse.
- Positionnement du robot en hauteur sur une mezzanine avec filmage immédiat lors de la descente de la palette afin de stabiliser la palettisation avant tout mouvement.
- Puits de palettisation semi-automatique avec un opérateur positionnant certains produits (en cas de très forte hétérogénéité des formes).

Ces robots permettent de palettiser en tenant compte des caractéristiques suivantes des colis / des produits :

- Les poids.
- Les dimensions.
- Les formes (y compris non parallélépipédiques).
- Les capacités à glisser.
- Les capacités à être sous d'autres produits.
- ...

Ces robots, avec des séquenceurs de colis / produits en amont, permettent d'améliorer le service client car ils permettent de prendre en compte dans l'organisation de la palette :

- Le poids des produits (ce qui évite d'avoir des palettes instables et/ou des produits écrasés ou abîmés).
- La famille produit.
- L'ordre propre du rayon de chaque magasin (ce qui facilite le rangement en rayon - gain d'environ 20% des coûts logistiques en magasin).



Les principaux équipementiers sont : SSI Schaefer, Dematic, B2A, Witron, TGW, Fives, ABB, KUKA, FANUC, Universal robots, Etc.

ROBOTS MATURES DE PRÉPARATION À LA COUCHE PALETTE



Dans un entrepôt avec une gestion manuelle, la préparation à la couche palette se déroule comme suit :

- L'opérateur prend un chariot de préparation de commandes (pour préparer une ou deux et très rarement trois palettes à la fois).
- L'opérateur dépose des palettes bois vides sur les fourches de son chariot.
- L'opérateur se déplace vers un emplacement de picking.
- Il descend du chariot de commande.
- Il prélève sur la palette une couche colis, en se penchant, en soulevant les masses et en les positionnant sur la palette de son chariot (la première couche est la plus pénible !).
- Il se dirige vers un deuxième emplacement et reproduit la prise de la couche palette...

La robotisation est simple :

- La palette de stock est transportée à proximité du robot par un opérateur ou un AGV.
- Le robot prélève toutes les couches en une seule opération.
- Le robot dépose la couche sur une palette client (selon les installations : de 3 à 20 palettes clients).
- Les palettes de stock et les palettes clients sont évacuées par un opérateur ou par des AGV.

Les équipementiers fournissant la palettisation de colis sont généralement capables de fournir la palettisation à la couche palette.

LA MISE EN STOCK ROBOTISÉE AU SOL, EN ALLÉES LARGES OU EN ALLÉES ÉTROITES EST EN FORTE EXPANSION

Mise en stock robotisée au sol



Source : B2A

Dans un entrepôt manuel, de nombreuses ruptures de charges sont nécessaires notamment entre certains processus :

- Stockage temporaire au sol entre réception et rangement.
- Stockage temporaire au sol ou en stockage avancé en rack entre réapprovisionnement et préparation.
- Stockage temporaire au sol ou dans un buffer (stockage temporaire) de palettes entre préparation et expédition.
- ...

Ces stockages temporaires peuvent concerner les flux de produits mais également les flux de consommables.

Tous ces mouvements et ces stockages peuvent être gérés au sol par de simples AGV.

MISE EN STOCK ROBOTISÉE EN ALLÉES LARGES

Le stockage se fait dans des racks séparés par des allées faisant entre 3 et 4 mètres permettant le croisement d'engins.

Dans un entrepôt manuel, des produits doivent être stockés en masse pour des périodes relativement courtes :

- Stockage de consommables.
- Stockage de produits à très fortes rotations.
- Stockage intermédiaire.
- ...

Ces stockages nécessitent souvent un nombre de places relativement peu élevé (capacité statique faible) mais un nombre de mouvement très élevé (capacité dynamique élevée), soit la présence de plusieurs chariots dans les allées.

Tous ces mouvements et ces stockages peuvent être gérés dans des allées larges par des AGV.



Source : Jungheinrich

MISE EN STOCK ROBOTISÉE EN ALLÉES ÉTROITES

La gestion en allées étroites permet, pour une cellule de stockage, d'avoir plus d'allées dans la cellule et donc plus de palettes, mais les chariots ne peuvent pas se croiser ni se doubler.

Hors quai, pour une cellule d'environ 4 000 m² d'une hauteur d'environ 10,5 mètres, la cellule peut contenir environ 5 800 palettes sur 5 niveaux en allées étroites au lieu d'environ 3960 palettes en allées larges.

Dans un entrepôt manuel, des produits doivent

être stockés en masse pour des périodes relativement longues :

- Stockage de produits à très faibles rotations.
- Stockage de produits en très grand nombre avec consommation faible.
- ...

Ces stockages nécessitent souvent d'essayer d'optimiser la surface au sol. Les allées doivent être les plus étroites possibles avec une hauteur sous plafond les plus élevées possibles.

Ces stockages nécessitent souvent un nombre de places relativement élevé (capacité statique forte) mais un nombre de mouvements assez faible (capacité dynamique faible), soit la présence d'un maximum d'un ou deux chariots par cellule.

Tous ces mouvements et ces stockages peuvent être gérés dans des allées étroites par des AGV. Pour une meilleure rentabilité, ces chariots devront anticiper la charge et travailler en 3x8.



Source : chariot-automatique-agv.com

Depuis très récemment, tous les fournisseurs de chariot sont devenus capables de fournir des AGV.

Pour tout ce qui est stockage et convoyage, les principaux équipementiers sont : Dematic (groupe Kion), SSI Schaefer, Jungheinrich, Elettric80, B2A, Roca,...

LES ROBOTS PORTEURS D'ARMOIRES SONT EN LARGE DIFFUSION POUR LA PRÉPARATION UNITAIRE AVEC DES RÉFÉRENTIELS TRÈS LARGES

Dans un entrepôt manuel, pour de la préparation de détail avec de très nombreuses références (ex : e-commerce), les produits doivent être stockés dans des étagères :

- Plus le nombre de produits est élevé, plus la surface au sol est importante.
- Les opérateurs doivent marcher d'un emplacement à l'autre au sein d'une immense surface.

Dans l'entrepôts robotisé :

- Les produits sont dans des armoires.
- Les robots se positionnent sous l'armoire.
- Les robots transportent l'armoire vers un poste opérateur.
- L'opérateur ne se déplace pas, les robots viennent à lui.
- Les robots rangent ensuite les armoires dans un stock massifié.



Source : Amazon robotics

A partir d'environ 1 000 lignes de commandes à préparer dans la journée, le ROI est atteint par

l'accroissement de la productivité et le gain en surface.

Le leader de ces solutions est bien évidemment Amazon Robotics. Une société chinoise (Geek+) et une société française (Scallog) déploient.

Les principaux équipementiers sont : Amazon Robotics, Scallog, Swisslog, Greyorange, Geek+, Quicktron, Bleum, Eiritech, Hikvision,...



Source : Scallog

LA ROBOTISATION DE LA PRÉPARATION UNITAIRE DANS DES BACS RÉVOLUTIONNE LE MARCHÉ E-COMMERCE

Exotec, un équipementier français, propose une solution innovante permettant de maximiser les deux éléments clés de la robotisation d'Amazon, l'espace et la productivité.

Les robots transportent des bacs de stock aux opérateurs. Le stockage des bacs se faisant dans des racks. L'innovation remarquable est que les robots sont capables de monter dans les racks !

Le succès est autant technologique que commercial et séduit de très nombreuses entreprises. L'entreprise française a ainsi vendu ses robots au Japon à la marque Uniqlo !

Lorsque la place est limitée, le concept d'Auto-store permet de densifier au maximum le stock. Ce concept est adapté aux agglomérations où le prix du m² est élevé et où la proximité est importante (ex : drive e-commerce).

Le concept permet d'entasser les bacs. Les robots sont positionnés sur le dessus d'une grille, et, à l'aide de tiges en métal, ils soulèvent les bacs pour les acheminer vers des postes de Goods to Person.





Source : Autostore

Ces différentes solutions sont présentes dans le e-commerce alimentaire et non alimentaire : Ocado, Carrefour, Leclerc, Cdiscount,...

Les principaux équipementiers (avec des solutions voisines) sont : Exotec, Autostore, Ocado, Storojet, Geek+ (trois niveaux),...

LA COBOTISATION DANS LA PRÉPARATION UNITAIRE EST ÉMERGENTE



Source : Locus

Dans les entrepôts où les flux sont peu importants et le nombre de références assez élevé, la préparation manuelle est peu productive :

- Avec un nombre élevé de références, le chemin de picking est long.
- Avec un faible nombre de commandes, les déplacements des opérateurs entre deux pickings sont conséquents.

- La productivité devient assez faible (environ 60 picks à l'heure et par personne contre 400 picks à l'heure et par personne pour des fortes rotations avec peu de références).

Avec la cobotisation :

- Les cobots se déplacent seuls dans l'entrepôt.
- Le cobot va donc venir se positionner devant l'étagère de picking, allumer une lumière et attendre que l'opérateur de la zone effectue la tâche de picking ; les opérateurs restent dans leur zones.
- Les opérateurs se positionnent près des robots pour effectuer les pickings.
- La productivité peut être facilement multipliée par deux.

Plusieurs entreprises aux Etats-Unis utilisent ces systèmes : Nestlé, Unilever, Mondelez, Tata,...

Les principaux équipementiers sont : SSI Schaefer, Locus, Ifollow (pour rolls, palettes ou supports spécifiques), 6 River system (Lockheed Martin).

LA COBOTISATION DANS LA PRÉPARATION DE COLIS EST ÉGALEMENT ÉMERGENTE



La préparation de colis peut également faire l'objet de cobotisation. Ainsi la société Boston-Robotics proposent un cobot « à deux jambes » capable de prélever des colis et de les déposer sur une palette.

L'équipementier allemand Magazino dispose d'un robot ayant la même fonction de picking mais pour des boîtes de chaussures.

Contrairement à Boston Robotics, pour réaliser ce processus de préparation colis, les équipementiers proposent plutôt des solutions où des opérateurs / AGV / convoyeurs acheminent des palettes vers des bras articulés de préparation de palettes avec des colis : Boston Robotics, SSI Schaefer, Dematic, Witron, TGW, Fives, ABB, KUKA, FANUC, Universal robots, Fives,...

LE ROBOT DE PICKING UNITAIRE EST EN PHASE PILOTE AVEC UN MARCHÉ POTENTIEL DE DIZAINES DE MILLIERS D'EXEMPLAIRES



Source : revue Stratégies Logistique

Cette robotisation est très peu déployée, elle n'est pas encore complètement mature. Le potentiel est considérable, certainement aussi important que tous les autres robots réunis !

Le principe est le remplacement d'un opérateur à un poste de Goods to Person par un bras articulé, soit la possibilité de faire fonctionner la préparation en entrepôt avec quasiment aucun opérateur.

Selon la revue Stratégies Logistique : « Nomagic a testé sa technologie mêlant intelligence artificielle et robotique avec CDiscount, en intégrant l'incubateur The Warehouse et en mettant à l'épreuve son bras articulé dès 2018 dans l'entrepôt de Cestas en Gironde.

Devenu depuis avril dernier, un prestataire de Cdiscount, Nomagic touche une rémunération

corrélée à la productivité : plus la cadence est élevée, plus les recettes sont importantes.

Le défi pour Nomagic consiste donc aujourd'hui à apprendre à son robot à dépasser la cadence de l'être humain (soit 250 objets par heure) car il sait déjà attraper des produits aux formes aléatoires grâce à un système de ventouse et les déposer sur un tapis.

Le Cobot de picking avec un bras articulé serait une solution qui pourrait, dans la quasi-totalité des entrepôts, remplacer les opérateurs.

IAMrobotics propose un bras articulé positionné sur un AMR pour le concept AMMR (Autonomous Mobile Manipulation Robot).



Source : revue Stratégies Logistique

Comme pour Nomagic, le challenge est d'atteindre la productivité humaine pour des prélèvements unitaires de produits hétéroclites.

EN EXPÉDITION, LA ROBOTISATION PERMET DE REMPLACER LES TRIEURS D'EXPÉDITION TROP RIGIDES

Pour Alibaba en Chine, la problématique était le tri dynamique des colis en expédition par camion afin de minimiser les coûts de transports.

Le processus robotisé est le suivant :

- Un opérateur dépose un colis sur un robot.
- Le robot se déplace vers la bonne goulotte.
- Le robot fait basculer le colis dans la bonne goulotte.
- Chaque goulotte correspond à une destination.
- Le robot revient vers un opérateur.



Source : Alibaba

Dans la plupart des entrepôts, ces tris de colis sont réalisés par de simples convoyeurs si le nombre de sorties différentes est faible, ou par des trieurs généralement de type Shoe Sorter ou Cross Belt en cas de très fortes activités.

Par rapport aux trieurs, ce tri se fait à deux niveaux, au niveau supérieur les opérations robotisées et au niveau inférieur le stockage par destination. Le gain de place est très conséquent (surface d'expédition pouvant être divisée par deux).

LA COBOTISATION DES VALEURS AJOUTÉES EN LOGISTIQUE PAR DES COBOTS INDUSTRIELS

Dans certains cas, il est préférable de procéder à une différenciation par client au niveau de la logistique. Ainsi la production produit des références standards, l'adaptation au client se faisant dans la logistique.

Les robots collaboratifs peuvent participer à cette différenciation retardée comme, par

exemple : ajout d'étiquettes prix ou étiquette de colisage, ajout d'éléments de traçabilité, impression sur le colis d'éléments de sécurité ou marketing, constitution de lots, ajout d'un emballage spécifique...



Source : Universal-Robot

Selon Universal-Robot : « La robotique collaborative offre également plus de sécurité aux entreprises. En effet, les cobots ne nécessitent pas de cage de sécurité. Leur faible cadence leur permet de travailler sans heurt aux côtés des opérateurs humains dans un même espace de travail. Plus précisément, ils sont munis de capteurs de force-couple pour observer leur environnement et éviter ainsi les chocs et les collisions potentielles avec les employés en s'arrêtant automatiquement en cas d'intrusion dans leur espace. Ils peuvent également travailler dans des environnements de salle blanche ou tout autre environnement sécurisé ou décontaminé. L'entreprise ne prend donc aucun risque sanitaire ou humain à se lancer dans un projet d'automatisation et n'a pas besoin d'investir dans des solutions de sécurité. »

« La cobotique, avec un coût d'investissement inférieur à celui des robots industriels et un **retour sur investissement plus rapide**, est particulièrement indiquée pour les **TPE** et **PME**, qui étaient autrefois incapables de s'automatiser, à cause du prix des robots. De même, elle est par ailleurs très **accessible pour les employés** non-initiés à la programmation. Des formations rapides en ligne (via l'Universal Robots Academy), ainsi que des programmes

taillés sur mesure permettent à tout à chacun de programmer et piloter un cobot en un temps record. Il n'est alors plus obligatoire de recruter un spécialiste métier. »

LE ROBOT AMR PEUT ÉGALEMENT S'ADAPTER À TOUT TYPE DE PROCESSUS !

Les robots AMR (robots mobiles autonomes) sont des véhicules autonomes sur lesquels il est possible de poser toute sorte de mécanique :

- Système pour lever une armoire.
- Système de prise et de dépose de bacs.
- Système à plateau pour faire basculer des colis.
- Système avec possibilité d'avoir des rouleaux.
- Système permettant de mettre à niveau des bacs avec un bras élévateur.
-

Plusieurs sociétés comme Geek+ ou Quicktron développent de nouvelles générations d'AMR avec des mécanismes différents adaptés sur les robots. Les grands équipementiers traditionnels sont en train de développer leurs propres offres.

Les équipes projets en logistique ne doivent plus seulement parcourir les salons pour connaître les nouveaux robots mais réfléchir à ce qu'ils souhaitent robotiser. Les équipementiers d'AMR fourniront les solutions.

Ces robots sont également particulièrement adaptés pour la logistique en usine autour des lignes de production. Ceux-ci peuvent acheminer tout type de matière première et de consommables vers les lignes de production, quitte à alimenter automatiquement les robots de production. Ils peuvent également gérer des flux complexes de produits semi-finis avec des orientations entre différents ateliers (dont cuissons, ajout de composant, peintures différenciées, emballage,...). Pour les flux d'évacuation des produits finis, généralement palettisés automatiquement, la plupart des industriels préfèrent mettre en œuvre des AGV qui, par exemple dans la brasserie, peuvent évacuer 4 palettes à la fois.

Les principaux équipementiers d'AMR sont : Universal robots, B2A, Geek+, Greyorange, Quicktron, Swisslog, Omron, MIR, fetch robotics, Siléane...



3.

LES BONNES PRATIQUES D'AUTOMATISATION ET ROBOTISATION COMBINÉES SELON LES UNITÉS DE MANUTENTION

L'AUTOMATISATION OU ROBOTISATION DES FLUX PALETTES OU DE PRODUITS HORS FORMATS EST AISÉE

Flux de palettes en sortie de ligne

Les flux de palettes en sortie de ligne de production peuvent très facilement faire l'objet d'automatisation ou de robotisation.

Le ROI sera d'autant plus favorable que les flux seront en 3x8.

Afin de gagner de la place, le stockage après production pourra se faire sur des bâtiments autoportés de grande hauteur. Selon les rapports entre capacité statique (nombre de places de stocks nécessaires) et capacité dynamique (nombre de mouvements d'entrées / sorties aux heures de pointes), différentes technologies sont possibles :

- Transstockeur simple si la capacité statique est importante par rapport à la capacité dynamique.
- Multishuttle palettes avec des robots à chaque niveau si la capacité dynamique est importante par rapport à la capacité statique.



- Préparation et chargement en palettes homogènes

La préparation de camions en palettes homogènes (même avec 33 références différentes) pourra se faire automatiquement. Plus le plan de chargement du camion sera complexe, afin de respecter l'équilibre des charges pour le poids à l'essieu, plus la capacité dynamique nécessaire sera importante et pourra nécessiter un séquenceur en sortie.

- Entrepôts gérant essentiellement des flux palettes

Les entrepôts logistiques continentaux ou nationaux gèrent des flux depuis les lieux de production (souvent en Asie) vers les centres de distributions régionaux. Il s'agit de flux de palettes homogènes ou de flux de produits hors format (supérieur à 100x120) pour des flux B2B.

Dans ces entrepôts continentaux, les conteneurs en provenance des pays de production seront déchargés puis palettisés par des systèmes robotisés. Ces palettes pourront faire l'objet de mise en stock robotisée comme en fin de lignes de production. Dans cette logistique palette, les AGV permettent d'utiliser des bâtiments traditionnels en allée larges ou allées étroites selon le rapport entre capacité dynamique et capacité statique. Par rapport à des transstockeurs ou des Multishuttles palettes, la mise en stock robotisée nécessite des niveaux d'investissement beaucoup plus faibles mais le nombre de M² est supérieur (la hauteur des bâtiments est limitée par la hauteur maximale de dépose des AGV).

Tous les produits dont la palettisation est supérieure aux palettes standards européennes de 100x120 ou 80x120 peuvent faire l'objet de robotisation. La contrainte sera l'adaptation des AGV ou des transstockeurs aux formats des produits (par exemple : box de pneus pour l'automobile ou box de pièces détachées).

UNE AUTOMATISATION / ROBOTISATION MATURE DES FLUX COLIS

Pour les entrepôts gérant des flux de colis

complets, généralement en B2B, l'automatisation est également mature.

L'une des questions majeures est toujours de décider s'il faut stocker directement en colis ou faire un stockage intermédiaire en palettes ?

Dans tous les cas, la solution est un couple automatisation / robotisation :

- Le stockage, stockage intermédiaire et le séquençage des colis se font dans une automatisation avec un Mini-Load (stockage en racks avec des mâts 2D de dépose et prise des colis) ou un Shuttle de colis (stockage en racks avec des ascenseurs et des navettes à chaque étage). Le choix de l'automatisation dépend toujours des rapports entre capacités statiques et dynamiques
- Si les produits ont des formats non parallélépipédiques, les colis pourront être déposés sur des plateaux
- La palettisation est robotisée selon le format des colis.



Source : TGW (mini-load colis ou bacs)

Cette automatisation robotisation aura un très bon ROI si les commandes en colis complets représentent une part importante des commandes.

UNE ROBOTISATION / COBOTISATION DES FLUX UNITAIRES EN PLEIN ESSOR MÊME POUR LES PETITES INSTALLATIONS

Cette robotisation / cobotisation concerne essentiellement les flux B2C. La robotisation du prélèvement unitaire à la pièce n'est pas mature. Tous les équipementiers connaissent les enjeux d'une telle robotisation, de nombreux projets sont en cours. La difficulté est dans l'hétérogénéité des produits.

Amazon a annoncé que d'ici quelques années cette solution sera déployée dans ses entrepôts. Celle-ci permettra à Amazon de créer des entrepôts sans opérateurs avec uniquement des robots, des techniciens de maintenance et des pilotes de flux.

La solution actuelle la plus répandue est celle d'une automatisation / robotisation avec des postes Goods to Person manuels et une séparation physique entre la zone des robots et la zone humaine.

ADAPTER LES ÉQUIPEMENTS À LA TAILLE ET AUX TYPES DE FLUX

Notre conviction :

- Pour les grosses installations, une préparation automatisée avec des Multishuttles.
- Pour les petites installations, une différence important existera entre Europe et Asie :
 - En Europe, une préparation robotisée avec des zones séparées entre humains et robots du fait de la réglementation actuelle (et la méconnaissance des organisations de contrôle).

- En Asie, une préparation cobotisée avec des zones communes.

En Europe, la cobotisation concernera essentiellement les convoyages de colis et palettes ainsi que les tris en expédition.

LA PRESSION DES COÛTS DU E-COMMERCE SUR L'AUTOMATISATION / ROBOTISATION

Dans une logistique de distribution au colis complet, l'acheminement du colis coûte environ 40 centimes, préparation sur palette et transports en camions complets compris. Pour un colis contenant une dizaine d'articles, le coût à l'article est ainsi d'environ 4 centimes.

Pour une logistique e-commerce, le coût de préparation pour une commande de 4 articles est d'environ 4 euros, transport dernier kilomètre compris. Le coût à l'article est donc d'environ 1 € soit 25 fois plus !

- Avec 1% de e-commerce, le coût de distribution à l'article est de 5 centimes.
- Avec 20% de e-commerce, le coût de distribution à l'article est de 23,2 centimes.

La part de la logistique e-commerce grandit. Les coûts logistiques explosent.

Pour limiter l'augmentation des coûts logistiques liée à la croissance du e-commerce, les directions générales sont incitées à robotiser les flux B2C dès que ces derniers dépassent les 500 commandes par jour. Face aux ROI de cette robotisation, les directions souhaitent également robotiser les flux B2B afin d'augmenter l'efficacité de tous les flux Supply Chain.



THE ROLLERS

4.

DÉMÊLER LE VRAI DU FAUX SUR LES PROJETS D'AUTOMATISATION ET DE ROBOTISATION

SI MON AUTOMATISATION TOMBE EN PANNE, TOUTE MON ACTIVITÉ SERA PARALYSÉE.

FAUX

et

VRAI

Les automatisations tombent en panne, le taux de disponibilité des équipements n'est jamais de 100%. Les sites les plus performants ont des disponibilités voisines de 98% à 99%. **L'installation mécanique peut connaître des avaries** comme des convoyeurs à l'arrêt, des ascenseurs bloqués... Et **le logiciel gérant tous les mouvements sur la mécanisation, le WCS (Warehouse Control System), peut lui aussi faire face à des bugs informatiques.** En cas de panne mineure, seule une partie de l'activité sera impactée. Mais en cas de panne majeure, toute l'activité peut être momentanément à l'arrêt. C'est pourquoi il est nécessaire de mettre en place un **système élaboré de supervision et de maintenance préventive** pour limiter les pannes mineures et empêcher les pannes majeures. Pour mettre cela

en place, il est indispensable de faire monter en compétences, bien évidemment, le personnel de maintenance mais aussi le personnel opérationnel qui pourra plus rapidement remonter les avaries ou les bugs.

Cependant, **de nombreuses solutions d'automatisation ont déjà été largement éprouvées** et ont su prouver leur résilience face aux pannes. MEKAPHARM propose l'automate APOTEKA aux pharmacies depuis les années 90. KNAPP a créé le premier système de stockage automatisé à navettes, l'OSR shuttle, en 2002. De plus, **les Service Level Agreement sont de plus en plus engageants pour les équipementiers.** Les équipes de maintenance sont le plus souvent sur site et disposent de stock de pièces de rechange, ce qui leur permet de réagir très rapidement en cas de panne. Cela a évidemment un coût de 4% à 10% du prix d'acquisition par an selon les automatisations. Toutes ces actions combinées permettent de faire chuter drastiquement les durées d'indisponibilité des systèmes automatisés, notamment des arrêts d'exploitation supérieurs à une demi-journée.

Il est également possible d'imaginer des problèmes tout à fait similaires dans un entrepôt manuel. En effet, **les logiciels de gestion d'entrepôt, WMS (Warehouse Management System), sont eux aussi susceptibles de tomber en panne**, bloquant ainsi toute l'activité d'un entrepôt sans aucune automatisation. Le mode SaaS est de plus en plus utilisé dans le cadre de la digitalisation de la supply chain ; en conséquence, toute panne de réseau pourrait être la cause de l'arrêt de l'activité d'un entrepôt manuel. En comparaison, une panne sur un système automatisé n'est pas si effrayante si elle est bien encadrée. L'avantage de la robotisation par rapport à l'automatisation est que dans une flotte de robots, il est peu vraisemblable qu'ils tombent en panne tous ensemble !

Une maintenance de qualité permet toujours de limiter les heures d'indisponibilité.

SEULS LES PLUS GROS SITES LOGISTIQUES PEUVENT ÊTRE AUTOMATISÉS OU ROBOTISÉS DU FAIT DES NIVEAUX D'INVESTISSEMENTS.

FAUX

Le secteur pharmaceutique a prouvé depuis de nombreuses années que l'automatisation s'adapte à de petites structures. L'e-commerce prouve actuellement la pertinence de petits centres de préparation de commandes automatisés.

Des solutions d'automatisation ont été développées pour les pharmacies dès les années 1990 et ont connu un véritable engouement au début des années 2000. En effet, **l'automatisation répond exactement aux deux enjeux majeurs des pharmacies** : gérer un large stock sur une surface très limitée et avoir une traçabilité irréprochable des médicaments. L'automatisation

permet d'accroître la densité de stockage en augmentant la hauteur des étagères et en diminuant la largeur des allées puisque ce sont des robots et non plus des hommes qui accèdent à ces allées et ces étagères. De plus, en lisant lors de l'entrée en stock de chaque boîte leur code Data-Matrix qui contient notamment le code du produit et sa date de péremption, la gestion FEFO (first expired, first out) est très efficace, ce qui limite le nombre de produits périmés. L'automate APOTEKA de MEKAPHARM ressemble à un petit entrepôt automatisé : les boîtes de médicaments sont stockées manuellement dans des racks dynamiques (légèrement inclinés vers l'avant), avec une densité de 1000 boîtes par m², puis tombent automatiquement en fonction des commandes sur un convoyeur qui les achemine jusqu'à l'officine. Le Robot MT.XL de Meditech, quant à lui, ferait davantage penser à un distributeur automatique de café ou de friandises, qui sont d'ailleurs d'autres exemples de micro-automatisations, mais avec des proportions légèrement plus importantes : 1,5 mètres de large, de 2 à 3 mètres de haut et de 4 à 12 mètres de long. Les boîtes de médicaments sont transportées en entrée et en sortie par une navette qui se déplace entre les racks en trois dimensions et via une trappe accessible au pharmacien.

Il existe également des **automatisations légères avec des Goods to Person pour faciliter la préparation des commandes à la pièce**. Les opérateurs n'ont plus à se déplacer jusqu'aux produits puisque ce sont les produits, transportés par des robots *Goods to Person*, qui viennent jusqu'à eux. A l'instar des automatisations faites en pharmacie, cela permet un gain d'espace de stockage. Mais cela permet aussi un gain de productivité en réduisant les déplacements des préparateurs de commandes, ce qui est notamment très pertinent pour les produits de moyenne et faible rotation. **Ces installations ont de nombreux atouts et constituent de vraies alternatives, moins coûteuses, à des systèmes**

d'automatisation "lourds" plus classiques et moins souples (ex : systèmes à shuttle). Elles sont rapides à installer, nécessitent peu ou pas de travaux, sont modulables en fonction de la surface disponible et peuvent convenir à des volumétries de commande plutôt faibles. Fortement évolutives, des solutions de type Scallog, ou Kiva chez Amazon, peuvent par exemple adresser les besoins des PME et leur permettre de lancer un projet d'automatisation à partir de quelques centaines de milliers d'euros, selon le nombre de robots de départ. Selon un calcul d'Exotec, une installation avec seulement 5 robots et 2 postes de prélèvement sur 200 m² permettrait de préparer 100 commandes à l'heure pour 200 bacs en stock dont 20 bacs à réapprovisionner chaque heure et 9m de hauteur.

De telles solutions d'automatisation, s'adaptant à des petites surfaces et permettant un gain d'espace de stockage ainsi qu'un gain de productivité dans la préparation des commandes, ont favorisé **l'apparition des *micro fulfillment centers***. Ces entrepôts de petite taille à proximité immédiate des centres urbains ont le vent en poupe puisqu'ils permettent d'honorer rapidement les commandes e-commerce faites par les citoyens tout proches. Certaines entreprises ont même développé des offres d'automatisation spécialisées pour ce type d'entrepôts. Knapp, Fabric ou Dematic en sont des exemples. Ils proposent des zones de stockage les plus optimisées possibles associées à un nombre réduit de postes de prélèvements à la pièce pour s'adapter à des surfaces de stockage pouvant mesurer moins de 2 000 m².

Mais finalement, quel que soit le coût d'une installation, la vraie décision à prendre demeure souvent **une question de ROI**. En effet, toute automatisation, légère ou lourde, a généralement vocation à augmenter la productivité et la qualité de service, en limitant les déplacements ou en augmentant la fiabilité, et à optimiser les surfaces, en densifiant le stockage. Ces différents leviers doivent permettre une diminution des

coûts de préparation, de la non-qualité et de stockage. Par exemple, si un investissement de 3 millions € dans un trieur à pochettes pour le textile permet de réduire de 30 centimes le coût de préparation à la pièce, le ROI sera atteint au bout de 5 ans à raison de 2 millions de pièces préparées par an. La difficulté consiste bien sûr à bien mesurer cette économie en coût complet, en prenant en compte toutes les économies et tous les coûts, et en incluant par exemple la récurrence des coûts de maintenance. Bien sûr, en période de crise économique, et au-delà du ROI, la question de la capacité de trésorerie devient majeure.

L'AUTOMATISATION N'EST POSSIBLE QUE POUR DES PRODUITS À FORMES STANDARDS.

FAUX

Automatiser des produits ou des colis parallélépipédiques est plus simple. La grande distribution a montré dans les années 2015, la capacité à automatiser tous les produits vendus en hypermarché.

Les **automatisations les plus fréquentes et donc les plus standards** concernent les produits pouvant être rangés **dans des colis de 60 cm de long x 40 cm de large x 40 cm de haut**, ce qui permet de faire facilement des palettes Europe de 80 cm de large x 120 cm de long. Le stockage se fait soit en palettes, soit en colis ; la préparation au colis pouvant être facilement automatisée par tout type de robot relativement simple. La préparation au détail (produit pris à l'intérieur des colis) nécessite une intervention humaine. L'automatisation consiste à acheminer les colis ouverts aux préparateurs afin d'éliminer les déplacements (processus Goods To Person). De nombreux équipementiers commencent à avoir, en pilote, des bras articulés capables de

réaliser cette préparation (dont Amazon Robotics, équipementier exclusif des entrepôts Amazon).

Cependant la grande distribution, et notamment les centres régionaux Leclerc, ont prouvé qu'il était possible de **faire des palettes constituées de tous les produits présents dans les rayons alimentaires des hypermarchés et des supermarchés**. Sur la palette peuvent s'entasser des boîtes de céréales, des paquets de riz, des packs de 6 litres de lait ou des boîtes de chocolat. **Les "tétris" résultant de ces palettisations automatiques** sont étonnants mais très stables. Ceci nécessite une analyse de chaque produit et des calculs algorithmiques poussés. Pour **les produits de dimensions supérieures à celles d'une palette** (80cm x 120cm), **aucune automatisation standard n'existe** du fait de l'hétérogénéité des produits : des rouleaux de papier dans les imprimeries, aux carreaux de plâtres en passant par les plaques de carrelage.

En revanche, tout type de produit peut faire l'objet d'**une automatisation spécifique et raisonnée**. Ainsi les **pièces détachées automobiles** peuvent faire l'objet d'une automatisation. Les grands produits peuvent être mis dans des box stockés dans des transstockeurs reliés à des postes de *Goods to Person*. Les pneumatiques peuvent être mis dans des caisses palettes adaptées, gérées au sein d'un autre transstockeur et via un même processus de *Goods to Person*. Les plus petits produits seront eux mis dans des caisses, puis dans des miniloads avec les mêmes processus de *Goods to Person*. Les imprimeries utilisent depuis longtemps des **AGV capables de transporter les bobines de film**. Les chaînes de production peuvent également utiliser des AGV dont le système de préhension et de transport est parfaitement adapté aux pièces transportées. La règle sera de transporter toujours des pièces aux **apparences physiques voisines. Moins les pièces sont standards, plus l'automatisation devra être adaptée. Les flux nécessaires pour un bon ROI devront être conséquents.**

L'un des avantages les plus importants de la mécanisation des produits hors standard est la **suppression de la pénibilité**. Des fabricants comme Porcelanosa ont investi dans une mécanisation permettant de diminuer de manière très importante la pénibilité dans leurs usines et leurs centres de distribution.

LA COBOTISATION EST UN PROCESSUS BIEN TROP INNOVANT POUR MON ENTREPRISE.

FAUX

L'offre de cobots est devenue mature comme le montre le nombre important d'équipementiers capables de répondre à des projets logistiques avec des cobots (environ une vingtaine).

Au-delà du coût du produit et de son installation, un autre facteur semble freiner le déploiement de la cobotisation en entrepôt. En effet, de nombreux acteurs ont comme a priori que la robotisation de leur entrepôt est un processus trop innovant pour eux. L'idée selon laquelle **leur niveau de digitalisation est insuffisant** pour se lancer dans des projets de mécanisation/robotisation est toutefois totalement fausse.

Premièrement, le développement récent des cobots, ou robots collaboratifs, permet un fonctionnement aux côtés des opérateurs et sans cage de protection. Ils sont parfaitement intégrés au process et supportent l'opérateur dans ses tâches quotidiennes. Une étude de 2016, menée par des chercheurs du MIT, a démontré que la collaboration homme-robot était 85% plus productive qu'un humain ou un robot travaillant seul. Si pendant longtemps l'automatisation notamment pour les robots industriels était trop complexe à mettre en place, aujourd'hui, **la facilité d'intégration et le faible coût d'exploitation des cobots séduisent les**

entreprises. En effet, la programmation d'un cobot est bien plus simple que celle d'un robot industriel grâce à des interfaces simplifiées et intuitives. La présence d'ingénieurs informatiques n'est plus une condition sine qua non à l'installation de ces technologies. **De nombreuses solutions de type plug&play** sont présentes sur le marché, vendues par des acteurs nouveaux mais aussi par les leaders du monde de l'automatisation. La quasi-totalité des équipementiers leaders sur le marché sont capables d'intégrer ces solutions, même s'ils doivent la sous-traiter à de plus petits acteurs.

Deuxièmement, **les cobots sont des technologies bien plus flexibles que les robots industriels et s'adaptent beaucoup mieux aux besoins des plus petites entreprises.** Ils sont déployables et programmables selon les spécificités du client. Leur scalabilité permet de s'adapter aux variations de volumétrie en production. Les projets de mise en service de cobots peuvent se faire graduellement et laisser le temps à l'entreprise de mûrir ses process et de les digitaliser au fur et à mesure.

Il est vrai que les termes de **réalité augmentée (RA)** ou **d'intelligence artificielle (IA)** renvoient souvent à des innovations complexes et très techniques. Or il existe des **technologies simples basées sur l'utilisation de RA ou IA qui améliorent le rendement des activités de l'entreprise sans pour autant demander un processus d'intégration** complexe et risqué ainsi que la mise à contribution de toute une équipe projet.

La cobotisation de certaines tâches en entrepôt est aujourd'hui accessible à toutes les PME ou TPE. Les solutions simples à implémenter et leurs coûts (produits et installations) sont en baisse. Le challenge pour l'entreprise réside dans la **conduite du changement** et de la gestion de l'appréhension des équipes vis-à-vis de ce nouveau système. Il sera primordial d'apporter le bon niveau de formation aux opérateurs pour tirer profit des bénéfices apportés par les technologies. La cobotisation des activités doit

s'inscrire dans un **projet global d'entreprise autour de la digitalisation.** Elle doit également être accompagnée d'un **plan de formation adéquat** pour permettre aux employés de prendre la pleine mesure de cette transformation.

AVEC LE TEMPS, LES SI DE MÉCANISATION/ AUTOMATISATION SONT DEVENUS STANDARDS.

FAUX

Dans quasiment tous les projets d'automatisation, les outils SI d'automatisation sont ceux de l'équipementier leader et ne font pas l'objet de mise à jour. Les SI qui gèrent les opérations manuelles sont les WMS (Warehouse Management System). Ces derniers sont vendus par des éditeurs indépendant des équipementiers. Ils font l'objet de mises à jour régulières. Dans de nombreux sites automatisés, les WMS font l'interface entre ERP et WCS.

Si les opérations de l'entrepôt sont suivies, gérées et enregistrées par les logiciels de gestion d'entrepôt (WMS), les équipements automatisés eux, ont besoin d'un **WCS (warehouse control system)** afin de fonctionner et de coexister dans l'environnement de l'entrepôt. Pour mieux comprendre la relation des deux systèmes dans l'environnement de l'entrepôt, le WMS est le donneur d'ordre et le WCS exécute les missions. Ces solutions automatisées et robotisées reposent sur des équipements très variés, de plus en plus performants et de plus en plus innovants. **Il existe autant de solutions à base d'automates / de robots et de SI (solutions informatiques) que de besoins.** Tous les entrepôts ou centres de distribution ne partagent pas les mêmes besoins ni les mêmes processus. Les éditeurs/intégrateurs ne peuvent donc pas systématiquement proposer les mêmes solutions

standardisées « clé en main » puisqu'elles ne correspondent pas aux **besoins spécifiques de certains clients**. Les entreprises cherchent, en effet, à **se différencier de la concurrence et à créer de la valeur pour leur client final**. Leurs écosystèmes informatiques sont singuliers et customisés selon leur besoin, avec du paramétrage ou même des développements spécifiques. **Il est presque impossible de retrouver deux WCS avec des configurations similaires** même pour deux concurrents du même secteur d'activité.

LES LOIS DE COMMANDES EN ENTREPÔT SONT PLUS SIMPLES QUE LES LOIS DE COMMANDES SUR LA ROUTE.

VRAI

Avant toutes choses, il est indispensable de définir ce qu'est une loi de commandes. Les lois de commandes représentent **toutes les règles, tous les ordres de mission ou de navigation, conférant au système automatisé (ou robot / cobot) son autonomie**. Les lois de commandes sont intrinsèquement dépendantes du cadre dans lequel le système automatisé évolue. Il est donc facile de comprendre que dans un **environnement ouvert**, où les véhicules/robots coexistent avec des opérateurs, les lois de commandes seront plus complexes que dans un **environnement fermé**. En entrepôt, il existe différents types de robots : les chariots élévateurs automatiques déplaçant les palettes, les bras robotisés pour une palettisation optimisée, etc. Pour un projet de robotisation d'un centre de distribution, il est donc stratégique de **bien identifier les tâches à robotiser, l'environnement prévu ainsi que les niveaux d'autonomie et de cadence de production requis**.

Cependant **en cas de situation ne correspondant à aucune loi de commandes, le robot s'arrête**

et un opérateur peut facilement le rebooter sans pour autant que cet arrêt ne se répercute sur les autres robots de l'entrepôt.

Pour atteindre un niveau d'autonomie supplémentaire, **le robot, en plus d'être autonome dans son guidage, le devient aussi dans la prise de décisions**. Grâce à l'IA et notamment par le **machine learning**, le robot est libre d'évoluer dans un milieu complètement ouvert, partagé et non sécurisé. Le nombre d'obstacles fixes, mobiles ainsi que les interactions entre machines et hommes sont démultipliées. **Les voitures autonomes, qui utilisent le GPS (*global positioning system*) comme outil de localisation et de navigation, appartiennent à cette catégorie**. L'intelligence interne de la voiture autonome doit enregistrer, analyser et **prendre des décisions à partir d'un nombre de données bien plus élevé** et doit prendre bien plus de décisions en un temps bien plus court. Cet environnement incertain explique pourquoi les lois de commandes des véhicules autonomes sont plus complexes encore que celles des AMR. En effet, dans cet environnement ouvert à d'autres usagers, **tout arrêt imprévu du véhicule est impossible et aucune marge d'erreur n'est autorisée**.

Ces véhicules autonomes et connectés soulèvent également des questions sur leurs réglementations. **Qui sera responsable en cas d'accident ?** Que se passera-t-il lorsque le fournisseur de ce service souhaitera contrôler l'utilisation de son matériel par les passagers ? Comment gérer le consentement de la collecte de données personnelles par un véhicule autonome ? Quels sont les paramètres à prendre en compte pour garantir la vie privée des passagers lors de l'utilisation de ces véhicules ? Par sa haute technicité et la grande diffusion à laquelle il est promis, le véhicule autonome et connecté concentre une large part des questions habituellement liées au digital dans la société comme **la sécurité des personnes, le transfert de responsabilité, la prise de décisions par des intelligences**

artificielles, la sécurisation des communications, le respect de la vie privée et des données à caractère personnel et tout particulièrement la définition de l'éthique. Qui rédigera les lois de commande d'éthique de ces véhicules ? Qui vérifiera que les bases de données utilisées pour l'apprentissage des intelligences artificielles sont suffisantes et n'induisent pas des biais ? Les lois de commandes des véhicules autonomes et connectés, bien plus complexes que celles des AGV et des AMR, adressent ainsi des enjeux sociétaux, juridiques et réglementaires.



5.

L'AUTOMATISATION ET LA COBOTISATION, ASSOCIÉES À UNE LOGISTIQUE 4.0, DES RÉPONSES AUX ENJEUX ACTUELS DE CONSOMMATION

UN ATOUT POUR FLUIDIFIER LES CHÂÎNES DE DISTRIBUTION ET AINSI PROPOSER DES SERVICES À PLUS FORTE VALEUR AJOUTÉE AUX CONSOMMATEURS

Les consommateurs d'aujourd'hui ne sont plus à la recherche du seul prix. Les consciences, les offres et les modes de vie ayant évolué, l'ensemble des **services proposés** ainsi que de nombreuses **caractéristiques sociales et environnementales** sont prises en compte dans les choix de consommation (traçabilité produit, conditions de production, localisation de la production, ingrédients, impact carbone,...).

Côté services, de nombreux domaines sont adressés : livraison, prise en main, paiement, SAV, personnalisation, communauté... Et la concurrence sur ces points s'accélère, sous la pression en particulier d'Amazon. **Les services deviennent**

alors très pointus et surtout personnalisables, et leur mise en œuvre s'en trouve toujours plus complexifiée. **Une logistique automatisée et digitalisée devient un atout voire une nécessité pour répondre à ces niveaux d'exigence.**

Rapidité et adaptabilité de la livraison

Que ce soit pour un client professionnel, un client interne ou le client final, que ce soit pour une livraison en entrepôt, en magasin, à domicile ou en point relais, les modes de livraison doivent répondre aux divers besoins des clients. Certains produits sont attendus **le plus rapidement possible**, comme les consommables ou l'alimentaire, tandis que d'autres - souvent les encombrants - doivent être disponibles **sur des créneaux avec rendez-vous** pour permettre au client de réceptionner lorsqu'il sera disponible. Le tout bien évidemment **sans trop alourdir la facture de la commande** sous peine de voir le client l'abandonner.

Pour être le plus réactif possible à un coût maîtrisé, l'automatisation des entrepôts de préparation et d'expédition permet d'augmenter la productivité tout en élargissant les plages horaires de fonctionnement.

La préparation de commandes « B2B » pour les magasins d'une part et « B2C » pour les clients finaux d'autre part, sont souvent difficiles à traiter dans un même entrepôt. En effet, la livraison de magasins permet le traitement de cartons, voire de palettes, là où la commande du client final nécessite la constitution de colis multi-références avec un emballage adapté. **La gestion manuelle permet de traiter tous ces différents processus** mais implique des délais incompatibles avec une livraison rapide - à moins d'embaucher une armée de préparateurs aux heures de pointe. Elle sera de plus gourmande en surface - avec les coûts que cela engendre. **La mécanisation dédiée permet d'augmenter significativement la productivité** mais, pour cela, deviendra structurante et ne pourra pas facilement être transformée.

La meilleure solution pour combiner productivité et flexibilité, dans ce cas, est la robotisation ou cobotisation. Les robots, évolutifs et en mouvement, opèrent les tâches pénibles, répétitives ou à faible valeur ajoutée, laissant l'opérateur traiter les tâches plus complexes. La cobotique se concentre au final autour de l'humain - le robot le soulage, l'accompagne ou le sert. Cela explique la plus grande flexibilité de ces systèmes tout en garantissant une meilleure productivité.

Livraison sans erreurs

Un autre avantage inhérent à l'automatisation / robotisation est la fiabilité. Cela implique bien sûr une phase de cadrage, de spécification et de paramétrage plus complexe mais une fois le système opérant, les occurrences d'erreurs dans les opérations sont minimales. **Le système WCS/WMS contrôle l'ensemble des produits circulant dans l'entrepôt,** par exemple à l'aide de scans

réguliers des codes-à-barres ou des puces RFID, de pesages ou d'une supervision vidéo. Il centralise aussi l'ensemble des opérations sur lesquelles il a **une visibilité totale.** Cela offre aussi une réactivité accrue lors d'incidents et une possibilité de pilotage détaillé à l'aide de nombreux indicateurs.

Pour le e-commerce alimentaire, cela est particulièrement évident entre la préparation en magasin (en présence des clients) et la préparation en entrepôt.

Disponibilité optimisée pour les commandes B2B et B2C

Pour les commandes magasin, un stock juste une fois par jour est suffisant. Un algorithme simple de gestion de la pénurie permettra de répartir le stock restant entre les magasins.

Pour les commandes e-commerce, le stock de l'entrepôt doit être connu en temps réel. Un stock et une préparation e-commerce dédiée n'engendrent pas particulièrement de problèmes, c'est lors d'une cohabitation, avec les commandes magasins par exemple, que cela se complique.

Si le stock est partagé, **comment assurer la disponibilité en ligne à un instant T** tout en garantissant les commandes magasins déjà passées et à préparer ? Et **comment allier la préparation de commandes magasins,** souvent au colis et en volume, **à côté de commandes internet "urgentes"** comprenant plusieurs articles uniques à emballer ?

La gestion du stock par un OMS (Order Management System) associée à des réceptions et un picking automatisés garantissent **une bonne connaissance permanente de l'inventaire** et ainsi de faire coexister différents types de commandes et de stock. Le stockage et la préparation robotisés permettent quant à eux d'optimiser la surface et de manipuler rapidement différents SKU grâce à leur flexibilité et à une gestion centralisée. Les produits acheminés dans le bon ordre et au bon moment à la préparation

font gagner un temps précieux par rapport aux chemins de picking traditionnels.

Optimisation de la chaîne logistique amont

En plus de ces services directs au client final, l'automatisation des entrepôts peut grandement **optimiser l'ensemble de la chaîne amont** - depuis les usines et entrepôts centraux vers les points de stockage rapprochés et de vente, et ainsi indirectement **optimiser le prix** (coûts logistiques répercutés sur le produit ou la livraison) **et les délais de disponibilité**. De nombreuses opérations peuvent être automatisées avec des gains et avantages propres.

Pour les produits de grand import, la **réception** peut être automatisée à l'aide d'un déchargeur autonome avec convoyeur télescopique - produits pour lesquels COPAL est un fournisseur majeur. Équipé d'un bras à pince ou à préhenseurs, il scanne l'intérieur de la remorque et décharge les colis ou sacs sur le convoyeur. Un bras robotisé peut être ajouté ensuite pour orienter les colis et les palettiser (avec un robot ou des puits manuels) puis filmer les palettes avec une filmeuse autonome.

Ces opérations sont pénibles, gourmandes en main d'œuvre et **représentent souvent des charges de travail inégales** (pas d'activité en cas d'absence de camion puis création d'un goulot d'étranglement pour le reste des opérations au moment des arrivées si elles sont trop rapprochées). L'automatisation permet de pallier le manque de main d'œuvre logistique, de gommer la pénibilité et offre un fonctionnement étendu. La fluidité de la réception est une partie primordiale pour l'efficacité des opérations aval et permet d'optimiser la qualité de service, les coûts et la réactivité.

Le stockage peut, quant à lui, être densifié avec une large gamme de solutions, de la mécanisation type Shuttle, Transtockeurs palettes ou Transtockeurs Mini-load à la robotisation type

Exotec, Kiva (Amazon), Geek+ ou Storojet. Les prix, l'adaptabilité et les avantages sont très différents mais tous visent à optimiser la surface, le stock (inventaire natif, classification et ordonnancement...) et la productivité.

La préparation est la partie la plus complexe. Elle permet de fortement **augmenter la qualité de service et donc indirectement de réduire les coûts et le temps de réactivité aval**. La préparation peut être entièrement automatisée (palette, colis ou rarement à la pièce) ou partiellement avec des GTP (Goods to Person) qui amènent les bonnes références au bon moment à un opérateur qui constitue la commande (colis ou pièce).

Ces automatisations augmentent fortement la productivité tout en fiabilisant la préparation. Cela permet en outre de **personnaliser les expéditions**. En effet, le système informatique saura **ordonnancer les préparations** par référence, univers ou rayon de chaque point de vente et pourra limiter les palettes et les colis en hauteur ou en poids en fonction des différentes contraintes aval. Cela aura pour impact principal un gain de temps et d'opérations en réception.

Le Cross-docking peut lui aussi être automatisé à l'aide de convoyeurs ou cobotisé avec des AGV, complété par une réception et/ou un chargement automatisés. Ce système peut atteindre de fortes productivités grâce à un fonctionnement 24/7 et un tri optimisé (des colis et des destinations).

Supervision

La supervision des automatisations permet aussi des optimisations plus précises ou indirectes. Nous évoquons déjà une **supervision améliorée** grâce aux nombreuses informations qui remontent des machines. Le tracking est l'une d'elles. En effet, une gestion automatisée en entrepôt s'appuie sur une **identification rapide, fiable et répétée des équipements et des flux**. La technologie employée, qui peut être exploitée aussi hors de l'entrepôt, permet le suivi précis

des produits au fil du temps (produit reçu, préparé, expédié...).

UN ATOUT POUR APPUYER LES TRANSFORMATIONS RSE DES CHAÎNES DE DISTRIBUTION ET AINSI RÉPONDRE AUX EXIGENCES DE RESPONSABILITÉ DES CONSOMMATEURS

L'automatisation permet d'optimiser le transport

Le transport est le secteur le plus polluant en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Selon une étude du gouvernement français, il représente 30 % des émissions françaises de GES en 2017, ce qui correspond à une augmentation de 13 % par rapport à 1990. Et paradoxalement, nous continuons à **transporter des boîtes partiellement vides**, ce qui est **coûteux à la fois financièrement et écologiquement**. Pour adresser cette problématique, **Quadient (anciennement Neopost) propose depuis 2014 une solution d'emballage automatisé**. La machine CVP scanne tout d'abord en 3D les produits à emballer, peu importe leur forme (cubique comme des boîtes de petit électroménager, sphérique comme un casque de vélo...) et peu importe leur matière (solide comme des livres, mou comme des vêtements...). Elle coupe et forme ensuite le carton à la dimension exacte de ces produits au millimètre près tant en largeur, en longueur qu'en hauteur avant de le fermer. Ce processus automatisé permet de créer des colis sur-mesure dont les dimensions peuvent être divisées par deux par rapport à celles d'un colis classique. **Cdiscount a été le premier à déployer cette solution** dans son entrepôt de Cestas en 2016 et par la suite l'a mis en place dans d'autres entrepôts. Les résultats sont sans appel : 30 % de camions en moins sur la route.

L'automatisation permet également de fabriquer des palettes plus hautes et de mieux remplir les camions. La digitalisation alliée à l'automatisation permet également d'optimiser les tournées en optimisant le remplissage et la hauteur des palettes.

Autres impacts RSE directs

L'automatisation peut diminuer très fortement la pénibilité en entrepôt et proposer des postes à plus fortes valeurs aux opérateurs (pilotage ou maintenance). Néanmoins certains postes de préparation en GTP restent pénibles et nécessitent des rotations et de la poly-activité.

L'automatisation de la préparation B2B permet également de limiter la pénibilité en magasin en tenant compte du merchandising magasin dans la composition des palettes ou des colis.

Les stockages automatisés (transtockeur palettes, transtockeurs mini-loads) ne nécessitent pas la présence humaine. Ils permettent de couper les lumières, de laisser uniquement hors gel et ainsi compenser en partie la consommation des machines.

Certaines sociétés étudient des automatisations sans plastiques ou avec des consommables entièrement recyclables.

Mais, aucune automatisation ni aucune robotisation ne rendra, à elle seule, une chaîne de distribution, ou ne serait-ce qu'un entrepôt, plus socialement et écologiquement responsable. Ces chantiers doivent être **intégrés à une politique RSE forte**. En effet, l'impact RSE d'une robotisation ou d'une automatisation, prise comme une entité indépendante, reste assez mitigé.

La robotisation et l'automatisation au service de la relocalisation de la production

La relocalisation des outils de production au plus proche des consommateurs finaux est un **scénario de plus en plus médiatisé**. En effet, les

consommateurs français sont de plus en plus sensibles au **“Made in France”**. Selon une analyse de l'observatoire Cetelem de fin 2019, les conditions sociales de production, comme le maintien de l'emploi dans le pays ou le respect de l'éthique, influencent de manière croissante les achats de plus de 50% des Européens. La succession des crises internationales, et principalement la crise sanitaire de 2020, ont également montré que **les approvisionnements internationaux pouvaient s'arrêter du jour au lendemain**. Enfin les perspectives de **mise en place d'une taxe carbone**, qui taxerait les produits au prorata de l'impact carbone de leur production, de leur distribution et de leur utilisation, et qui donc serait beaucoup plus conséquente pour les produits importés d'Asie par exemple, pourrait décider les derniers indécis.

Ainsi relocaliser la production en automatisant ou en robotisant permet de **diminuer les coûts de transport amont** tout en **réduisant l'augmentation des coûts de main d'œuvre** puisque les systèmes automatisés ou robotisés nécessitent moins de main d'œuvre. La French Fab, qui met en avant l'industrie française pour la développer et la moderniser, définit l'automatisation, au même titre que la digitalisation ou l'efficacité énergétique, comme faisant partie du futur de l'industrie à la française.

Kusmi Tea, racheté par le groupe Orientis en 2003 et qui commercialise aujourd'hui 3 millions de sachets de thé par mois, est un double **exemple de l'intérêt de l'automatisation ou de la robotisation pour relocaliser**. Dans un premier temps, dans les années 2012, l'entreprise a décidé de relocaliser la **production de ses boîtes en métal depuis la Chine** vers la France et plus précisément le Loiret, en faisant appel à Corepe, une PME familiale spécialisée depuis les années 80 dans les emballages métalliques. Corepe, ayant acquis des lignes automatisées de haute technologie, a pu proposer un coût légèrement plus élevé que ceux proposés en Chine mais assurer des délais de livraison largement réduits.

La relocalisation peut en effet s'accompagner d'une **réflexion sur le make or buy** et pousser non pas à une automatisation/robotisation en interne mais chez les prestataires. En effet, avec ces flux additionnels de commandes, même les PME pourront investir dans une robotisation légère pour proposer des coûts finaux plus intéressants.

Dans un second temps, Kusmi Tea a décidé de relocaliser **la mise en sachets des feuilles de thé depuis le Maroc** vers ses ateliers normands proches du Havre dans les années 2017. Pour ce faire, et dans le cadre d'un plan d'investissement de 3 millions d'euros, l'entreprise a acquis une machine Twinkle du fabricant japonais Tsubakimoto. Ce robot forme les sachets de thé de type pyramidal ou plat et colle sur celui-ci le fil avec l'étiquette. Il les remplit ensuite de feuilles de thé entières, tâche qui n'avait encore jamais été robotisée auparavant. Sa performance est de 200 sachets de thé par minute. Grâce à cette robotisation, Kusmi Tea a pu mettre en place une **relocalisation économiquement viable en embauchant même une trentaine de personnes**.

La robotisation facilite la relocalisation mais ne peut à elle seule en être un gage de succès. **Adidas** a ouvert, en 2017, à **Ansbach en Allemagne et à Atlanta aux Etats-Unis**, deux usines de pointe. Ces **“Speed Factories”** étaient équipées de robots, rapidement reconfigurables pour produire de petites séries de baskets ultra personnalisées (pour les Londoniens, pour les Parisiens, etc.), et d'un jumeau numérique (voir parties 3.3 et 4), simulant les étapes de conception et de production et réduisant donc leur durée. Pendant deux ans, ces usines ont produit 500 000 paires de baskets chacune par an (Adidas a produit 410 millions de paires de chaussures en 2018). Cependant début 2020, Adidas a décidé de les fermer pour **délocaliser leur production chez ses sous-traitants asiatiques**. Était-ce une **stratégie prévue de longue date** bien avant l'ouverture de ces usines ? Ou ces usines se sont-elles avérées **trop**

coûteuses ? Quelle que soit la raison de cette délocalisation, cet exemple montre bien que la robotisation est un atout pour la relocalisation mais ne solutionne pas tout. Robotisation et automatisation ne sont en effet en aucun cas des solutions miracles aux questions RSE même si elles peuvent ouvrir des portes qui jusque-là paraissaient définitivement fermées.

La traçabilité facilitée par l'automatisation et la robotisation

Les consommateurs sont de plus en plus sensibles à la traçabilité des produits quant à **leur composition et leurs méthodes de production**. Le nutri-score évalue la valeur nutritionnelle des produits. L'application Yuka donne une note aux produits selon leur composition : sucre, sel, graisse, additifs... Le label Fairtrade est apposé sur les produits issus du commerce équitable, c'est-à-dire respectant des critères sociaux et écologiques comme la juste rémunération des producteurs, la mise en place de relations commerciales durables etc.

Il serait possible d'envisager des **labels similaires concernant toutes les étapes de la supply chain** : pas de travail des enfants (production), quantité d'émissions de gaz à effet de serre (production et approvisionnement), consigne possible (reverse logistics)... Cette transparence et cette traçabilité, qui peuvent s'appliquer a posteriori à toute supply chain, sont **natives pour les robotisations et les automatisations** qui nécessitent la gestion d'unités de manutention uniques via l'utilisation de **tags RFID** sur les produits ou de **QR codes** sur les boîtes, par exemple. Ainsi mettre en place une automatisation ou une robotisation permet de mettre en place des méthodes de traçabilité qui peuvent être aussi utilisées dans une dimension RSE. Mais il est possible d'aller encore plus loin dans la traçabilité

des produits et de leurs composants grâce à la logistique 4.0 et à l'usine 4.0.

LA ROBOTISATION DES ENTREPÔTS PARTICIPE À LA LOGISTIQUE 4.0

Du concept d'industrie 4.0 à celui de la logistique 4.0

Le terme **Industrie 4.0** ou **Quatrième Révolution Industrielle** fait référence à un ensemble de technologies. Les trois premières révolutions ont été le résultat de la mécanisation, de l'utilisation de l'énergie électrique et de l'informatique. Cette nouvelle révolution est fondée sur le principe d'**exploitation des données** pour rendre agiles les processus, augmenter la productivité et la qualité, réduire les coûts et les délais.

Les avis des auteurs divergent autour des technologies sur lesquelles l'Industrie 4.0 est fondée. La publication faite par le CEFRIO (2016)¹ considère les groupes technologiques suivants : les systèmes cyberphysiques, l'internet des objets (IdO), l'infonuagique (Cloud Computing), les sciences des données (*Big Data*), la cybersécurité, les robots et machines autonomes, la réalité augmentée, les systèmes de simulation, les technologies de communication entre machines et l'intelligence artificielle. D'autres auteurs ajoutent à cette liste d'autres développements technologiques comme la fabrication additive.

Les enjeux de l'entrepôt du futur sont variés : la gestion d'une chaîne logistique de plus en plus complexe par **la réduction des cycles de vie des produits et l'augmentation de l'offre produit**, la nécessité d'être innovant et de répondre aux exigences croissantes des consommateurs qui

1. CEFRIO. 2016. «Prendre part à la révolution manufacturière? Du rattrapage technologique à l'industrie 4.0 chez les PME». CEFRIO. Disponible en ligne sur: <https://cefrio.qc.ca/fr/realisations-et-publications/prendre-part-a-la-revolution-manufacturiere-industrie40>

utilisent les technologies du digital pour accéder à **l'information en temps réel** (sur smartphone, il est possible de consulter les produits disponibles et passer une commande en temps réel). C'est dans cet environnement en rapide mutation que l'organisation doit réussir à s'adapter aux variations dans la demande finale en modifiant leur processus de production et optimisant leur réseau de distribution afin de tirer des avantages compétitifs.

L'intégration des technologies 4.0 dans les activités de la logistique, connue comme « la logistique 4.0 », fait référence à une diversité de projets au moins aussi vaste que les groupes de technologies de cette révolution.

L'exploitation des data dans la logistique

Citons, par exemple, **l'analyse des données massives** pour l'optimisation en temps réel du réseau de distribution, **l'exploitation de la simulation** pour optimiser les flux de matières et de produits, **l'utilisation de la fabrication additive** dans des entrepôts pour réduire les niveaux de stock et l'exploitation des robots et des AGV pour optimiser les flux à l'intérieur de l'entrepôt. Ces nouveaux outils digitaux permettent entre autres d'**améliorer les prédictions de demande** et ainsi d'ajuster ou de réajuster la production en fonction des variations prédites/anticipées. Ils permettent également une visibilité et un contrôle accrus sur les flux de l'entrepôt ou sur les machines (hommes ou machines, taux de productivité ou taux de rendement synthétique). La performance des systèmes d'information et des processus d'échanges et d'accès aux données stockées est primordiale pour la fabrication et la livraison des produits.

Dans cet environnement complexe, les objectifs des entrepôts ou des centres de distribution vont être l'amélioration de la traçabilité et de la fluidité (flux). L'optimisation des flux de l'entrepôt et une meilleure traçabilité (flux et produits) permettent d'augmenter le rendement et la

productivité et de répondre aux exigences du marché.

La « **Supply Chain étendue** » est un des concepts fondamentaux sur lequel se base « la logistique 4.0 ». L'idée derrière ce concept est simple : **construire une supply chain intelligente et collaborative capable de stocker, d'extraire, de croiser et d'analyser une grande quantité de données** provenant de différents systèmes d'informations et de partager cette information aux différents intervenants de la chaîne d'approvisionnement collaborateurs et agents le long de la chaîne d'approvisionnement. Le but est d'intégrer les fournisseurs, les sites de production, les magasins et les clients finaux au réseau et de communiquer sur les données récoltées afin d'**optimiser une planification globale intégrant tous les acteurs de la chaîne logistique**. Pour se faire, deux éléments essentiels doivent être mis en place. La première composante essentielle à la « supply chain étendue » est **la collaboration** entre les multiples acteurs de la chaîne logistique, c'est-à-dire la mise en place d'outils digitaux permettant la transparence, l'échange d'informations et le monitoring de la part de toutes les parties prenantes. Le deuxième élément est la **traçabilité en temps réel**. Pour être performant il ne suffit plus de posséder des informations remontées par les capteurs de données pour les analyser a posteriori, il est nécessaire de pouvoir extraire des données utiles au pilotage de l'activité immédiatement et en tout temps.

La traçabilité en temps réel

La traçabilité en temps réel se base sur la lecture instantanée des objets logistiques de l'entrepôt, la remontée immédiate des informations de mouvements et de localisation de ces objets et leur traitement. Pour assurer une bonne traçabilité en temps réel plusieurs critères sont requis.

La **bonne circulation des informations de l'entrepôt via les systèmes informatiques et des partenaires via les interfaces API** sont

primordiales pour la bonne conduite des activités. Pour que l'exploitation des données en temps réel soit efficace, les systèmes informatiques de l'entrepôt, et notamment le **WMS**, sont en **communication constante** avec les modules de transport (**TMS**) mais aussi les modules d'étiquetage et personnalisation (**custom tool**), ce qui garantit aux équipes de pilotage et de supervision d'obtenir les données importantes au pilotage de l'activité, à la prise de décisions et à la mise en place de mesures correctives si nécessaires.

Il faut ici distinguer deux types de suivi en temps réel pour des objets logistiques :

- Celui de la production ou de la transformation qui peut être assuré par le déploiement de puces RFID sur les produits et qui permet d'informer le client final comme le producteur (pour l'inventaire des stocks en entrepôt, pendant le transport vers les acteurs suivants).
- Celui qui concerne la logistique. Il est déployé par le transporteur ou le producteur pour informer à tout moment le destinataire de la localisation d'une cargaison ou de stocks.

6.

LE DOUBLE NUMÉRIQUE, UNE OPPORTUNITÉ DE LA LOGISTIQUE 4.0 POUR LES ENTREPÔTS AUTOMATISÉS ET ROBOTISÉS, UN OBJET DE R&D CHEZ FLOW & CO

LE JUMENT NUMÉRIQUE

Les jumeaux numériques (*Digital Twin*) sont un type de **simulation qui clone virtuellement** un système physique (objet), un processus ou une organisation. Ils comportent des **modules de simulation, de traitement des données, d'optimisation** et peuvent intégrer d'autres technologies 4.0, telles que la réalité augmentée et l'intelligence artificielle.

Les avancées de **six groupes technologiques** ont permis le développement des jumeaux numériques. Quatre technologies présentent un socle pour l'infrastructure de traitement des jumeaux, soit l'IdO (Internet des Objets), l'infonuagique, les API et l'intelligence artificielle. Les deux autres technologies, la réalité augmentée et la réalité virtuelle, supportent la

visualisation des données de sortie ou des scénarios des jumeaux numériques².

L'IdO intègre des dispositifs et des connexions permettant aux objets de communiquer et d'interagir au travers des réseaux de communication. Ces dispositifs, abordables d'un point de vue financier et technique, permettent de **collecter de grands volumes de données** sur les objets utilisés comme paramètres (données d'entrée) des jumeaux numériques. Les changements subis par le système physique peuvent être représentés en très peu de temps dans le modèle virtuel. Ainsi, la prise de décisions se fait sur une base très proche de la réalité.

L'**infonuagique** apporte une **capacité de calcul** supérieure. Elle permet de faire tourner des simulations dans des services SaaS. Une autre

2. Définition des Jumeaux Numériques fournie par DHL en 2019. Publication: *Digital Twins in Logistics. A DHL perspective on the impact of digital Twins on the Logistics Industry*.

fonctionnalité apportée par cette technologie est une **capacité massive de stockage** des données à un coût raisonnable. Enfin, l'infonuagique permet de **partager des données** entre les différentes entités d'une supply chain. Ces données peuvent être intégrées comme paramètres des jumeaux numériques.

Les **interfaces de programmation applicative (API)** et les standards ouverts ont simplifié le partage et l'échange de données.

L'**intelligence artificielle**, avec la technique de l'apprentissage automatique (machine learning), permet d'exploiter les données historiques récupérées en temps réel pour **proposer les actions les plus pertinentes** en fonction de certaines conditions. Ainsi, lorsque le décideur n'est pas capable de modéliser l'influence des différents paramètres sur l'objet qu'il cherche à calculer, il pourra se référer à ces propositions.

La **réalité augmentée** permet aux décideurs de **visualiser les résultats dans des environnements 3D**. Dans le cadre de nouveaux environnements n'ayant pas un modèle physique, la réalité virtuelle permet aux utilisateurs d'y faire une immersion et de visualiser l'effet de leurs décisions.

À la différence de modèles de simulation classiques, les jumeaux numériques³:

- Récupèrent des informations des systèmes de gestion, tels que les ERP, les WMS ou les WCS, en temps réel.
- Comportent un modèle virtuel qui a un niveau de détail élevé et un faible niveau d'abstraction.
- Présentent des processus de modélisation, d'optimisation et de construction de scénarios automatisés.

Pour la supply chain, les jumeaux numériques peuvent être employés pour créer **un miroir d'un**

réseau de transport, de chaque moyen de transport et même d'un entrepôt. Ils permettent de conserver la représentation statique et dynamique du système et de ses composants tout au long de leur cycle de vie.

L'exploitation des jumeaux numériques dans les entrepôts permet de mieux **comprendre le processus de bout en bout, d'identifier des goulots d'étranglement et d'améliorer la gestion des imprévus**. Ainsi, ils offrent différents niveaux d'utilisation. Ils peuvent permettre de **surveiller** les processus en temps réel et/ou **d'optimiser** les flux des différentes opérations.

LE JUMEAU NUMÉRIQUE POUR LA ROBOTISATION ET LA COBOTISATION DES ENTREPÔTS

Même **si les projets d'exploitation des jumeaux numériques sont très jeunes dans les activités logistiques**, plusieurs technologies permettant de les déployer ont déjà été mises en place. Des senseurs dans les équipements de manutention, l'exploitation de l'infonuagique pour le stockage de données, l'utilisation de l'apprentissage automatique et des algorithmes d'optimisation pour supporter la prise des décisions à partir de l'historique des données ainsi que l'utilisation de la réalité augmentée pour former les collaborateurs et assister les activités de préparation des commandes, sont quelques exemples de technologies déjà mises en place.

Toutefois, les projets de conception des jumeaux numériques présentent plusieurs défis. L'un des principaux défis auxquels la logistique 4.0 fait actuellement face concerne **l'exploitation des données capturées par l'IdO (perspective physique) et/ou par les systèmes de gestion (WMS, WCS, ERP) (perspective numérique)**

3. Ashrafiyan A., Petterson O.-G., Kuntze K.N., Franke J., Alfnes E., Henriksen K.F. and Spone J. 2019. "Full-Scale Discrete Event Simulation of an Automated Modular Conveyor System for Warehouse Logistics". IFIP Advances in Information and Communication Technology. 567: 35-42. doi: 10.1007/978-3-030-29996-5_4

dans les jumeaux numériques. Un autre défi concerne la capacité à **exploiter des données capturées par des automates des différents fournisseurs**. Les outils de simulation proposés par les équipementiers permettent d'analyser des scénarios qui intègrent uniquement les engins de manutention dont ils sont les fournisseurs. L'intégralité du système physique ne peut pas être modélisée dans le jumeau virtuel. Il y a, en conséquence, une perte d'information et de fidélité dans la modélisation. Finalement, la formation des utilisateurs et la protection des données utilisées pour construire les modèles virtuels sont d'autres défis.

Malgré ces défis, plusieurs industriels ont lancé des projets d'exploitation des jumeaux numériques dans le cadre du **pilotage stratégique, tactique et opérationnel des entrepôts qui comportaient des solutions robotisées, cobotisées, automatisées et mécanisées**. Dans cette section, sont listés quelques cas d'exploitation des jumeaux numériques autour des fonctionnalités suivantes :

- La vérification de l'exploitabilité et de la maintenabilité des équipements dans l'entrepôt.
- La gestion des flux.
- Le virtual commissioning.
- La validation de l'ergonomie des équipements.
- La vérification de l'exploitabilité et de la maintenabilité des équipements dans l'entrepôt.

Une première application des jumeaux numériques dans l'intra logistique concerne **l'évaluation de scénarios où des robots assistent le travail des collaborateurs**. L'utilisation des robots peut permettre d'augmenter l'efficacité des collaborateurs. Mais si les robots doivent être arrêtés lorsque des humains travaillent dans l'atelier, l'efficacité des opérations sera réduite. Le système de gestion de l'entrepôt doit être

capable de coordonner ce travail. Ceci implique une estimation correcte des intentions des collaborateurs et le contrôle des robots. Toutefois, l'intention humaine doit être estimée en temps réel à partir d'actions concrètes. Il est, en conséquence, très compliqué d'estimer avec précision la position et l'orientation du travailleur.

Les **jumeaux virtuels** de ces environnements permettent de conduire des tests, avec un nombre d'entités physiques et humaines illimités, afin d'**obtenir les meilleures modalités d'interaction entre l'homme et le robot**. Ainsi, des actions peuvent être prédéterminées pour la gestion des aléas, comme des temps d'arrêt dus à des pannes, sans subir de pertes financières⁴.

En ce qui concerne **l'utilisation des véhicules autonomes (AGV)** dans les entrepôts, les jumeaux numériques peuvent être employés pour **sélectionner le chemin le plus court**. Ceci permet de réduire la fréquence de réapprovisionnement ainsi que le niveau stock de sécurité⁵. L'utilisation des jumeaux numériques permettra également de déterminer la quantité et le type d'AGV et d'AMR (robots autonomes), ainsi que les modifications nécessaires dans l'aménagement de l'entrepôt.

Dans le cadre de la maintenance des équipements, les **jumeaux numériques** peuvent supporter les activités de **maintenance prédictive** sur des sites de production et dans des entrepôts. La surveillance des équipements dans le modèle virtuel permet de prédire les pannes, de minimiser les temps d'arrêt et de planifier de manière proactive les activités de maintenance en vue de la maximisation de la productivité. Dans ce contexte, la réalité augmentée, la réalité virtuelle et l'apprentissage automatique sont des technologies qui peuvent compléter l'exploitation des jumeaux numériques.

4 Petković T., Puljiz D., Marković I. and Hein B. 2019. "Human intention estimation based on hidden Markov model motion validation for safe flexible robotized warehouses". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 57: 182-196. doi: 10.1016/j.rcim.2018.11.004

5 Scholz, M., Zhang, X., Kreitlein, S. and Franke, J. 2018. "Decentralized Intelligence: The Key for an Energy Efficient and Sustainable Intralogistics". *Procedia Manufacturing*. 21: 679-685. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.171

GESTION DES FLUX DANS L'ENTREPÔT

Dans des entrepôts avec des solutions automatisées à grande échelle, tels que des convoyeurs, des transtockeurs et/ou des systèmes robotisés pour la préparation des commandes, le double numérique peut permettre de **supporter la prise des décisions** associées à la gestion des flux avec efficacité.

Les jumeaux numériques proposés par différentes sociétés permettent d'**identifier en temps réel les problèmes** de gestion des flux à l'intérieur de l'entrepôt et d'y répondre avec des **actions optimales et automatisées** pour retrouver l'équilibre dans une courte période de temps. La solution de O9⁶, Supply Chain Tower, présente des fonctionnalités permettant d'avoir une visibilité en temps réel du niveau de stock et d'approvisionnement, tout en intégrant le module de gestion de commandes (CRM) pour proposer des plans d'expédition. Cette solution s'étend au-delà de l'entrepôt en intégrant des modules qui permettent d'avoir une visibilité directe sur le stock de matières premières des fournisseurs, de gérer leurs performances et de les faire participer à la planification collaborative pour le rééquilibrage de stocks.

Le double numérique proposé par TGW⁷ permet de supporter la prise de décisions des équipes de surveillance, de gestion des opérations et de maintenance, au travers d'une représentation complète de l'installation physique. Un module d'analyse de l'historique des données permet au jumeau de détecter les causes des événements inattendus sans les reproduire. L'**analyse prédictive** est une autre fonctionnalité de ce double numérique, qui permet de prévoir le **moment idéal pour l'exécution des tâches de maintenance**.

VIRTUAL COMMISSIONING

Les jumeaux numériques permettent de représenter dans un modèle virtuel les systèmes d'automatisation des entrepôts. Au travers de l'**évaluation de scénarios** de mise en service, d'optimisation ou de modernisation ainsi que d'une **intégration** avec un **émulateur**, ils permettent de tester, d'améliorer et de valider les règles de gestion du logiciel de contrôle (WCS)⁸.

Dematic, IQ Virtual⁹, propose un jumeau numérique qui comporte, en plus des modules d'optimisation et de simulation, un module d'intégration avec l'émulateur. Cette solution permet de supporter la prise de décisions avant d'aménager l'installation. Elle permet ainsi de valider le comportement des entités physiques et des systèmes d'information face à des perturbations. Le jumeau a également des fonctionnalités associées au suivi en temps réel des opérations. Il permet d'évaluer l'impact des changements d'équipement et des mises à jour de logiciels sans entraîner des perturbations dans le système.

VALIDATION DE L'ERGONOMIE DES ÉQUIPEMENTS

Les **exosquelettes**, application de la robotique portable, sont des outils intelligents qui permettent de réduire les troubles musculo-squelettiques et d'augmenter la sécurité des collaborateurs sur le lieu de travail. Ils sont employés dans des environnements où l'ergonomie ne peut pas être améliorée par des méthodes traditionnelles et où l'automatisation du processus n'est pas possible. Par exemple, dans l'industrie automobile, le secteur de la construction, la santé et la logistique, certaines

6 Disponible en ligne sur : <https://o9solutions.com>

7 Disponible en ligne sur : <https://www.tgw-group.com/en/technologies/it-solutions-services/digital-products-services>

8 Xcelgo. 2019. Breaking the buzzword : what is a digital twin? Disponible en ligne sur : <https://xcelgo.com/what-is-a-digital-twin/>

9 Disponible en ligne sur : <https://www.dematic.com/en/software/software-overview/dematic-iq-virtual/>

tâches de manutention réalisées impliquent des postures inconfortables, des niveaux de vibration élevés et nécessitent d'une flexibilité que seuls des collaborateurs peuvent fournir.

Les **jumeaux numériques** peuvent offrir un support pour l'utilisation des exosquelettes au travers d'**analyses** virtuelles de l'impact de **chaque mouvement** sur les articulations, les muscles et les parties du squelette. Le jumeau virtuel permet de représenter avec exactitude les tâches qui sont effectuées sur le lieu de travail réel. Ensuite, l'utilisateur peut choisir dans une base de données, diverses options en évaluant les changements nécessaires sur le lieu de travail (modifications dans le layout) et en menant des analyses ergonomiques qui permettent, entre autres, d'évaluer le soutien physique que l'appareil offre au porteur. Le déploiement de l'exosquelette sera en conséquence bien paramétré et validé¹⁰.

GAINS DE L'EXPLOITATION DU JUMEAU NUMÉRIQUE INTRA LOGISTIQUE POUR LA SUPPLY CHAIN

Les **jumeaux numériques** permettent d'assurer la **réactivité** et la **résilience** de la logistique 4.0. Ils munissent les décideurs d'outils leur permettant d'**analyser** des **scénarios prévisibles** et **imprévisibles** pour mener à temps les changements nécessaires.

Les projets de **transformation numérique** dans le milieu industriel devraient être fondés sur le concept de **digitalisation durable**. Sur ce concept, les technologies 4.0 ont comme objectif d'améliorer la performance des employés, d'aider à la prise de décisions et de créer un meilleur environnement de travail.

Les **processus logistiques** présentent de multiples **problèmes** qui affectent les performances

de l'entreprise en matière de **développement durable**. Certains de ces problèmes sont:

- Les modes de transport à forte utilisation nécessitent une grande quantité de combustibles fossiles, ce qui a un impact sur la dégradation de l'environnement.
- Lorsque les flux logistiques ne sont pas bien planifiés, certains véhicules reviennent à vide ou via des trajets retour trop longs.
- Dans de nombreuses supply chain, le délai de livraison est inférieur au délai de production du produit. En conséquence, des inventaires à différents points du réseau logistique sont nécessaires afin de fournir les niveaux de service souhaités. De nombreux produits ne sont jamais vendus, ce qui contribue à un gaspillage inutile.
- La manutention des marchandises nécessite l'utilisation d'engins/ de robots/ de cobots. Un mouvement excessif des marchandises entraîne des coûts inutiles, une utilisation excessive de la main-d'œuvre, un risque accru d'endommagement des marchandises et l'émission inutile de gaz à effet de serre.

Toutes ces questions nécessitent une prise en considération individuelle, mais aussi **globale** pour éviter des sub-optimisations tout le long de la supply chain. L'intégration de la logistique interne et de la supply chain au travers les technologies 4.0, permet de minimiser les activités sans valeur ajoutée tout en rendant le processus adaptable aux changements de la demande et en maintenant l'efficacité.

Les **jumeaux numériques** peuvent offrir une **valeur ajoutée** à la **logistique** dans le cadre du **développement durable**. C'est le cas du jumeau numérique proposé par Math2Market¹¹ qui permet d'analyser le comportement des emballages éco-responsables, face à des variations de température, des vibrations et des collisions.

¹⁰ Ippolito D., Constantinescu C. and Rusu C.A.2020. "Enhancement of human-centered workplace design and optimization with Exoskeleton technology". *Procedia CIRP*, 91: 243-248. doi: 10.1016/j.procir.2020.02.173

¹¹ Disponible en ligne sur : <https://www.math2market.com/>



KAWADA

ОПАСНО
ОГОНЬ ИЛИ
ДРУГАЯ НЕБЕЗОПАСНОСТЬ

КОМПАНИЈА
КОФЕЕ
КЫМЧЫ

КОМПАНИЈА
КОФЕЕ
КЫМЧЫ

7.

CONCLUSION

Les offres d'automatisation et de robotisation des entrepôts des équipementiers sont de plus en plus complètes et de plus en plus accessibles ; elles concernent tous les processus de logistique autour des lignes de production et tous les processus de l'intra-logistique. Certains processus tel que la palettisation sont aujourd'hui très largement robotisés sur les lignes de production et dans de très nombreux entrepôts, même si la composition de la palette, les « tétis », sont parfois beaucoup plus complexes que dans les entrepôts par rapport aux lignes de production. Ces offres sont adaptées aux diverses unités de manutention. Les automatisations et robotisations des flux palettes et colis peuvent être complètes. L'automatisation et robotisation des flux unitaires nécessitera encore, pour de nombreuses années, la présence d'opérateurs logistiques.

Ces automatisations sont partie intégrante de l'industrie 4.0 et de la logistique 4.0. La flexibilité et la pérennité de ces implantations passeront par le déploiement de jumeaux numériques.

La robotisation permet de diminuer le montant des investissements et la taille des projets de logistique 4.0. Les ROI des projets de robotisation sont généralement entre 3 et 6 ans, avec des niveaux d'investissement beaucoup plus faibles pour des flux correspondants à ceux de PME.

Ces évolutions entraînent une diminution des

effectifs dans les logistiques palettes et colis. Par contre, l'augmentation des flux e-commerce entraîne un transfert de ces effectifs vers la logistique unitaire. La croissance des effectifs des Supply Chain se faisant également par les effectifs consacrés au dernier kilomètre, très difficilement robotisable du fait de la complexité des lois de commandes en routes ouvertes ou même sur les trottoirs.

Dans quelques années, la robotisation de la logistique unitaire, promise par Amazon, va transformer profondément le monde de la logistique comme elle est en train de transformer toute la production en usine et la relocalisation induite en Europe tant médiatisée.

En conclusion, il est utile de réfléchir aux impacts de la Supply Chain 4.0 dont la robotisation sur l'ensemble de la Supply Chains, des lignes de production au dernier kilomètre. Il est certain que la robotisation permet, pour des produits dont la charge en main d'œuvre est faible, une relocalisation de la production en Europe avec comme bénéfices :

- De réduire les stocks (et donc le BFR).
- De réduire les coûts de transport.
- De disposer de l'argument marketing « made in Europe ».
- D'avoir une plus grande sécurité des chaînes d'approvisionnement.

Trois questions majeures restent ouvertes :

- Quelles activités ne pourront pas être relocalisées par le biais de la robotisation ?
- Quels impacts sur les emplois en Europe ?
- Quelles nouvelles activités peuvent être délocalisées par la Supply 4.0 ?

Concernant la première problématique, après plusieurs décennies de délocalisation de la production, le retour de la production sur le territoire européen est possible par le déploiement des robots dans les chaînes de production et dans les entrepôts, ce qui permet de rendre agiles les processus, de répondre à une demande de plus en plus personnalisée et avec de fortes variabilités, et en même temps d'améliorer la qualité, l'ergonomie et la sécurité des approvisionnements. A priori, la quasi-totalité des activités de production peuvent être relocalisées par le biais de la robotisation sous la réserve majeure du maintien des savoir-faire ! Aujourd'hui, les directeurs achats internationaux font face à cette problématique de la spécialisation internationale de différents savoir-faire dans quelques pays. Pour certains processus de production, l'un des seuls pays ayant le savoir-faire est la Chine !

Les conséquences sur l'emploi de ces relocalisations sont importantes tant pour les emplois qualifiés que pour les emplois non qualifiés.

Pour les emplois qualifiés, les directions Supply Chain doivent intégrer toutes les compétences de la Supply Chain 4.0, former le management aux problématiques de la robotisation et de la gestion des data. Les systèmes éducatifs devront également former les ingénieurs nécessaires et financer la recherche dans les Supply 4.0. Il reste possible que l'essentiel de la robotisation se fasse en Chine et non en Europe du fait des capacités de mise en œuvre de ces Supply 4.0.

Pour les emplois non qualifiés, la problématique est largement aussi complexe. Dans un entrepôt manuel, les opérateurs doivent exécuter des

tâches répétitives sans aucune initiative. Dans un entrepôt automatisé, les opérateurs devront être autonomes et prendre des décisions en collaboration avec des cobots. Dans une grande majorité de cas, ces opérateurs ont quitté l'école sans diplôme et sans véritable confiance en leur capacité de décision. La gestion du changement sera difficile et devra commencer dès l'école !

En ce qui concerne la dernière problématique, l'infonuagique (Cloud Computing), les tours de contrôle (Control Tower) et les jumeaux numériques (Digital Twin), permettent, de plus en plus, de suivre en temps réel les flux d'un site de production, d'un entrepôt ou d'une supply chain, à distance. Ceci facilite la délocalisation des services de support et de pilotage. Cette délocalisation nécessite la protection des données mises à disposition dans le nuage, à partir de protocoles de cybersécurité et d'une atténuation des risques liés aux ruptures numériques.

Les nouvelles technologies permettent ainsi de relocaliser la production et en même temps facilitent la délocalisation des services. Des emplois à forte valeur ajoutée pourraient être délocalisés en accompagnant la relocalisation de la production.

Dans un monde de plus en plus imprédictible et digitalisé, les stratégies des entreprises et des états sont vouées à s'adapter de plus en plus vite en tenant compte de la robotisation et de la Supply Chain 4.0.



CONTACTS



SARAH AZRIA

Manager

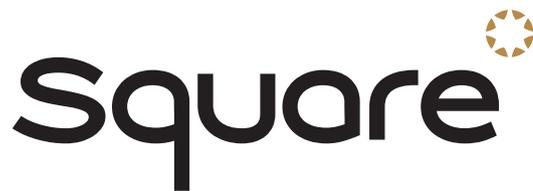
+33 6 71 88 02 20
s.azria@flowandco.fr



XAVIER PERON

Co-fondateur de Flow&Co

x.peron@flowandco.fr



DONNER DU FUTUR AU TALENT

Fondé en 2008, Square est un groupe de conseil en stratégie et organisation qui réunit 7 cabinets en France, Belgique et Luxembourg. Circle, Tallis, Viatys, Vertuo, Adway, Initio Belgique, Initio Luxembourg et Flow&Co sont des cabinets de conseil spécialisés par métier, secteur d'activité ou niveau d'intervention.

Cette organisation, unique et spécifique, favorise la proximité, l'engagement, l'agilité et l'expertise au sein de chaque cabinet. La complémentarité des cabinets permet à Square d'adresser, avec plus de 700 consultants, les projets les plus complexes de ses clients. Square conseille ses clients en mettant à leur disposition ses expertises sur 9 domaines phares.

DATA

Square élabore des stratégies Data et assure leurs déclinaisons opérationnelles à travers la conduite de projets de Data Management, Data Analyse et Data Science. Notre approche experte et pragmatique vise à valoriser et sécuriser le patrimoine de données des entreprises.

DIGITAL

Square accompagne ses clients dans l'élaboration de leur stratégie digitale, la conception et la mise en œuvre de nouveaux parcours digitaux pour leurs clients ou leurs collaborateurs, ainsi que dans l'ensemble des chantiers d'acculturation interne et d'accompagnement aux nouvelles méthodes de conception.

INNOVATION

Square accompagne ses clients dans la transformation de leur dynamique d'innovation. Nos consultants, par leur approche sur-mesure, aident à concevoir, industrialiser et gouverner l'innovation pour assurer la croissance durable des entreprises et leur transformation en entité socialement et écologiquement responsable.

MARKETING

Square accompagne ses clients sur l'ensemble du spectre marketing : marketing stratégique, marketing relationnel, marketing de l'offre, communication, tarification, satisfaction clients. Nos expertises initialement centrées sur les secteurs de la banque et de l'assurance, s'adressent désormais à l'ensemble des industries ou services B2C.

PEOPLE & CHANGE

Square aide ses clients à acquérir, fédérer et développer le capital humain de leur organisation. Afin de créer davantage d'engagement au sein des équipes, nos interventions portent principalement sur l'adaptation des méthodes de travail aux changements opérationnels et culturels, l'efficacité des directions des ressources humaines et le développement des compétences.

RISK & FINANCE

Square prend en charge le pilotage des programmes de maîtrise des risques financiers et non financiers, ainsi que la transformation des fonctions Risque et Finance face à l'évolution des dispositifs prudentiels et à l'irruption des problématiques liées à la maîtrise de la donnée.

REGULATORY & COMPLIANCE

Square conseille ses clients dans le déploiement des nouvelles réglementations, ainsi que dans l'optimisation et le renforcement des dispositifs de contrôle. Ce domaine d'excellence s'appuie sur une communauté d'experts de 130 consultants qui, outre ses missions auprès des clients, conduit d'importants travaux d'investigation et de publication.

RSE ET FINANCE DURABLE

Square accompagne ses clients dans leur transformation vers un modèle plus responsable. Cet accompagnement porte sur la définition stratégique de l'ambition RSE, la transformation des business models, les travaux de mise en conformité tant dans leur déclinaison réglementaire que dans leur déclinaison Data Management et Data Science. Square accompagne également ses clients dans leurs chantiers d'accompagnement humain et culturel de leur politique RSE.

SUPPLY-CHAIN

Square assure l'excellence opérationnelle de la logistique, des achats aux derniers kilomètres, avec des parcours clients différenciants. Nos experts conçoivent des solutions omnicanales mettant en œuvre les meilleures pratiques des systèmes d'informations, de la mécanisation à la robotisation.

Le présent book décrit la révolution qui s'opère actuellement dans le monde de la Logistique. Mécanisation, Automatisation, Robotisation et même «Cobotisation» viennent transformer profondément la manière d'exercer les métiers de la logistique. Plusieurs phénomènes contribuent à cette transformation : la recherche d'économies de coûts de la supply chain, la volonté de réduire la pénibilité du travail dans les entrepôts, la croissance du e-commerce, qui accroît de manière radicale le besoin de réaliser et d'acheminer, à coûts réduits, des colis au contenu totalement personnalisé. Ce book très didactique et complet présente les tendances en action sur le marché, prend le contrepied de quelques idées reçues et fournit un éclairage sur les technologies nouvelles de «jumeau numérique». Ce book a été écrit par les consultants du Domaine d'Excellence Supply Chain de Square.



Square 

DONNER DU FUTUR AU TALENT

square-management.com
