

## PROBLEMATIQUE DES RESSOURCES MOBILES AU SEIN D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE

G. IASSINOVSKAIA, C. VILLAMAUX, F. RIANE

F. PIRARD

LSM / FUCaM

Chaussée de Binche 151

B-7000 Mons - Belgique

iassinovskaia@fucam.ac.be, villamauxc@fucam.ac.be,

riane@fucam.ac.be

ETIS CNRS/ENSEA/Univ. Cergy-Pontoise,

F-95000 Cergy-Pontoise - France

florence.pirard@u-cergy.fr

### RESUME :

*Le but de cet article est de présenter la problématique des ressources mobiles au sein d'une chaîne logistique et de proposer des pistes pour mieux gérer leurs flux. Dans un premier temps, une analyse des flux des ressources circulant en boucle (Returnable Transport Items : RTI) dans une chaîne logistique est proposée. Ensuite, différents enjeux soulevés par la gestion de ces ressources sont mis en évidence. Puis, le modèle conceptuel, défini en vue de réaliser un modèle de simulation, est expliqué. Finalement, le prototype du modèle de simulation, développé afin de tester l'influence du partage d'informations relatives à la circulation des RTI, est décrit puis les résultats obtenus sont analysés.*

**MOTS-CLES :** Ressources mobiles, chaîne logistique, modélisation, simulation.

### 1 INTRODUCTION

Dans le contexte économique actuel, la concurrence exacerbée et la complexification des produits industriels rendent la compétitivité des entreprises plus difficile. Elle dépend de plus en plus de la performance globale de l'ensemble de la chaîne logistique à laquelle elles prennent part. Les entreprises de nos jours tendent alors à réorganiser en réseaux leurs installations depuis les sources d'approvisionnement jusqu'aux lieux de consommation. Elles s'associent avec d'autres acteurs de leurs chaînes logistiques pour répondre à des besoins clients de plus en plus éloignés et exploiter efficacement leurs systèmes de production et de distribution.

L'attention des entreprises a souvent été portée sur la gestion des ressources principales. La gestion des ressources mobiles (palettes, caisses, rolls...) circulant en boucle entre les acteurs d'une chaîne logistique a souvent été ignorée. Or, ces ressources peuvent peser lourd dans la balance des coûts : en France le marché de la palette représente plusieurs millions d'Euros pour chaque acteur de la chaîne et environ 10% de ces palettes sont annuellement perdues (Capgemini, 2004).

Dans la littérature, pour désigner ces ressources mobiles, les termes d'actifs mobiles, de moyens ou de supports de transport réutilisables ou retournables ou encore d'emballages réutilisables sont utilisés. Dans cet article, ces différentes expressions sont considérées comme synonymes et l'acronyme anglais RTI (Returnable Transport Items) est utilisé pour désigner ces ressources mobiles.

L'International Council for Reusable Transport Items (IC-RTI) est une commission, regroupant producteurs et

détaillants, qui fonctionne sous l'égide de ECR Europe<sup>1</sup> et est soutenu par EAN International. IC-RTI a défini les RTI comme des moyens d'assembler des marchandises pour le transport, le stockage, la manutention et la protection du produit dans la chaîne logistique et qui sont renvoyés pour une nouvelle utilisation, en incluant par exemple les palettes aussi bien que toutes les formes de caisses réutilisables, plateaux, boîtes, rolls, chariots, conteneurs.

Aujourd'hui la gestion des RTI est loin d'être maîtrisée. Chaque jour, des millions de ces ressources circulent dans le monde avec un manque de visibilité et de contrôle sur ces mouvements. Par exemple, la société CHEP<sup>2</sup>, leader mondial de solutions de gestion de palettes et de conteneurs, gère 300 millions de mouvements de RTI en Europe par an. L'entreprise de distribution belge Colruyt<sup>3</sup> utilise plus de 150000 bacs en plastiques réutilisables rien que pour transporter des produits alimentaires plutôt que d'employer un emballage à usage unique.

Les enjeux sont énormes vu les coûts de gestion des mouvements, de tri et de manutention et les coûts dus aux pertes : la société Arla Food estime qu'environ 10% par an de ses RTI sont perdus et elle doit alors réinvestir 2 millions d'Euros pour couvrir ces pertes (Johansson et Hellström, 2007). La course vers la réduction des coûts couplée à la volonté (ou contrainte) de tracer les actifs mobiles de production fait des RTI un point crucial pouvant influencer la performance de toute la chaîne logistique. En effet la rupture d'approvisionnement de ces ressources entraîne une interruption des flux produits,

<sup>1</sup> <http://www.ecrnet.org/>

<sup>2</sup> <http://www.chep.com/>

<sup>3</sup> <http://www.colruytgroup.be/>

avec toutes les conséquences que cela implique (surcoûts, non-respect des livraisons, ...). En outre, la mauvaise gestion de ces actifs allonge les délais de roulement. Leur identification mal aisée augmente les stocks dormants et la contrefaçon. De plus, le mauvais traitement de ces ressources risque d'altérer la qualité des produits transportés. Enfin, les acteurs de la chaîne logistique, dans un souci croissant de participer au développement durable, se préoccupent de préserver les ressources naturelles et l'environnement, en favorisant l'utilisation partagée de supports de manutention réutilisables qui permet entre autres de réduire considérablement la production de déchets d'emballages. Plusieurs directives du Parlement européen vont dans ce sens et ont défini la prévention de la formation de déchets en prônant notamment la réutilisation d'emballages (European Parliament and Council, 1994/62/EC, 2004/12/EC).

L'objectif de cet article est double. Il vise d'une part à présenter la problématique de la gestion des RTI au sein d'une chaîne logistique et d'autre part, à présenter un modèle pour tester les mécanismes de coordination et plus particulièrement de partage d'informations relatives à la circulation des RTI. Cet article s'organise de la manière suivante. Dans un premier temps, nous nous intéressons aux flux des RTI dans une chaîne logistique. Ensuite, nous mettons en évidence différents enjeux soulevés par la gestion de ces ressources. Puis, nous expliquons le modèle conceptuel que nous avons défini en vue de réaliser un modèle de simulation. Ensuite, nous présentons et expliquons notre prototype de simulation et les résultats obtenus. Enfin, nous terminons cet article par une présentation de nos perspectives de travail.

## 2 ANALYSE DES FLUX DES RTI

Une chaîne logistique peut être assimilée à un processus et se représenter comme une succession d'activités et d'acteurs depuis l'extraction des matières premières jusqu'au client final en passant par les entreprises de production, les grossistes et les détaillants. Les entreprises appartenant à une même chaîne logistique sont liées par différents flux. Habituellement dans la littérature, on distingue des flux de matières, des flux d'informations et des flux financiers. L'ajout des flux de ressources réutilisables (Figure 1) nous mène à considérer, en plus des flux traditionnels, une ou plusieurs boucles fermées (Kumar et Malegeant, 2006). Dans ces boucles les actifs mobiles doivent être collectés et préparés afin d'être réutilisés dans la chaîne principale.

L'adoption de RTI dans une chaîne logistique implique donc de mettre en œuvre une logistique des retours efficace. La logistique des retours consiste à gérer et à optimiser les flux provenant du consommateur en direction du fournisseur. Elle recouvre les activités suivantes : la collecte, l'inspection, le tri, la mise en état (*e.g* le lavage

d'un bac), la réparation et le recyclage (Lee et Chan, 2009).

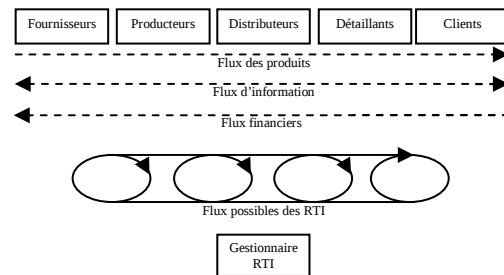


Figure 1 : Circulation des flux dans la chaîne logistique

De plus, de nouveaux acteurs interviennent dans la chaîne logistique comme par exemple le fournisseur des RTI ou le gestionnaire des RTI (LogicaCMG, 2004). La Figure 2 illustre la circulation des flux des ressources réutilisables dans une chaîne logistique. Notons qu'un acteur peut participer à une ou plusieurs boucle(s) de différents types de RTI.

Du point de vue de l'analyse des flux des RTI, le rôle de chaque acteur d'une chaîne logistique est bien déterminé :

- Le fournisseur des RTI produit des RTI et les vend aux propriétaires du parc des actifs mobiles. Il s'occupe du recyclage des ressources réutilisables usées. Pendant le processus de recyclage, les matériaux utilisés pour la fabrication des RTI peuvent être réutilisés.
- Le gestionnaire des RTI gère les parcs de RTI et les rend disponibles pour la chaîne logistique. De plus, il organise la collecte, l'inspection, le tri, la mise en état et la réparation et envoie les RTI usés au fournisseur de RTI pour le recyclage.
- Le fournisseur utilise les RTI dans la distribution de ses marchandises. Il charge des matières premières et/ou des composants sur les RTI vides et remet les RTI remplis aux producteurs.
- Le producteur reçoit les RTI remplis. Il utilise éventuellement ces RTI ou d'autres RTI vides pour la distribution de ses produits finis. Les RTI libérés non utilisés sont mis à disposition pour la collecte.
- Le distributeur et le détaillant reçoivent les RTI remplis et les rendent disponibles pour le ramassage. En plus dans certains cas, pour l'opération de conditionnement, le distributeur doit réceptionner des RTI vides. Notons que le client final d'une chaîne logistique utilise les RTI qu'à de très rares exceptions : dans ces cas, son rôle s'apparente à celui du détaillant. C'est pourquoi nous ne les intégrons pas dans notre étude.

Sur le schéma générique des flux (Figure 2), nous avons localisé un seul gestionnaire de RTI. En réalité, on se trouve confronté à trois différentes configurations de parc des RTI :

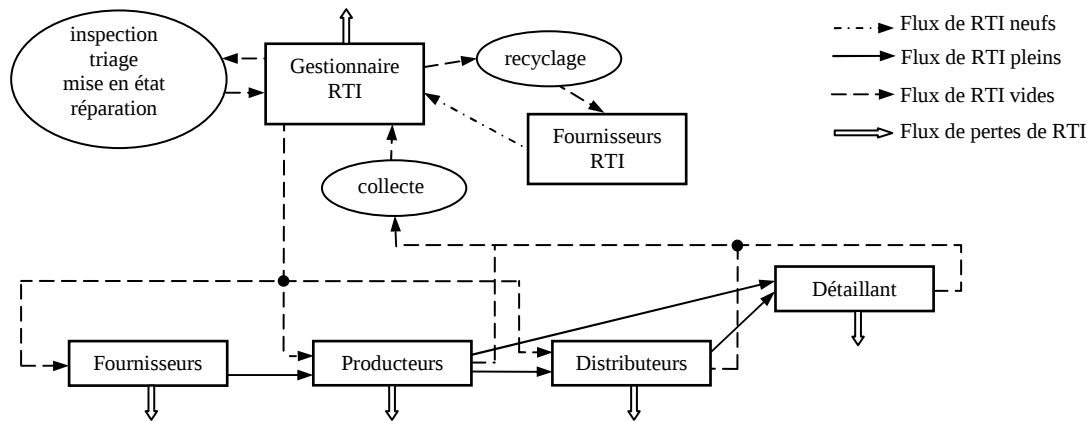


Figure 2 : Vue générique des flux de RTI dans une chaîne logistique

- Les parcs loués sont la propriété d'un prestataire logistique (e.g. société CHEP) auprès duquel les utilisateurs louent les actifs mobiles dont ils ont besoin. Cette configuration correspond au schéma générique présenté à la Figure 2.
- Les parcs dédiés sont la propriété d'un seul acteur, qui en est le gestionnaire (Figure 3). Le parc est exploité par le propriétaire et ses partenaires (e.g. l'entreprise Colruyt). Dans ce cas l'acteur – propriétaire du parc des actifs mobiles doit avoir dans son organisation un centre de service (CS) qui assure l'exécution d'opérations d'inspection, de tri, de remise en état et de réparation.

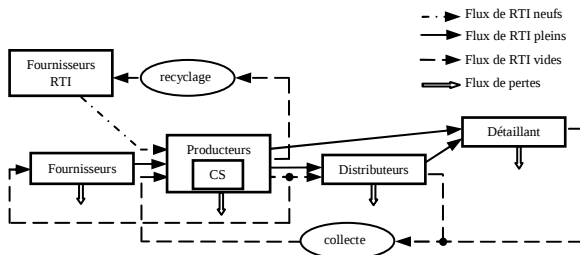


Figure 3 : Flux des RTI dans une chaîne logistique où un seul acteur joue le rôle de gestionnaire des RTI

- Les parcs mutualisés consistent en des ressources partagées entre différents propriétaires qui en sont les utilisateurs et qui possèdent chacun une partie du parc. La gestion physique de ces parcs est supposée être collective. Ce dernier cas, représenté à la Figure 4, généralise les deux autres configurations. Il est le plus difficile à gérer et nécessite une collaboration entre les copropriétaires pour une gestion efficace des ressources mobiles réutilisables. Dans cette configuration, les modalités de fonctionnement doivent être négociées au préalable entre les différents partenaires.

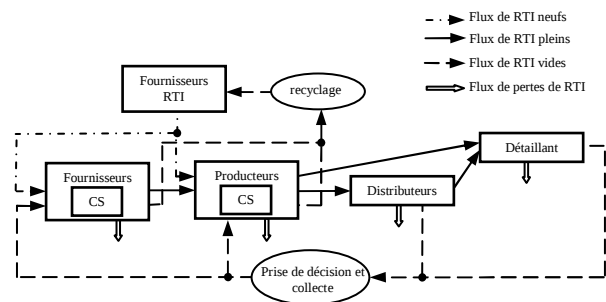


Figure 4 : Flux des RTI dans le cas de mutualisation des parcs des RTI

Il y a de nombreux coûts associés à la gestion des RTI dans une chaîne logistique. La liste des facteurs de coût comporte les coûts du matériel d'emballage, des dommages, d'entreposage, du transport (pour recevoir et pour envoyer les ressources réutilisables), le tri, l'inspection, le nettoyage et la réparation... Il est nécessaire d'ajouter à cette liste le coût des pertes de RTI qui sont liées au vol ou au mauvais placement de RTI (Lai *et al.*, 2008). Une enquête a été effectuée auprès des 233 partenaires de l'entreprise Aberdeen le Groupe (Johansson and Hellström, 2007). Un quart des gestionnaires ayant répondu annonce qu'ils perdent plus de 10 % de leur parc de RTI annuellement, et 10 % en perdent plus de 15 %. Un RTI peut coûter de 10€ chacun à des milliers d'euros. Il n'est pas rare que la valeur d'un RTI excède la valeur des marchandises qu'il contient. De là, une flotte de RTI représente souvent un investissement initial significatif et sa diminution peut représenter des dépenses d'exploitation considérables.

Pour terminer, notons que la gestion des ressources mobiles partagées n'est pas aisée ; une première raison expliquant cette difficulté réside dans le grand nombre de parcs à gros volumes à gérer, parcs souvent dispersés. Une autre raison vient du fait que les RTI peuvent être exploités par différents acteurs de la chaîne logistique, ce qui implique très souvent plusieurs entreprises et plusieurs filières (collaboration au sein de la chaîne logistique). Enfin, la dernière raison provient de la difficulté à collecter une information fiable et régulière sur les mouvements et sur les stocks de ces ressources (partage d'informations, traçabilité).

### 3 ENJEUX LIÉS À LA GESTION DES RTI

La prise en compte du flux de RTI circulant en boucle dans une chaîne logistique soulève un certain nombre de problèmes de gestion impliquant de prendre un nombre important de décisions. Notons que dans le cas où la prise de décision est distribuée entre les différents acteurs de la chaîne logistique, des conflits peuvent survenir. Des accords stipulant la manière dont ces conflits doivent être résolus, sont à définir au préalable. Dans la suite de cette partie, nous décrivons un certain nombre de problématiques liées à la gestion des RTI.

#### 3.1 Choix du type de gestion et dimensionnement du parc de RTI

À ce niveau, il faut définir la manière dont les RTI seront gérés au sein de la chaîne logistique. Tout d'abord, il faut déterminer quelle configuration choisir pour le parc de RTI. Comme mentionné dans la deuxième partie, le parc de RTI peut être dédié, loué ou mutualisé (Kärkkäinen *et al.*, 2004).

Ensuite, il faut dimensionner le parc de RTI. Autrement dit, il convient de déterminer le volume global de RTI nécessaire à chaque niveau de la chaîne logistique afin d'éviter une interruption du flux de produit. Les besoins en RTI seront fonction des flux de matières à approvisionner, fabriquer, stocker et distribuer qui sont déterminés au niveau du plan des besoins matières, du plan directeur de production et du plan des besoins de distribution.

Il convient également de préciser les modalités de stockage des RTI. Les stocks peuvent être répartis entre les différents acteurs de la chaîne logistique ou ils peuvent être centralisés au niveau du gestionnaire du parc. Des règles définissant la répartition des RTI en cas de rupture de stock doivent également être définies afin d'éviter tout conflit.

Il faut aussi déterminer la manière dont les RTI vides seront collectés en vue d'être remis en état puis réutilisés. Plusieurs schémas peuvent être envisagés pour la collecte des supports :

- Lors de la livraison des produits au client, le transporteur récupère des RTI vides et les ramène à l'entreprise ou chez le prestataire qui gère les RTI en vue de laver les supports et de les réinjecter dans la chaîne logistique. Ce schéma est envisageable dans le cas où la livraison au client est directe (camion complet). Si le transporteur doit visiter plusieurs clients lors d'une tournée, il devra mélanger ses livraisons avec des supports vides récupérés. Cette situation risque de lui causer des problèmes au niveau du déchargement de son camion : les supports vides devront être manutentionnés s'il souhaite accéder aux produits à livrer. De plus, il n'est pas certain qu'il y ait suffisamment de place dans le camion pour récupérer la totalité des ressources vides.

- Chez le client, après réception des produits, les bacs vides sont stockés. Ce stockage peut être réalisé dans une semi-remorque. Pour attester de la mise à disposition des supports, une information est envoyée à l'entreprise ou au prestataire. Lorsque la quantité de supports est suffisamment importante (e.g. la semi-remorque est pleine), l'entreprise ou le prestataire les récupère et les dirige vers un centre de lavage.
- Chez les clients, après réception des produits, les bacs vides sont stockés. Pour attester de la mise à disposition des supports, une information est envoyée à l'entreprise ou au prestataire. Ceux-ci organisent une tournée afin de récupérer les supports chez plusieurs clients. Dans ce cas, l'entreprise ou le prestataire doit déterminer la meilleure tournée.

#### 3.2 Développement de mécanismes de coordination entre les acteurs

Par leur nature les RTI sont utilisés par différents acteurs de la chaîne logistique. Pour une gestion plus efficace de ces ressources, les entreprises doivent gérer non seulement leurs processus internes, mais également se coordonner davantage avec leurs partenaires pour échanger plus efficacement les biens et l'information (Lee, 2000). Les partenaires doivent s'entendre sur les objectifs à atteindre, les ressources à allouer et les risques et bénéfices à partager.

Quand des acteurs d'une chaîne logistique s'impliquent dans la coordination, ils peuvent rencontrer plusieurs difficultés. La plus importante d'entre elles est le conflit entre intérêts propres et intérêts communs lors d'une prise de décisions. De plus, les mesures de performance de la chaîne, basées sur la performance individuelle, peuvent être non pertinentes pour évaluer le profit global du partenariat (Arshinder *et al.*, 2008). Enfin, les politiques de gestion traditionnelles peuvent ne pas être appropriées aux nouvelles conditions. Pour résoudre ces problèmes, les membres d'une chaîne logistique doivent déployer des mécanismes de coordination qui vont contribuer à bien déterminer les besoins et à mieux planifier les actions des partenaires (Lehoux *et al.*, 2009). Parmi ces mécanismes, le partage d'informations entre les acteurs est un élément clé de la gestion de la chaîne logistique qui fournit une base commune pour prendre des décisions plus proches de la réalité et réduire les risques (e.g. ruptures de stock, colis perdus,...) (Rached *et al.*, 2009).

#### 3.3 Système de traçabilité des RTI

Dans un premier temps, la question se pose sur le choix du type de traçabilité voulu : degré de suivi, temps réel ou non, .... Puis il faut trouver la technologie la plus appropriée : code-barres, RFID avec tags passifs ou actifs, choix de la fréquence.... Pour prendre ces décisions, plusieurs paramètres sont à prendre en compte et notamment les coûts et les bénéfices engendrés par

une telle technologie afin de déterminer le retour sur investissement (Kärkkäinen, 2003). Une fois la technologie choisie, il faut alors se poser les questions concernant l'implantation de celle-ci (capteurs, tags, scan, ...). Différentes phases de déploiement au sein d'une compagnie sont à respecter (Attaran, 2007). Ensuite, il faut réfléchir aux données à insérer dans un tag et à la structure du système d'informations afin de remplir les tâches suivantes : acquisition des données, stockage, transmission, filtrage et traitement. Il faudra également définir les droits d'accès au système pour que chaque partenaire puisse atteindre les données nécessaires tout en respectant la confidentialité de chacun.

Dans la littérature scientifique, on trouve plusieurs exemples d'utilisation de la RFID pour la traçabilité des RTI :

- Sainsbury's<sup>4</sup> a réalisé un projet pilote en utilisant la technologie RFID sur des bacs plastiques réutilisables pour le transport de ses produits (Kärkkäinen, 2003). L'étude a montré que Sainsbury's pouvait espérer 8.5£ million par an et atteindre un retour sur investissement au bout de 2 ou 3 ans.
- (Martinez-Sala *et al.*, 2009) en collaboration avec la société espagnole ECOMOVISTAND ont transformé un item d'emballage et de transport écologique en un produit intelligent en implantant un tag RFID à ce support. Ils proposent également une architecture du système d'informations.

### 3.4 Distribution des RTI vides après remise en état (nettoyage, réparation...) et organisation des tournées de collecte

Une fois les RTI remis en état, il faut les distribuer aux différents acteurs de la chaîne logistique. Dans le cas où cette distribution ne s'effectue pas par camions complets, il faut organiser une tournée de livraison. Ce problème, abondamment traité dans la littérature (voir par exemple (Cordeau *et al.*, 2002)), consiste à organiser les livraisons aux clients en utilisant un ensemble de véhicules de différentes tailles. Les données du problème sont une liste de sites à desservir, chacun ayant une demande connue ainsi qu'une liste de véhicules avec une capacité limitée (en volume, en temps de transport...). L'objectif est de définir l'itinéraire de chaque véhicule de manière à satisfaire la demande, minimiser la distance parcourue et/ou la durée et/ou le nombre de véhicules utilisés... De nombreuses variantes existent : plusieurs fonctions objectifs possibles (minimiser le nombre de véhicules, minimiser la distance ou la durée de transport, maximiser la qualité du service...); prise en compte de fenêtres horaires ; la flotte peut être homogène ou hétérogène ; la planification peut être mono ou multi-période ; la demande peut être connue avec plus ou moins de certitude ; les livraisons peuvent concerner un ou plusieurs pro-

duits ; la demande peut être satisfaite de manière totale ou partielle (livraison totale ou partielle).

Pour la collecte des RTI vides, lorsqu'elle ne s'effectue pas par camions complets, il faut organiser une tournée afin de récupérer les supports vides. Ce problème est identique au problème de distribution de RTI vides.

## 4 MODELE CONCEPTUEL

Pour reproduire la circulation des flux de RTI et analyser l'impact de l'utilisation des mécanismes de coordination relatifs à la gestion des RTI (notamment le partage d'informations) sur le fonctionnement de la chaîne logistique totale, nous proposons de développer un modèle de simulation. Ce modèle pourra être alimenté par les données obtenues par le suivi et la traçabilité des produits tout le long de la chaîne.

La simulation (particulièrement la simulation à événement discret) a été identifiée par plusieurs auteurs comme l'outil privilégié pour représenter le fonctionnement d'une chaîne logistique de manière approfondie (Terzi and Cavalieri, 2003), (Pirard, 2005). Cette technique permet de prendre en compte la complexité et la dynamique du système étudié et de considérer l'incertitude liée à son environnement. La simulation permet également de reproduire et de tester différentes politiques de gestion.

Avant de nous lancer dans le développement du modèle de simulation, nous avons conçu une approche de modélisation générique focalisée sur les flux des RTI. Cette dernière comprend notamment la structure de la chaîne logistique et les structures internes des acteurs.

### 4.1 Description de la boîte générique

Pour établir ce modèle conceptuel, nous avons développé une boîte générique capable de cartographier la structure de chaque acteur de la chaîne (Figure 5). La succession de ces boîtes permet de représenter les flux physiques de RTI tout au long de la chaîne.

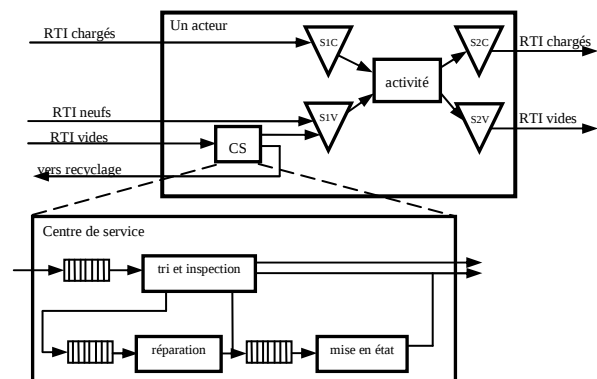


Figure 5 : Structure générique d'un acteur de la chaîne

<sup>4</sup> <http://www.jsainsburys.co.uk/>

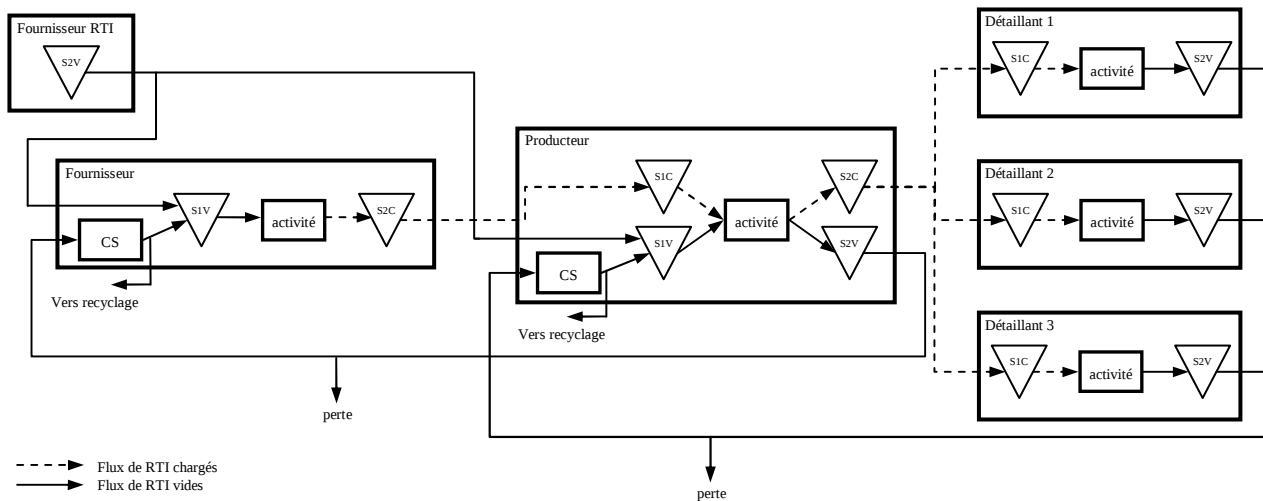


Figure 6 : Cartographie des flux physiques

L'intérêt de notre étude est plutôt porté sur l'analyse des flux externes des ressources réutilisables ; donc la modélisation des flux internes est simplifiée. Un maillon de la chaîne logistique est représenté par une zone de stockage en amont (S1C et/ou S1V), une opération qui assure l'activité (approvisionnement pour les fournisseurs, fabrication pour les producteurs, vente ou reconditionnement pour les distributeurs, déchargement des RTI pour les détaillants, ...) et une zone de stockage aval (S2C et/ou S2V). Les zones de stockage se composent d'une ou de deux parties : le stock des RTI vides (S1V et/ou S2V) et le stock des RTI chargés (S1C et/ou S2C). La capacité des stocks est limitée. L'activité de chaque entité est caractérisée par une capacité de 'production', et à chaque zone de stockage est associée une capacité maximale et un seuil de réapprovisionnement.

Les fonctions de gestionnaire de parc de supports réutilisables dans le modèle peuvent être jouées par un ou plusieurs acteur(s) – propriétaire(s) du parc de RTI. Chacun de ces prestataires particuliers doit avoir dans sa structure un centre de service (CS) qui assure les opérations de tri, de mise en état, de réparation et de renvoi des RTI usés en recyclage.

Afin de réaliser une modélisation plus complète, les flux d'informations doivent également être représentés dans le modèle. A ces flux sont associés des entités « demande », « ordre de réapprovisionnement », « ordre de fabrication », « ordre de retour » et « ordre d'achat des RTI neufs ». Pour générer et traiter ces ordres, chaque acteur de la chaîne possède un centre de décision (CD). Ce centre est chargé d'appliquer les règles de gestion en vigueur. Par exemple, les ordres de fabrication peuvent être traités selon plusieurs règles d'ordonnancement : suivant l'ordre de leur émission, leur date prévue de livraison, leur besoin en capacité de production, ....

## 4.2 Description du cas étudié

Dans cette partie, nous allons présenter l'application de l'approche proposée sur un cas inspiré d'une entreprise

de production de légumes surgelés. La société reçoit les produits frais fournis par les coopératives agricoles dans des bacs en bois. Après différentes opérations (nettoyage, congélation, conditionnement, emballage, ...), elle envoie ses produits aux détaillants en utilisant différents types de RTI. Le producteur de légumes surgelés et ses fournisseurs gèrent leurs parcs d'actifs mobiles indépendamment. La société estime que les pertes et le recyclage des RTI s'élèvent chacun à hauteur de 10% du parc total par an. Elle a constaté qu'en moyenne un RTI sur quatre doit subir une opération de maintenance. La demande des clients auprès des détaillants est saisonnière.

En utilisant la structure générique, la cartographie des flux physiques de ce cas a été réalisée (Figure 6). Pour simplifier la modélisation, un seul fournisseur et trois détaillants ont été pris en compte.

La logique de fonctionnement du modèle est représentée à la Figure 7.

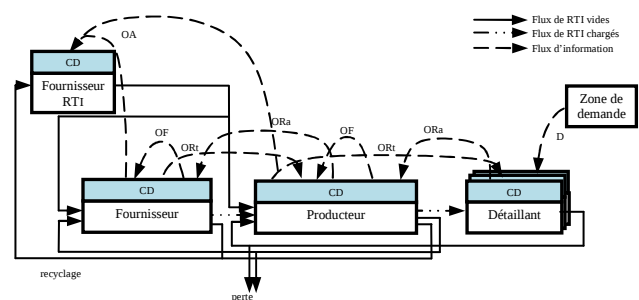


Figure 7 : Schéma des flux du système étudié

Chaque détaillant reçoit des commandes de sa clientèle. Cette dernière n'intervenant pas dans le circuit des RTI, elle est alors représentée alors par une zone de demande. La durée de traitement d'une demande dépend de la disponibilité en stock de RTI chargés (S1C) et de la disponibilité des ressources nécessaires. Cette opération peut s'étaler sur plusieurs périodes, à la fin les RTI déchargés sont entreposés dans le stock S2V. Au début de chacune d'elle, le stock concerné et les capacités disponibles des

ressources impliquées sont mis à jour. Le niveau de stock S1C du détaillant décroît en fonction des demandes traitées. A certaines périodes de temps, ces stocks doivent être réapprovisionnés et le détaillant émet un ordre de réapprovisionnement (ORa). Cet ordre stipule, notamment, le produit et la quantité souhaitée. Il est affecté au producteur fabriquant le produit demandé.

Lorsque le producteur reçoit un ORa, il génère un ordre de fabrication (OF). Le traitement de ce dernier commence par la réservation des composants (S1C) et des supports vides (S1V) nécessaires pour réaliser la quantité demandée. Selon leurs disponibilités et celle des ressources nécessaires pour la fabrication, la production est lancée. Cette opération peut s'étaler sur plusieurs périodes. Au début de chacune d'elle, les stocks concernés et les capacités disponibles des ressources impliquées sont mis à jour. Quand la quantité mentionnée sur l'OF est réalisée, les produits sont transportés vers le détaillant – demandeur. Les stocks avals du producteur (S2C et S2V) sont mis à jour. La durée de l'opération de transport dépend de la distance à parcourir. A la fin de cette opération, le stock amont (S1C) du détaillant est mis à jour.

Le producteur possède des stocks amont de composants (S1C) et des stocks de RTI vides (S1V). La consommation de ces derniers est liée aux activités de production. A certains moments, ces stocks doivent être réapprovisionnés. Les règles de réapprovisionnement de ces deux types de stocks sont différentes. Lorsqu'un réapprovisionnement des stocks de composants doit avoir lieu, un ORa est émis. Celui-ci mentionne, notamment, le composant demandé et la quantité souhaitée. Cet ordre est transmis au fournisseur. Le fournisseur qui a reçu l'ORa émet un OF (ou un ordre de reconditionnement) qui déclenche une série d'opérations du même type que celle effectuée lorsqu'il s'agit d'un OF relatif à un produit fini (*i.e.* réservation de matières premières, fabrication des composants sur une ou plusieurs périodes de temps, livraison au producteur - demandeur, mise à jour du stock concerné).

L'approvisionnement des stocks de RTI vides (S1V) peut être effectué soit par un ordre d'achat (OA) de RTI neufs, soit par émission d'un ordre de retour (ORt). Dans le premier cas, le producteur émet un OA pour des supports neufs (en stipulant le type de RTI et la quantité) et le transmet au fournisseur de RTI neufs. La durée de traitement de cet OA dépend de la quantité demandée et de la distance entre les deux acteurs. Le traitement est fini quand le stock S1V est mis à jour. Dans le deuxième cas, l'ORt est transmis aux détaillants. Selon la disponibilité, les détaillants renvoient les RTI déjà déchargés et entreposés dans ses stocks avals (S2V) vers le producteur - demandeur. Le stock S2V est mis à jour. Après l'opération de transport (sa durée dépend de la distance à parcourir), le producteur reçoit les RTI et les expédie vers son centre de service pour des opérations de maintenance.

## 5 REALISATION DU PROTOTYPE

Le modèle décrit dans le paragraphe précédent est en cours de développement. Le prototype du modèle a été réalisé à l'aide du simulateur à événement discret RAO (Ressources - Actions - Opérations) : (Artiba *et al.*, 1998) avec les simplifications suivantes :

- Un seul type de RTI circule à travers le système.
- La capacité de production est supposée être infinie.
- La demande suit la loi normale avec les paramètres suivants :
  - o détaillant 1 : moyenne=62, écart-type=5,
  - o détaillant 2 : moyenne=50, écart-type=5,
  - o détaillant 3 : moyenne=35, écart-type=3.
- Une partie des supports retournés au CS reste inutilisable pendant un certain délai, afin de modéliser les opérations de maintenance.
- Les processus de recyclage et de perte des RTI sont modélisés par simple diminution du parc des actifs mobiles.

Dans RAO, le système étudié est représenté comme un ensemble de ressources, chacune est caractérisée par un ensemble de paramètres. Ces ressources interagissent afin de réaliser un ensemble d'opérations décrites à l'aide de règles de production modifiée (Si (condition) alors (action 1) attendre (intervalle de temps) alors (action2)).

Parmi les ressources utilisées pour simuler la chaîne logistique, il convient de distinguer celles qui décrivent la structure du système et celles qui représentent l'information échangée et les flux de RTI au travers de la chaîne. Les premières sont qualifiées de permanentes car elles existent durant toute la durée de la simulation. Les secondes sont temporaires car elles ont une durée de vie limitée.

Notre modèle de simulation nécessite la définition de trois ressources permanentes. La première est associée à la chaîne logistique. La deuxième, appelée « acteur », est attachée à chaque maillon du réseau. Elle est caractérisée par un ensemble d'attributs (*e.g.* numéro, état, numéros des stocks associés) et dont les valeurs peuvent être modifiées au cours de la simulation (*e.g.* quantité des ordres de fabrication en cours d'exécution). Un de ces paramètres définit le type de l'acteur (fournisseur, producteur ou détaillant) et, par conséquent, sa propre mission dans la chaîne logistique. Un autre précise son rôle par rapport à la gestion des RTI (propriétaire ou simple utilisateur des RTI). La dernière ressource représente les stocks avec une liste d'attributs (*e.g.* numéro, type, seuil de réapprovisionnement, capacité de stockage).

Pour modéliser l'information échangée et les flux de matières dans le réseau logistique, cinq types de ressources temporaires ont été utilisées. Il s'agit de :

- la ressource « demande » ;
- la ressource « ordre de réapprovisionnement » ;
- la ressource « ordre de fabrication » ;
- la ressource « ordre de retour » ;

- la ressource « ordre des RTI neufs ».

Ces différentes ressources se caractérisent par un ensemble d'attributs (e.g. état, quantité demandée, date d'émission, acteur émetteur).

La période de temps est égale à un jour. Cette granularité a été choisie car cette durée semble correspondre à l'échelle de temps utilisée dans des chaînes logistiques. La circulation des RTI entre deux entités géographiquement distantes correspond au transport nécessitant un certain délai exprimé en jours (Tableau 1). Les temps de chargement et déchargement sont égaux à une heure. Les demandes, ORa, ORt, OF et OA sont traités suivant l'ordre de leur arrivée (FIFO).

|             | Fourn. | Prod. | Det1 | Det2 | Det3 | Fourn. RTI |
|-------------|--------|-------|------|------|------|------------|
| Fournisseur | 0.     | 1.    | 0.   | 0.   | 0.   | 1.5        |
| Producteur  | 1.     | 0.    | 0.7  | 0.9  | 1.   | 1.5        |
| Detaillant1 | 0.     | 0.7   | 0.   | 0.   | 0.   | 0          |
| Detaillant2 | 0.     | 0.9   | 0.   | 0.   | 0.   | 0          |
| Detaillant3 | 0.     | 1.    | 0.   | 0.   | 0.   | 0          |
| Fourn. RTI  | 1.5    | 1.5   | 0    | 0    | 0    | 0          |

Tableau 1: Matrice des temps de transport

Les politiques de gestion des stocks sont définies par un niveau minimum et par une capacité de stockage. Cette dernière conditionne la quantité du produit à commander. Un stock est réapprovisionné quand la quantité disponible du produit est inférieure à un seuil donné. La quantité de produit qu'il est nécessaire de commander ( $Q_{réa}$ ) dépend de la capacité du stock ( $C_{stock}$ ), de la quantité disponible en stock ( $Q_{dis}$ ), de la quantité réservée à la production ( $Q_{res}$ ) et de la quantité déjà commandée en réapprovisionnement et qui n'aurait pas encore été livrée ( $Q_{com}$ ) :

$$Q_{réa} = C_{stock} - Q_{dis} - Q_{com} + Q_{res} \quad (1)$$

Deux scénarios ont été réalisés sur ce prototype pour évaluer le gain du partage d'informations entre les acteurs d'une chaîne logistique :

- Scénario 1 : les propriétaires gèrent leurs parcs de RTI indépendamment ;

- Scénario 2 : les partenaires de la chaîne partagent les informations à propos de la disponibilité des RTI.

Dans le deuxième scénario, les propriétaires du parc, en cas d'épuisement du stock des actifs mobiles vides, analysent les informations relatives aux quantités et aux dates de retours avant de prendre la décision de commander des RTI neufs. Dans ce cas, la quantité d'approvisionnement pour leurs stocks de RTI vides ( $S1V$ ) doit dépendre de la quantité des retours ( $Q_{ret}$ ). Donc, l'équation (1) doit être changée par :

$$Q_{réa} = C_{stock} - Q_{dis} - Q_{com} + Q_{res} - Q_{ret} \quad (2)$$

Nous avons simulé cette chaîne logistique durant 365 jours. Cette durée a été choisie après plusieurs séries d'expériences pour obtenir l'état stationnaire du système. Le Tableau 2 contient les mesures de performance observées pour les deux scénarios évalués. Afin de déterminer si ces mesures sont significativement différentes, nous avons effectué un test d'égalité des moyennes (Dagnelie, 1998) avec 30 observations pour chaque scénario. Pour chaque mesure de performance du Tableau 2, nous avons testé l'hypothèse  $H_0$  = les mesures de performance pour les deux scénarios ont la même moyenne. Pour cela, nous avons évalué la statistique :

$$Z = \frac{M1 - M2}{\sqrt{\frac{S1^2}{30} + \frac{S2^2}{30}}} \quad (3)$$

où M1 (respectivement, M2) est la moyenne des observations pour le scénario 1 (respectivement, scénario 2), S1 (respectivement, S2) est l'écart-type des observations pour le scénario 1 (respectivement, scénario 2). Sous  $H_0$ , la statistique Z suit une loi N(0,1). Pour un risque de première espèce de 0.01, on rejette  $H_0$  si  $|Z| > 2.576$ . La sixième colonne du Tableau 2 contient les valeurs de la statistique Z. A la vue de ces dernières, nous sommes arrivés à la conclusion que les deux scénarios sont significativement différents.

|                                                             | Scénario1<br>(sans partage d'informations) |                                  | Scénario2<br>(avec partage d'informations) |                                  | Statistique<br>(Z) |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
|                                                             | Moyenne<br>(M1)                            | Ecart-type de la<br>moyenne (S1) | Moyenne<br>(M2)                            | Ecart-type de la<br>moyenne (S2) |                    |
| Quantité totale de RTI achetés                              | 2536                                       | 13.2                             | 2141                                       | 13.7                             | 20.8               |
| Quantité moyenne de RTI circulant dans la chaîne logistique | 2129                                       | 8.9                              | 1794                                       | 6.3                              | 30.6               |
| Quantité de RTI vides dans le stock de fournisseur          | 485                                        | 4.3                              | 227                                        | 0.9                              | 58.8               |
| Quantité de RTI vides dans le stock du producteur           | 480                                        | 6.5                              | 425                                        | 5.9                              | 6.3                |
| Quantité de RTI "consommés" par les détaillants             | 53000                                      | 71.2                             | 51820                                      | 84.2                             | 10.8               |

Tableau 2 : Comparaison des mesures de performance obtenues pour les deux scénarios évalués

Ce test a confirmé qu'avec le partage d'informations nous pouvons obtenir un gain par rapport au scénario initial. En effet, nous remarquons une diminution de l'ordre de 15% de la quantité de RTI achetés et de la quantité moyenne de RTI circulant dans la chaîne. Notons que le gain est plus significatif chez le fournisseur que chez le producteur. Ce phénomène peut être expliqué par la structure des boucles des RTI : une boucle fournisseur – producteur et une boucle producteur – trois détaillants. Par conséquent, il est nécessaire de déployer des mécanismes de coordination plus sophistiqués pour une gestion efficace des RTI.

## 6 CONCLUSION

De plus en plus d'entreprises, pour des raisons financières et environnementales, utilisent des supports de transports réutilisables. Aujourd'hui, la gestion de ces supports est loin d'être maîtrisée. Afin d'optimiser de manière globale la performance des chaînes logistiques dans lesquelles les RTI circulent en boucle fermée, il est nécessaire que les différents acteurs de la chaîne mettent en œuvre des mécanismes de coordination. Afin de prendre de bonnes décisions, il est également important que ces acteurs disposent d'informations fiables. La traçabilité des RTI permet d'atteindre ce dernier objectif.

Dans cet article, une analyse des flux des RTI et une étude de différents enjeux soulevés par la gestion de ces actifs mobiles ont été présentées. Une méthode de modélisation des flux relatifs aux RTI utilisée pour le modèle conceptuel de notre étude de cas a été proposée. Puis un prototype de modèle de simulation a été développé. Les premiers résultats soulignent l'importance du partage de l'information relative aux RTI entre les partenaires de la chaîne logistique.

Les perspectives de travail à court terme concernent la finalisation du modèle conceptuel en le complétant par un modèle de coût et en précisant les indicateurs de performance à calculer. Le modèle de simulation sur base du prototype réalisé sera développé. Ce modèle permettra d'évaluer des chaînes logistiques plus complexes et réalistes (par exemple en considérant plusieurs types de RTI) et de tester différentes politiques de gestion des RTI (notamment des mécanismes de coordination, des règles de gestion de stocks, ...).

## REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été effectués dans le cadre du projet FEDER : MEDIATIC – TRACEMEDIA financé par la Région Wallonne et l'Union Européenne.

## REFERENCES

Arshindler, A. Kanda, and S.G. Deshmukh, 2008. Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *Int. J. Production Economics*, 115, p. 316-335.

Artiba, A., Emelyanov, V. and Iassinovski, S.I., *Introduction to intelligent simulation: The RAO language*, 1998 (Kluwer Academic Publishers).

Attaran, M., 2007. RFID: an enabler of supply chain operations. *Supply Chain Management: An International Journal*, vol.12 (4), p.249-257.

Cappgemini, 2004. Etude du coût de gestion des palettes dans le système "échange". [http://www.fr.cappgemini.com/actualites/publications/gestion\\_des\\_palettes/](http://www.fr.cappgemini.com/actualites/publications/gestion_des_palettes/)

Cordeau, J.-F., M. Gendreau, G. Laporte, J.-Y. Potvin, and F. Semet, 2002. A guide to vehicle routing heuristics, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53 (5), p. 512-522.

Dagnelie, P. *Statistique théorique et appliquée – Tom 2 : inférence statistique à une et deux dimensions*. De Boeck Université, Bruxelles, 1998.

[European Parliament and Council, 1994/62/EC](#)  
*European Parliament and Council, 1994/62/EC.*  
European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste.

[European Parliament and Council, 2004/12/EC](#)  
*European Parliament and Council, 2004/12/EC.*  
European Parliament and Council Directive 2004/12/EC of 11 February 2004 on packaging and packaging waste.

Johansson, O. and D. Hellström, 2007. The effect of asset visibility on managing returnable transport items. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol.37 (10), p.799-815.

Kärkkäinen, M., 2003. Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using RFID tagging. *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 31 (10), p. 529-536.

Kärkkäinen, M., T. Ala-Risku, and M. Herold, 2004. Managing the rotation of reusable transport packaging – a multiple case study. *13<sup>th</sup> International Working Seminar on Production Economics*, Igls/Innsbruck, Austria.

Kumar, S., and P. Malegeant, 2006. Strategic alliance in closed-loop supply chain, a case of manufacturer and eco-non-profit organization. *Technovation*, vol. 26, p. 1127-1135.

Lai, L., A. Harjati, L. McGinnis, C. Zhou and T. Guldborg, 2008. An economic and environmental framework for analyzing globally sourced auto parts

- packaging system. *Journal of Cleaner Production*, 16, p.1632-1646.
- Lee, C.K.M., and T.M. Chan, 2009. Development of RFID-based Reverse Logistic System, *Expert Systems with Applications*, 36, p. 9299-9307.
- Lee, H.G., 2000. Creation value through supply chain integration. *Supply Chain Management Review*, 4, p. 30-36.
- Lehoux, N., S. D'Amours, et A. Langevin, 2009. Collaboration et Coordination dans les réseaux : une revue des travaux clés. 8<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel, Tarbes, France.
- LogicaCMG, 2004. Making waves: RFID Adoption in Returnable Packaging. [http://www.logica.co.uk/pdf/RFID\\_study.pdf/](http://www.logica.co.uk/pdf/RFID_study.pdf/)
- Martinez-Sala, A.S., E. Egea-Lopez, F. Garcia-Sanchez, and J. Garcia-Haro, 2009. Tracking of Returnable Packaging and Transport Units with active RFID in the grocery supply chain. *Computers in Industry* vol.60, p.161-171.
- Pirard, F., 2005. *Une démarche hybride d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification stratégique des réseaux logistiques des entreprises multi-sites*. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, Belgique.
- Rached, M., Z. Bahroun, A. Baboli, J.-P. Campagne, et B. Zouari, 2009. Le partage d'informations dans les chaînes logistiques : revue de littérature. 8<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel, Tarbes, France.
- Terzi, S., and S. Cavalieri, 2004. Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry*, 53, p. 3-16.