



**HAL**  
open science

## L'indispensable évolution des "transport management system" pour le pilotage des flux de produits sensibles

Quentin Schoen, Matthieu Luras, Franck Fontanili, Sébastien Truptil, André Machado-Alves

### ► To cite this version:

Quentin Schoen, Matthieu Luras, Franck Fontanili, Sébastien Truptil, André Machado-Alves. L'indispensable évolution des "transport management system" pour le pilotage des flux de produits sensibles. MOSIM'18 - 12ème Conférence internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation, ISAE; IMT Mines Albi, Jun 2018, Toulouse, France. 8 p. hal-01852594

**HAL Id: hal-01852594**

<https://imt-mines-albi.hal.science/hal-01852594v1>

Submitted on 22 Jan 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# L'INDISPENSABLE EVOLUTION DES « TRANSPORT MANAGEMENT SYSTEM » POUR LE PILOTAGE DES FLUX DE PRODUITS SENSIBLES

**A. Quentin SCHOEN, B Matthieu LAURAS,  
C. Franck FONTANILI, D. Sébastien  
TRUPTIL**

IMT Mines Albi – Campus Jarlard – 81013 ALBI

- A. [quentin.schoen@mines-albi.fr](mailto:quentin.schoen@mines-albi.fr),
- B. [matthieu.lauras@mines-albi.fr](mailto:matthieu.lauras@mines-albi.fr),
- C. [franck.fontanili@mines-albi.fr](mailto:franck.fontanili@mines-albi.fr),
- D. [sebastien.truptil@mines-albi.fr](mailto:sebastien.truptil@mines-albi.fr)

**E. André MACHADO-ALVES**

Etablissement Français du Sang – Avenue de Grande  
Bretagne – 31000 Toulouse

E. [andre.machado-alves@efs.sante.fr](mailto:andre.machado-alves@efs.sante.fr)

**RESUME :** *Les Transport Management Systems (TMS) se sont développés depuis une trentaine d'années avec pour objectif de supporter les activités de transport des colis. Ces systèmes, devenus de plus en plus sophistiqués afin de s'adapter à des pratiques de plus en plus complexes se sont aussi fragmentés en « briques fonctionnelles » activées ou non selon les besoins des clients. Malgré tout, les flux de produits considérés sensibles restent difficiles à maîtriser et les TMS ne répondent pas ou mal au besoin exprimé. Aussi, considérant les mutations profondes en cours dans le domaine de la logistique et les technologies émergentes, il apparaît indispensable de mettre en place une nouvelle approche pour développer des systèmes de pilotage et surveillance des flux de transport de produits sensibles. L'Etablissement Français du Sang est pris en exemple de potentiel terrain d'application.*

**MOTS-CLES :** *Transport Management System, agilité, pilotage, surveillance, produit sensible*

## INTRODUCTION

Depuis une trentaine d'années, afin de supporter les activités de transport, des logiciels ont fait leur apparition. Aujourd'hui appelés Transport Management System (TMS) ils étaient initialement utilisés en majorité pour (Marchet *et al.*, 2009):

- Soutenir la planification des transports et optimiser les chargements (Mason *et al.*, 2003)
- Faciliter les échanges de données entre le terrain et le système informatique, automatiser certains flux de colis (Lambert *et al.*, 1998)
- Surveiller les véhicules et les sites de distribution (état, consommations, temps d'arrêts)

En même temps que se développaient ces TMS, dans les années 2000, l'environnement logistique s'est peu à peu complexifié avec de plus en plus d'acteurs intervenant dans les opérations logistiques (Marchet *et al.*, 2009). Avec la démocratisation d'Internet et de technologies basées sur le réseau, de nouvelles fonctionnalités ont pu apparaître dans les TMS et les capacités de suivi des véhicules se sont renforcées. Les moteurs d'optimisation se sont développés intégrant toujours plus de paramètres et permettant une visualisation toujours plus claire des solutions proposées. Ce type de logiciel permet de soutenir le transport de milliers de colis/conteneurs à travers le monde. Toutefois, et malgré toutes les fonctionnalités proposées, le transport reste dans certains cas, difficile à maîtriser et peut alors être qualifié de « sensible ».

Le transport peut être jugé sensible pour 2 raisons :

- L'étape de transport présente un risque pour le produit en lui-même (perte, vol, endommagement du produit, de l'environnement, etc.).
- L'étape de transport est sensible non pas parce que le produit l'est mais parce qu'une dégradation de la qualité de service de cette étape (délai, dommages sur le produit) a de lourdes conséquences (financières, vitales) sur le reste de la chaîne.

Dans le premier cas nous pouvons inclure des produits :

- Chers, comme des appareils électroniques à haute valeur ajoutée, des métaux précieux.
- Vitaux, comme des organes, des produits sanguins, certains médicaments.
- Dangereux, comme des produits chimiques et/ou potentiellement contaminants (bactériologiques, radioactifs, etc.).
- Rares comme des œuvres d'art.
- Fragiles, comme des produits sensibles aux chocs, vibrations, températures, ou des êtres vivants.

Dans le second cas, n'importe quel produit est susceptible d'être concerné dès lors que celui qui en demande l'acheminement considère que les impacts en cas de retard ou d'endommagement du produit seront lourds. Ceci est particulièrement vrai lors d'une crise humanitaire par exemple ou certains produits a priori banals deviennent indispensables à des milliers de personnes (eau, nourriture, médicaments, etc.). Ces deux catégories ne sont évidemment pas disjointes.

Autant les fonctionnalités apportées par les TMS qui existent actuellement sur le marché peuvent a priori suffire à la gestion et au pilotage du transport de produits

communs, autant elles ne suffisent pas dès lors qu'un besoin d'agilité et de surveillance accrue entre en jeu. De plus, des lacunes au niveau de la réelle efficacité et efficacité des transports organisés par les TMS apparaissent alors même que l'environnement logistique se complexifie. Ces lacunes risquent de s'accroître vu les tendances technologiques et d'usages qui se développent.

Aussi, il nous apparaît nécessaire de nous interroger sur l'approche à adopter pour développer les TMS qui serviront dans les années à venir. L'objectif de cette étude est de définir une nouvelle orientation pour le développement de telles applications et de soulever les axes de recherches sous jacents. La première partie est consacrée aux fonctionnalités existantes actuellement, leurs objectifs et leurs limites, en particulier pour le transport de produits sensibles. La seconde partie développe les tendances technologiques et d'usages attendues dans les années à venir, leurs impacts et opportunités sur les activités logistiques et dresse un bilan du transport des produits sensibles dans ces conditions. La troisième partie s'attache quant à elle à proposer un cadre conceptuel pour soutenir les principales évolutions à engager. Enfin, la quatrième prend pour exemple l'Etablissement Français du Sang où ce type de question se pose concrètement.

## 1 LES TRANSPORT MANAGEMENT SYSTEMS (TMS) – UNE EVOLUTION NECESSAIRE

### 1.1 Les premiers TMS

Comme (Giannopoulos, 2004), l'énonce les logiciels de pilotage des transports servent à fournir « *“an enabling tool” for the safe and efficient operation of Freight Transport systems* ». Ces logiciels sont nés dans les années 90 et se sont développés dans les années 2000 avec de plus en plus de fonctionnalités. En effet, des projets nationaux et européens pour développer ce type de système capable de supporter les activités logistiques ont alors vu le jour (Perego *et al.*, 2011). Le transport étant à l'interface de nombreux acteurs différents (expéditeur, transporteur, destinataire, transitaire, etc.) qui n'appartiennent pas forcément à la même entité la coordination (Perego *et al.*, 2011) et l'interfaçage sont devenus rapidement des problématiques à traiter.

Comme l'explique (Marchet *et al.*, 2009), ce fut d'autant plus le cas que l'organisation du transport de fret s'est complexifiée dans les années 2000. Le nombre important d'acteurs impliqués dans le transport d'un conteneur entre le moment où celui-ci est rempli et le moment où il est vidé rend les opérations logistiques de plus en plus complexes. Ceci est d'autant plus vrai entre plusieurs pays et/ou avec des changements de mode de transport (transporteur ferroviaire, maritime, routier, gestionnaire de plateforme multimodale, de stockage provisoire, affréteur, etc.), sans considérer la gestion du dernier kilomètre pour certains produits. Comme (Giannopoulos, 2004) l'avait anticipé, les TMS se sont retrouvés peu à peu les uns à côté des autres, en mesure de gérer la

*supply chain* de leur entreprise mais avec des difficultés pour échanger des informations entre eux et collaborer. Ces discontinuités dans l'échange d'information tout le long de la chaîne logistique posent le problème de la prise de décision efficace et efficiente avec suffisamment d'informations fiables.

### 1.2 Les TMS aujourd'hui

Similairement aux autres logiciels du marché utilisés pour gérer les opérations logistiques, les TMS ont évolué peu à peu vers des modes comportant plusieurs briques fonctionnelles activées ou non selon les besoins de chaque client, qu'ils soient « transporteurs » ou « chargeurs » (i.e. en demande de transport).

Les fonctions que l'on trouve aujourd'hui classiquement chez les éditeurs de solutions TMS sont les suivantes :

- Configuration des sites et zones (les nœuds du réseau)
- Configuration des tournées de transport
- Configuration des prestataires sous-traitants
- Mise à l'expédition de colis, édition des documents de transport et documents douaniers
- Optimisation et simulation des tournées de transport
- Suivi des étapes de transport des colis, surveillance des véhicules
- Bourse au fret avec mise en concurrence des différents prestataires potentiels pour une même commande, création de devis
- Gestion de la facturation et suivi client
- Gestion de la logistique inverse (retour produits et bacs vides)
- Suivi de la qualité, des anomalies, KPI
- Connexion et configuration des matériels mobiles (douchettes, PDA, capteurs)
- Maintenance et suivi du parc de véhicules, des consommations, gestion RH
- Solution Warehouse Management System simplifiée

Ces systèmes sont utilisés tous les jours pour piloter et surveiller les transports de colis à travers le monde. Au travers d'Echanges de Données Informatisées (EDI) et grâce à des Application Program Interfaces (API), les données circulent d'un système à l'autre de façon plus ou moins efficace et automatisée entre acteurs de la chaîne logistique. Ces interfaces entre « briques fonctionnelles » d'acteurs divers et l'accès en mode SaaS sous forme « Plug and Play » ont permis la démocratisation de ces logiciels, non plus réservés aux entreprises qui peuvent se les offrir (licence et maintenance) mais potentiellement à n'importe quel acteur logistique (Harris *et al.*, 2015).

Nous avons réalisé un benchmark sur 10 entreprises qui proposent des briques fonctionnelles de TMS et/ou des licences. La figure 1 est une synthèse de ce benchmark avec la mise en avant des fonctionnalités décrites précédemment et leur occurrence. Il en ressort que les parties optimisation et simulation de tournées sont moins représentées que les autres. L'optimisation est souvent sous-traitée à des moteurs d'optimisation extérieurs, les algo-

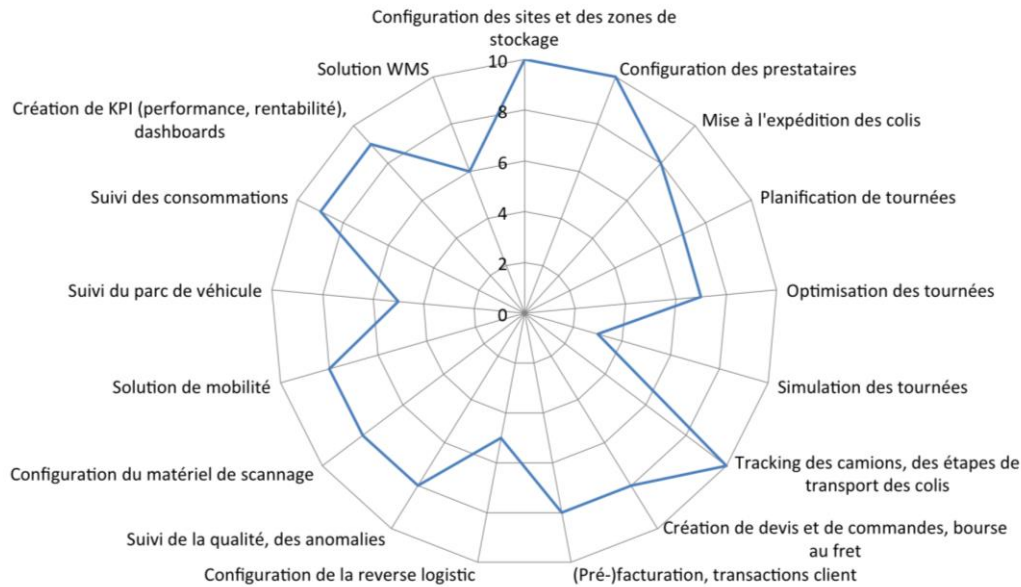


Figure 1 : Radar d’occurrences des fonctionnalités courantes des TMS

rithmes étant très spécifiques. La simulation n’est pas encore très développée, probablement également car cela demande des développements bien particuliers. La Reverse Logistics (gestion des contenants vides et retours produits) est souvent considérée comme étant à la limite des Warehouse Management Systems (WMS) d’où sa faible présence. Enfin la planification de même que la gestion des véhicules ne sont parfois pas proposées, en particulier dans le cas de TMS uniquement destinés à des chargeurs qui ne se servent que de la bourse au fret.

### 1.3 Avantages et limites

L’un des objectifs premiers des TMS est de maximiser le chargement des véhicules en optimisant les tournées (régulières ou non) de transports vis-à-vis des colis/conteneurs à transporter. Ceci a pour but de réduire les coûts tout en respectant qualité du transport et délais d’acheminement souhaités. L’autre objectif est d’assurer la traçabilité du transport des colis. Ceci permet de limiter les risques de perte/vol, de suivre le colis et en cas de transport dans des conditions particulières de prouver qu’il a toujours été stocké dans un environnement adapté (chaîne du froid par exemple).

Cette approche basée sur la notion de contenu/contenant (produits dans colis, colis sur palette, palette dans conteneur, conteneur sur camion, etc.) a l’avantage d’automatiser et d’optimiser l’allocation des colis aux véhicules. De plus, elle permet de ne suivre que ce qui est nécessaire. En effet, dès lors que l’on regroupe des colis dans un véhicule, cela signifie qu’ils partagent un certain nombre de paramètres (site de départ, d’arrivée, de transit, conditions de transport, type de produits contenus, etc.). Si on valide la présence d’un colis dans l’enceinte d’un véhicule, en suivant l’état et la localisation de l’enceinte on suit l’état des unités qu’elle contient. Ceci est valable également pour de potentielles décisions en cas de problème. L’ensemble des colis est donc assimilable une unité que l’on suit, le véhicule.

Malheureusement, ces systèmes montrent peu à peu leurs limites, en particulier pour le transport de colis sensibles. Nous listons ci-dessous quelques-unes des principales limites :

- Malgré tous les efforts des modules d’optimisation, les véhicules sont rarement pleins et transportent beaucoup de vide (Montreuil, 2011).
- L’optimisation des transports prend en compte les transporteurs avec lesquels chaque société est en marché et non pas tous les véhicules disponibles et intéressés autour d’elle (autres sociétés, particuliers, transports en commun, etc.).
- L’agilité (Barthe-Delanoë *et al.*, 2013) est limitée car dès lors que l’on met en place ce système de contenu/contenant seul le véhicule est suivi pendant le transport, le contenu étant vu comme une boîte noire. En cas d’événement imprévu il est parfois difficile de remonter aux produits transportés, les TMS ne fournissant des informations que sur la liste d’unités suivies et le véhicule, et pas chaque produit.
- La multimodalité reste difficile (Montreuil, 2011) à atteindre et est en général évitée quand c’est possible, la normalisation informatique et physique des colis étant encore à parfaire. Il apparaît souvent plus sûr de mettre un colis dans un véhicule fermé entre l’expéditeur et le destinataire que de lui faire « subir » plusieurs ruptures de charges.
- Le suivi des conditions de transport (température, humidité, chocs, etc.) au niveau de l’enceinte du véhicule n’est pas toujours suffisant pour des produits sensibles. Les chocs, la diffusion thermique, sont autant de paramètres non traçables au niveau du véhicule mais utiles voir nécessaires au niveau des colis.

Pour le transport de produits sensibles, ces lacunes ont un impact direct. En effet, la surveillance de chaque produit est indispensable afin d’en assurer le bon acheminement et pour le protéger de l’environnement extérieur (température, humidité, risque de vol, risque sur

l'environnement, etc.). En cas d'urgence (produits médicaux, gestion de crise, retard important) ou d'événement imprévu pendant le transport (panne véhicule, trafic, demande urgente), l'agilité est nécessaire afin de protéger les produits et de les acheminer au plus vite là où cela est nécessaire.

La surveillance fine et l'agilité ne sont actuellement pas des points forts des TMS alors qu'elles sont absolument nécessaires au transport de produits sensibles. Dans la suite nous considérons l'efficacité comme le rapport des résultats sur les moyens et l'efficacités le rapport des résultats sur les objectifs (Gibert, 1980). Nous venons de voir que l'efficacité est limitée malgré toutes les optimisations possibles. L'efficacité a un coût, avec en général des transports rapides, dédiés, point à point. Ce coût est autant environnemental, financier que social.

Aussi, cette vision centrée sur le véhicule n'est probablement plus aussi pertinente qu'avant, l'environnement logistique ayant poursuivi sa complexification alors que les fondements des TMS n'ont pas ou peu évolués. Cette complexification et les lacunes soulevées risquent d'ailleurs d'être de plus en plus criantes dans les années à venir.

## 2 LES MUTATIONS PROFONDES DE L'ENVIRONNEMENT LOGISTIQUE

Plusieurs axes de recherche, tant académiques qu'industriels, tendent à montrer que dans les années qui viennent la logistique devrait être affectée par des transformations majeures. En effet, plusieurs innovations et changement d'habitudes devraient impacter directement la façon avec laquelle nous produisons et transportons ce dont nous avons besoin. Ci-dessous, une dizaine d'hypothèses sont mises en avant. Les premières, concernant la captation et l'exploitation des données, vont impacter toute la *supply chain*. La seconde partie, concernant le réseau de distribution s'intéresse aux nœuds du réseau et à leurs liens alors que la troisième concerne l'évolution des colis qui circulent sur ce réseau. Les impacts potentiels et les besoins que ces tendances font naître dans les logiciels de pilotage de transports, en particulier pour les produits sensibles, sont aussi abordés.

### 2.1 Capter, accéder et exploiter les données

Ces 10 dernières années, le développement de technologies et d'applications web a révolutionné peu à peu la façon dont nous créons, transmettons et accédons aux données d'une part, les exploitons d'autre part.

Pour ce qui est de les capter, l'émergence de l'internet des objets (IoT) et d'appareils toujours plus petits et puissants permet de connecter n'importe quel objet au réseau, n'importe quand et n'importe où (Harris *et al.*, 2015). L'apparition des smartphones, des montres connectées, et de tous les autres objets connectés à destination du grand public permettent de suivre l'état et connaître l'environnement d'une infinité d'objets. Capter ces

données sur le terrain, les transmettre via Internet et les traiter permet de surveiller et piloter ces objets ou leur environnement. La RFID a déjà conquis de nombreux secteurs de la logistique et les possibilités offertes entre autres par les puces de géolocalisation avec des technologies type RTLS ou LoRa devrait rapidement accroître leur utilisation.

Concernant le stockage et le traitement des données transmises, le « cloud computing » offre depuis plusieurs années déjà la possibilité de stocker ces données dans des data centers et d'y accéder depuis n'importe quel appareil connecté à Internet. Ceci a contribué à développer une inter-connectivité qui offre de nouvelles perspectives. Par exemple, l'échange de données entre entreprises, bien que toujours imparfait, s'en trouve grandement simplifié ; chaque acteur n'a qu'à se connecter au serveur pour récupérer les informations pour lesquelles il possède un droit d'accès. Cette simplification pousse à l'inter-connectivité, inhérente aux activités logistiques entre plusieurs acteurs, qu'ils soient privés ou publics. Cette capacité à échanger des données rapidement et à collaborer peut être déterminante en cas de prises de décisions rapides basées sur des éléments terrain.

Grâce entre autres au cloud computing, de nombreuses applications sont maintenant proposées sous forme de service avec le développement des modes « Software as a Service (SaaS) » (O'Sullivan, 2007), (Weber, 2010). Ceci permet à n'importe qui d'accéder à un service via Internet modulo un loyer. Les prestataires d'applications, entre autres logistiques (TMS, WMS, OMS, etc.), proposent maintenant leurs logiciels sous forme de briques fonctionnelles avec des entrées et des sorties, briques que l'on décide ou non d'activer. Ceci permet tout d'abord une grande flexibilité dans l'utilisation des fonctionnalités d'une application, les services étant activés à la demande. Cela donne accès à ces applications à de petites et moyennes entreprises qui ne pouvaient pas se permettre d'acheter et de maintenir un logiciel (Harris *et al.*, 2015). Chaque acteur se concentre sur son métier en profitant de ce dont il a besoin au travers d'un accès « plug and play » qui doit lui offrir le service dont il a besoin.

Ces services utilisent la plupart du temps des données qui doivent être traitées, exploitées pour en extraire une information exploitable. Avec le développement de l'IoT sont apparues les problématiques de Big Data. En effet, de plus en plus d'appareils sont maintenant capables de capter et transmettre des données du terrain qu'il faut être en mesure d'exploiter avec des volumes et des débits importants. (Wamba *et al.*, 2015) définit alors 5 paramètres liés au Big Data (les « 5 V ») :

- Volumétrie (quantité de données)
- Vitesse (débit de données)
- Variété (diversité des types de données)
- Véracité (niveaux de confiance dans les données récoltées)
- Valeur (interprétation des données vis-à-vis de leur valeur)

La capacité des acteurs de la chaîne logistique à tirer profit de ces données en extrayant des informations ex-

exploitables capables de soutenir et alimenter un système d'aide à la décision sera à l'avenir un facteur clé de succès. En effet, capter ces données est une chose mais des techniques telles que le Process Mining, le Machine Learning, et des algorithmes d'optimisation suffisamment efficaces et pertinents seront nécessaires pour réellement supporter la chaîne logistique.

Ces technologies ont commencé déjà à impacter le grand public avec smartphones, objets connectés, publicité ciblée, et proposition de films, musiques, adaptés à nos goûts. Le secteur de la logistique n'est pas en reste et devrait rapidement adopter ce type de services tant d'un point de vue opérationnel que décisionnel.

## 2.2 Prendre en charge, transporter et distribuer

Nous abordons ici 4 tendances qui devraient offrir de nouvelles opportunités en transformant les réseaux de distribution et devraient imposer de nouveaux besoins aux logiciels de pilotage et suivi du transport.

Tout d'abord la multi modalité, c'est-à-dire l'utilisation d'a minima 2 modes de transport différents (route, ferroviaire, aérien, etc.) pour transporter des biens (UN, 1980), pourraient se développer rapidement dans les années à venir. En effet, (Harris *et al.*, 2015) expliquent qu'en dépit des contraintes sur les emballages, le transport et les conditions de stockage, la multi modalité permet de tirer profit de chaque moyen de transport utilisé. Ceci permet une grande flexibilité, le colis étant transporté sur chaque segment par le moyen a priori le plus adapté. Toutefois cela implique une normalisation, a minima physique et a priori informatique, pour que le colis supporte les ruptures de charges et puisse être pris en charge sur chaque segment. En cas d'urgence, cela revient à tirer parti des meilleurs moyens de transports disponibles et ne pas être freiné par des contraintes physiques, informatiques ou administratives qui impactent la performance de l'ensemble du réseau.

Ce premier point s'accompagne assez logiquement d'une séparation, d'un découpage des activités logistiques entre plusieurs acteurs. L'apparition d'entreprises 3PL et 4PL voir 5PL (Hosie *et al.*, 2007) qui prennent en charge peu à peu les activités logistiques d'entreprises dont ça n'est pas le métier initie cette décomposition. Comme le mode SaaS dans l'informatique, des services proposés par des entreprises ou des particuliers viennent soutenir et modifier la chaîne logistique (Uber, Deliveroo, Blablacar, etc.) comme (DHL, 2016) le prévoit. Sur chaque segment de transport potentiel nous devrions alors assister à une mise en concurrence de tous ces acteurs, chacun proposant un certain service à un certain coût. Si un ou plusieurs systèmes informatiques supportent cette activité, ceci permettrait lors d'un besoin de transport de profiter de tous le réseau des véhicules qui circulent avec une capacité de chargement disponible. En plus de gains d'efficience, un gain d'efficacité devrait apparaître, sans compter une flexibilité accrue. Le colis devient l'objet

suivi sur le réseau et dont la route s'adapte suivant son besoin et les possibilités qui l'entourent, quels que soient les divers acteurs en jeu. Pour que ceci soit envisageable, il est donc nécessaire de rendre le colis suffisamment autonomes pour bien délimiter les responsabilités et le router parmi les différents acteurs.

Parallèlement, nous assistons à la personnalisation de la distribution des produits qui sont livrés au plus proche du client et suivant ses envies comme énoncé par (DHL, 2016) : « anytime, anywhere delivery model ». La mise en place d'infrastructures de proximité partagées et donc l'apparition de nouveaux usages devraient soutenir ce type de réseau comme les « smart lockers » (Faugere et Montreuil, 2016), des espaces de stockages partagés (Franklin et Spinler, 2011), et le covoiturage de colis. Ces nouvelles habitudes et matériels devraient grandement aider et supporter le transport, en particulier sur le dernier kilomètre. Via ce maillage fin à haute fréquence de prise en charge potentielle, la livraison « n'importe où, n'importe quand, de n'importe quel produit » devient une possibilité. Ces technologies et usages sont encore une fois basés sur le partage de ressources (stockage temporaire, covoiturage) et la collaboration. Si nous voulons conserver voire améliorer la traçabilité des colis ils se doivent donc d'être là encore suffisamment autonome pour enregistrer ce qui leur arrive et communiquer avec leur environnement.

Enfin, l'apparition des véhicules autonomes non plus dans des environnements « protégés » à l'intérieur des entreprises mais sur la voie publique (Van Meldert et De Boeck, 2016) pourrait rapidement révolutionner notre façon de transporter des biens. Dans un premier temps ces véhicules sont attendus dans des environnements relativement contrôlés. La variabilité et les interférences pendant le trajet y sont faibles, comme sur des autoroutes. Puis peu à peu nous pouvons imaginer que ces véhicules pourront rouler dans des environnements plus complexes. L'utilisation de ces véhicules disponibles a priori 24h/24h et 7j/7j peut permettre de diminuer le temps de prise en charge entre le moment où un besoin apparaît et le moment où le produit part réellement du site expéditeur. De plus, l'utilisation de drones devrait accroître grandement l'efficacité de tout le système, les livraisons urgentes et/ou de courtes distances étant a priori facilitées. Il est alors possible de livrer quasiment n'importe où, n'importe quel produit, efficacement et à toute heure.

## 2.3 Aspect colis

Pour finir, nous décrivons 4 hypothèses orientées sur les produits à transporter qui devraient également modifier les besoins en pilotage de *supply chain*.

Premièrement, comme (DHL, 2016) le mentionne, la tendance actuelle est à la personnalisation des produits selon les désirs du client. D'une production de masse uniforme l'industrie parvient au travers de configurations

à des produits finis de plus en plus personnalisés. Alors même que la satisfaction client peut a priori augmenter, le produit répondant précisément au besoin, cela complexifie la gamme de produits et par ricochet la *supply chain*. En effet, en cas de dommage ou de perte d'un colis lors du transport, si les produits contenus étaient uniques il n'est a priori pas possible de les remplacer par d'autres contenus dans le même véhicule. Ceci impacte directement le client qui devra attendre une nouvelle livraison voire fabrication ou choisir un autre produit. La question de la traçabilité fine au niveau de chaque colis sur toute la chaîne de distribution apparaît de plus en plus centrale afin d'assurer un taux de service suffisant.

Deuxièmement, et cela est lié à la personnalisation, le développement de l'additive manufacturing ou impression 3D devrait à terme modifier les flux de produits. Comme (Boon et Van Wee, 2017) l'expliquent, l'apparition de centre d'impression / personnalisation proches des consommateurs devraient diminuer le transport de produits finis sur de longues distances et au contraire augmenter celui de matières premières et produits « semi-finis » relativement standards. Cela induit alors une nouvelle décomposition de la chaîne de production et pourrait supporter la croissance des produits personnalisables. En devenant de plus en plus unique chaque produit devient de plus en plus sensible et donc nécessite d'être tracé finement.

Troisièmement, les flux de produits froids augmentent avec l'apparition de nouvelles technologies pour les emballages, les véhicules et le contrôle de la chaîne du froid. Celui est valable pour les produits agroalimentaires mais aussi pour certains médicaments et vaccins qui doivent être conservés à température maîtrisée quel que soit l'environnement extérieur. Conjointement, pour des raisons sanitaires, de nouvelles règles de traçabilité et de surveillance de ces produits sont apparues (Bogataj *et al.*, 2005) afin d'assurer la qualité du produit livré au destinataire. Une surveillance accrue des produits et de leurs conditions de transport est là encore nécessaire. Comme mentionné précédemment, être en mesure de faire le lien entre contenants et contenus est ici essentiel afin de tracer les produits et réagir avec agilité aux aléas (demande urgente, perte, dommage sur le produit).

Enfin, une demande accrue de traçabilité et de transparence de la part des consommateurs et des pouvoirs publics engage les industriels à fournir de plus en plus de données. Ces données, concernant l'origine du produit, ses conditions de fabrication et de distribution, deviennent même des arguments de vente (respect de l'environnement, des salariés qui conçoivent le produit, lieu de fabrication, etc.) qu'il faut donc fournir avant même l'achat du produit. La demande de justification dans l'utilisation des ressources, entre autres lorsqu'il s'agit de dons (logistique humanitaire) ou d'argent public (logistique hospitalière par exemple) rejoint aussi

cette demande accrue de traçabilité fine. Pour pouvoir finement tracer ces nombreux paramètres au niveau de chaque colis il apparaît alors indispensable de les capter et de les analyser lors de chaque étape afin de les fournir dès la livraison du colis. Ceci rejoint les possibilités offertes par les services précédemment décrits.

Quelle que soit la technologie ou la nouvelle organisation adoptée il est essentiel d'imaginer et d'anticiper dès maintenant les fonctionnalités dont nous aurons besoin pour surveiller et piloter ces activités dans un futur proche. Des fonctionnalités sont a priori manquantes dans la figure 1, et à envisager pour les futurs TMS.

## 2.4 Transporter des produits sensibles demain

Considérant ce que proposent les TMS du marché actuellement, leurs lacunes vis-à-vis du transport de produits sensibles, et les tendances logistiques nous pouvons dresser la conclusion suivante :

Actuellement :

- Les transports de produits sensibles ne sont pas agiles alors qu'ils le nécessitent.
- La surveillance des colis est soit disponible en temps réel mais imprécise, soit détaillé au colis mais disponible a posteriori du transport.
- L'efficacité est limitée, l'utilisation de transports dédiés étant souvent privilégiée pour assurer sécurité et efficacité.

Dans les années qui viennent :

- Le nombre de produits considérés sensibles et/ou à tracer finement devrait augmenter.
- L'environnement logistique tend à devenir de plus en plus collaboratif, permettant une plus grande efficacité. Avec de très nombreux acteurs en jeu sur un même acheminement, devrait alors être offert plus d'agilité et si les interfaces sont bien définies, d'efficacité via l'inter-modalité.
- Les réseaux logistiques deviennent capillaires, offrant la possibilité de connecter rapidement et facilement l'expéditeur au destinataire où qu'ils soient.
- L'automatisation des tâches logistiques devrait se poursuivre ce qui requiert a priori une normalisation physique et informatique des colis.
- De nouvelles possibilités pour capter, transmettre et exploiter les données offrent et offriront des opportunités majeures pour détecter les imprévus et supporter la prise de décisions.

Aussi, pour faire face à ces lacunes actuelles qui ne feront a priori que se renforcer dans l'environnement futur, alors même que de nouvelles opportunités sont à saisir, il apparaît nécessaire d'adopter une nouvelle approche pour définir les TMS. Nous en développons une dans la partie suivante, plus centrée sur les colis.

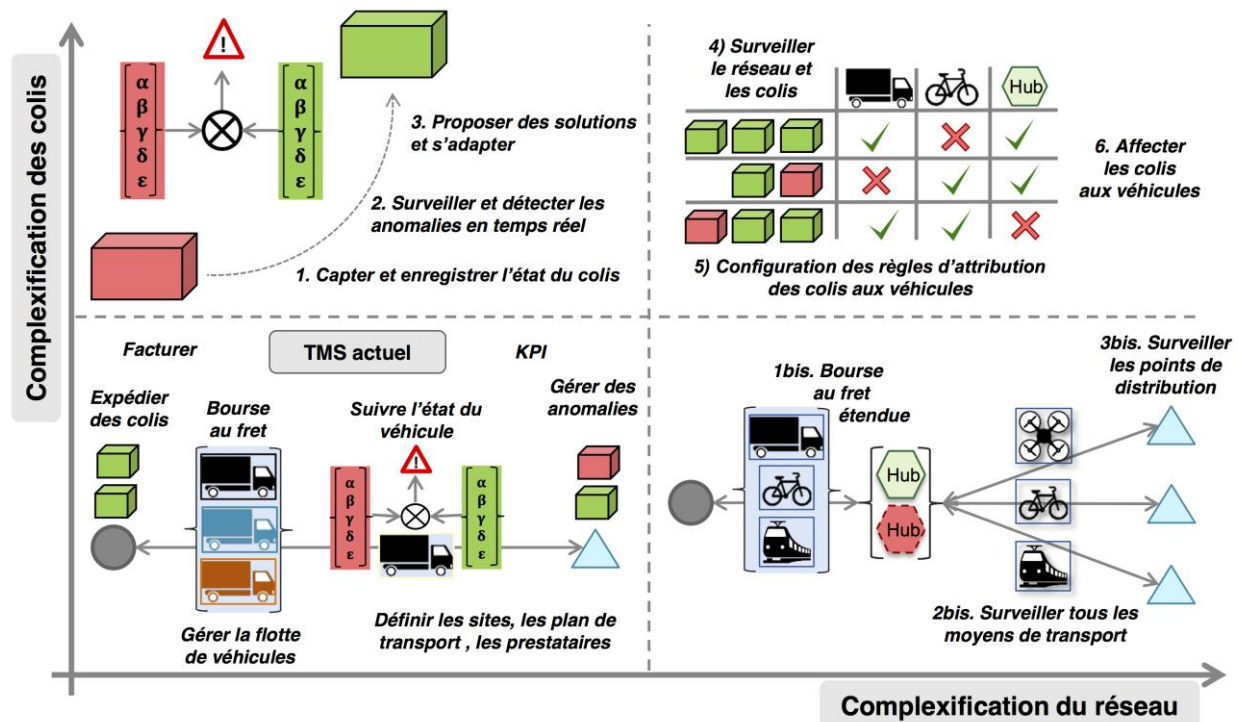


Figure 2 : Cadre de développement des futurs logiciels de pilotage et surveillance des flux de transport

### 3 EVOLUTIONS A APPORTER AUX TMS ACTUELS

Ainsi, une nouvelle approche est à envisager, les systèmes de pilotage et surveillance des transports actuels devant évoluer d'une vision *véhicule-centrée* vers une vision *colis-centrée*. En effet, dans un environnement « hyper-connecté » et qui essaie le plus possible de collaborer, il semble intéressant de voir les véhicules comme un support sur lequel circule des colis. De la même manière que l'information encapsulée circule sur le réseau Internet avec ses connexions et ses routeurs, les colis normalisés physiquement et informatiquement devraient être en mesure d'être déplacés par le réseau d'équipements et de véhicules. Cette idée est développée par Benoit Montreuil (Montreuil, 2011).

Pour cela, il apparaît nécessaire de développer d'une part l'autonomie des colis et d'autre part la surveillance et le pilotage du réseau. Ceci devrait permettre à terme d'attribuer et router automatiquement les colis tout le long de leur parcours. La figure 2 schématise ce cadre et met en avant des axes de recherches principaux :

- **Prise en compte et surveillance des colis :** La capacité à collecter des données au niveau du colis, soit directement via des capteurs intégrés soit via des capteurs externes et la possibilité d'en déduire une information exploitable est un premier point. Quel degré d'autonomie pour les colis ? Quelle centralisation de la prise de décision ? Quel système d'information pour supporter le système d'aide à la décision ? Quelle normalisation physique et informatique ? sont autant de questions encore à aborder.

- **Analyse du réseau de transport :** La récolte et la mise en commun de données concernant les acteurs potentiellement intéressés pour prendre en charge un colis à un moment « t » et un endroit « p » sera un autre chantier à étudier. Tant sur le plan technique qu'économique des modèles doivent être imaginés pour ouvrir le plus possible ce système et conserver efficacité et agilité dans la prise en charge des colis. Une/Des plateforme(s) de bourse au fret étendue(s) sont alors à concevoir conceptuellement, la variabilité des acteurs (taille, structure, activité) étant a priori importante.
- **Surveillance du réseau de transport :** La surveillance du réseau de véhicules (ou capacité de déplacement de charge) ainsi que du réseau de distribution et de stockage sont des prérequis indispensables à la mise en place d'une telle bourse au fret. Lancer un colis sur le réseau est une chose, s'assurer qu'il puisse être pris en charge et livré dans de bonnes conditions à l'étape suivante en est une autre.
- **Piloter les colis sur le réseau :** Des règles d'attribution des colis aux moyens de transports disponibles sont à créer, le routage du colis pas à pas suivant les moyens disponibles en conservant efficacité et efficacité est à imaginer. Suivant les contraintes de chaque colis et des colis environnants, et suivant les moyens disponibles dans cet environnement, un système de répartition des colis aux moyens apparaît modélisable. Cette capacité à avancer segment par segment en tirant profit à chaque instant des moyens disponibles autour du colis devrait accroître l'agilité et l'efficacité tout en conservant un haut niveau d'efficacité.