

# La logistique inverse

---

## 2.1 Introduction

Nous allons voir dans ce chapitre un échantillon des travaux qui sont en relation avec notre problème. Nous avons axé cette étude sur les travaux qui se rapportent au contexte de notre étude, la logistique inverse. Puis, nous verrons les travaux sur la gestion de la production qui correspondent à la base du problème qui nous intéresse. Les problèmes de production et de transport intégrés font l'objet de la troisième partie de ce chapitre.

### 2.2.1 Définition de la logistique inverse

Au cours des dernières années, la logistique inverse a suscité une attention croissante de la part des chercheurs et de l'industrie. Cette situation s'explique par des raisons environnementales aussi bien qu'économiques. Parmi les principales préoccupations environnementales, nous trouvons la saturation de zones de décharge, le réchauffement climatique et l'épuisement rapide des matières premières, etc. Pour remédier à ces problèmes, les gouvernements imposent de nouvelles réglementations environnementales plus strictes qui obligent les fabricants à récupérer leurs produits en fin de vie par l'intermédiaire d'un réseau de la logistique inverse. Les entreprises peuvent non seulement se conformer aux réglementations légales, mais aussi d'utiliser la valeur économique restante contenue dans les produits en fin de vie grâce aux différentes options de récupération des produits, à savoir la réutilisation, le recyclage et la refabrication.

Dans la littérature, la logistique inverse est définie de différentes manières, Nous trouvons la logistique inverse ou inversée ou la logistique verte. Depuis les années 90, plusieurs définitions sont utilisées pour définir la logistique inverse. En 1995, [Thierry et al. \(1995\)](#) considèrent la gestion de la récupération des produits et des matériels usés par des fabricants comme un processus de la logistique inverse. En 1999, [Rogers et al. \(1999\)](#) définissent la logistique inverse

comme étant un processus de planification du point de consommation jusqu'au point d'origine. Il s'agit de la gestion unidirectionnelle de flux de matières et d'information, dont le but est d'améliorer l'élimination des déchets. Plus tard, [Chouinard et al. \(2007\)](#) considère la logistique inverse comme un système qui permet la récupération des produits retournés à partir des consommateurs et les traiter dont l'objectif est d'assurer la gestion et la planification des activités de ramassage, d'évaluation, de désassemblage et de retransmission.

Selon [Bai & Sarkis \(2013\)](#) la logistique inverse est l'inverse de la logistique directe. La logistique inverse diffère de la logistique directe par plusieurs aspects ([Pochampally et al. \(2009\)](#)). Dans la logistique directe, les nouveaux produits fabriqués dans l'usine sont transportés vers de nombreux destinataires. Par contre, dans la logistique inverse, les produits retournés, collectés auprès de nombreux centres de collecte, sont transportés vers le producteur ou vers un centre de récupération des produits (réusinage, recyclage ou d'élimination). En d'autres termes, les flux de transport dans la chaîne logistique directe sont d'un à plusieurs (one-to-many) alors qu'ils sont de plusieurs à un (many-to-one) dans la logistique inverse.

Même si certaines études dans la littérature qui utilisent les termes "logistique inverse" et "chaîne logistique inverse" de manière interchangeable, il existe une légère différence entre les deux. La logistique inverse traite principalement le transport, la planification de la production et la gestion des stocks, tandis que la chaîne logistique inverse a une orientation plus large qui implique d'éléments supplémentaires tels que la coordination et la collaboration entre les partenaires de la chaîne ([Prahinski & Kocabasoglu \(2006\)](#)). Autrement dit, la logistique inverse est l'un des éléments d'une chaîne logistique inverse. La logistique inverse permet la valorisation des produits en fin de vie à travers un réseau intégrant les processus de récupération, de traitement, de désassemblage et de recyclage ou d'élimination. La robustesse et la durabilité d'un réseau de logistique inverse sont assurés par la cohérence entre les trois niveaux de décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles au niveau de différentes activités.

Il existe des différents types de produits en retour dans la logistique inverse tel que les retours de clients, les retours de réparation/service, les retours de fin de vie, les retours de conteneurs réutilisables et les retours de produits loués. Différents travaux traitent différents types de produit en retours de différents niveaux de décisions :

- Produits électroniques et électriques : Dans ce contexte [Shih \(2001\)](#) traite le cas d'un réseau de récupération d'appareils électriques dont l'objectif est d'optimiser le coût total afin de déterminer le nombre des sites de collectes, de recyclages et d'allocation des flux entre ces sites. [Dat](#)

et al. (2012) traitent le problème du recyclage des produits électriques et électroniques en fin de vie à Taiwan. Les auteurs développent un modèle de programmation linéaire pour minimiser les coûts de transport, d'exploitation et d'élimination. Dans le même contexte, Shokouhyar & Aalirezaei (2017) proposent un modèle mathématique de réseau de logistique inverse en deux étapes basées sur des objectifs de développement durable dans lequel les objectifs économiques, environnementaux et sociaux sont considérés simultanément. Un algorithme génétique à objectifs multiples est développé pour déterminer les meilleurs emplacements des centres de collecte et des usines de recyclage. Le modèle proposé est examiné à travers un cas réel en Iran. L'étude menée par Bal & Satoglu (2018) permet d'étudier le processus de collecte des produits d'équipements électriques et électroniques dans les points de service, leur transport vers les centres de recyclage et la valorisation des déchets. Ils proposent un modèle mathématique multi-sites, multi-produits et multi-périodes, en tenant compte des conditions réelles. Ils proposent aussi une approche du triple bilan et ils utilisent la programmation des objectifs pour résoudre un problème des appareils électroménagers.

- Les déchets dangereux : Une étude est réalisée par Alumur & Kara (2007) sur le recyclage des déchets dangereux. Les auteurs proposent un modèle mathématique afin de déterminer les localisations des centres d'élimination et l'itinéraire du transport de déchets dangereux au centre de stockage. L'objectif est de minimiser le coût de transport, le coût de traitement, le coût d'élimination et le risque sur l'environnement provoqué par le transport de déchets dangereux. Dinler & Güngör (2017) proposent un modèle de programmation linéaire floue avec plusieurs objectifs pour la planification des processus de recyclage des produits qui contiennent des substances dangereuses et explosives. L'application du modèle proposé est réalisée dans une usine où divers produits devenus inopérants sont livrés à l'usine à des moments incertains à partir de divers entrepôts. Une simulation hybride de Monte Carlo est utilisée pour obtenir des solutions pareto optimales afin de résoudre le modèle. Ndanguza et al. (2020) s'intéressent à la modélisation et à l'analyse d'un système dynamique où l'intoxication de la population est due à une mauvaise gestion de ces déchets. Le modèle précise la relation entre la densité des individus dans une certaine zone, la production de déchets et la concentration de la substance toxique.
- Industrie automobile : Krikke et al. (1999) traitent un problème du retour des produits dans l'industrie d'automobile dont l'objectif est de déterminer la localisation des installations et de tournées de véhicules.

Ils proposent un modèle qui prend en compte les fournisseurs de produits, les centres de traitement et de recyclage afin de minimiser le coût total de transport et d'investissement. [Schultmann et al. \(2006\)](#) traitent le cas des véhicules hors d'usage en Allemagne. Ils présentent les différentes options de conception d'une chaîne logistique en boucle fermée, avec une concentration sur la manière dont les flux de matériaux inversés peuvent être traités en vue de les réintégrer dans leur véritable chaîne logistique. Les aspects de logistique inverse sont modélisés avec la planification de l'itinéraire des véhicules ainsi qu'un algorithme adapté au problème est proposé. [Özceylan et al. \(2017\)](#) étudient les constructeurs automobiles en Turquie qui sont responsables de la reprise gratuite des véhicules en fin de vie aux consommateurs pour réintégrer les pièces usagées dans l'industrie. Un modèle de programmation linéaire est développé pour gérer les flux de matériaux inversés en vue de les réintégrer dans les chaînes d'approvisionnement. Plusieurs scénarios sont examinés pour montrer les performances du modèle proposé et son applicabilité dans l'industrie automobile. [Kuşakcı et al. \(2019\)](#) développent un modèle linéaire en nombres entiers mixtes (PLNE) flous d'allocation et de localisation pour un réseau logistique inverse de véhicules hors d'usage en Turquie. En conséquence, cette étude utilise une nouvelle approche et suppose que l'approvisionnement en véhicules hors d'usage dans le réseau est incertain.

### 2.2.2 Problèmes liés à la logistique inverse

Les problèmes de la logistique inverse liés aux produits en fin de vie sont classés sous forme de trois grandes catégories : les problèmes stratégiques, les problèmes de planification et les problèmes de traitement (Figure 2.1).

#### Problèmes stratégiques :

- Conception du réseau : La conception du réseau sur la chaîne logistique est le processus de construction et de modélisation de cette chaîne pour déterminer le meilleur emplacement et la taille optimale des facilités à inclure dans le réseau avec les ressources et les emplacements disponibles ([Lieckens & Vandaele \(2012\)](#)). L'emplacement de toutes les facilités de la chaîne logistique telles que les sites de production, les entrepôts et les centres de distribution doit être optimisé pour accroître l'efficacité de l'ensemble du système.
- Sélection des produits usagés : Il existe de nombreuses entreprises qui collectent des produits usagés pour faire des bénéfices. Lors de la sélection des produits usagés, ces entreprises comparent les revenus provenant

du recyclage ou de la revente des composants des produits et les coûts de collecte et de retraitement des produits usagés (Pochampally & Gupta (2008)).

- Technologie de l'information : Une infrastructure informatique efficace est indispensable dans un système de logistique inverse, compte tenu de la nécessité d'une projection précise du temps et de la quantité de produits retournés. En outre, la coordination entre les différentes parties impliquées dans un système de logistique inverse est assurée par l'infrastructure informatique (Kumar & Chan (2011)).

### Planification :

- Prévission : il s'agit d'une tâche statistique courante dans les entreprises, où elle contribue à éclairer les décisions concernant la programmation de la production, du transport et du personnel, et fournit un guide pour la planification stratégique à long terme. La prévission consiste à prévoir l'avenir aussi précisément que possible, compte tenu de toutes les informations disponibles, y compris les données historiques et la connaissance de tout événement futur qui pourrait avoir un impact sur les prévissions. Le niveau élevé d'incertitude quant au moment et à la quantité des retours rend nécessaire l'utilisation de diverses méthodes de prévission inédites pour prévoir les retours de produits (De Brito & Van Der Laan (2009)).
- Planification de la production : La planification de la production implique des décisions sur la quantité et le moment du démontage, la quantité et le moment de la refabrication, la quantité à produire et/ou la commande de nouveaux matériaux, et la manière de coordonner le démontage et le remontage (Ferrer et Whybark (2001) Ferrer & Whybark (2001)).
- Gestion des stocks : L'objectif de la logistique inverse est de réduire le plus possible les stocks de produits et de pièces retournés et de réduire le coût des stocks dans la logistique inverse en transformant les produits et pièces retournés en produits et pièces réutilisables, ce qui maximise la valeur des pièces et produits retournés (Inderfurth & van der Laan (2001) ).

### Traitement :

Les problèmes de traitement sont liés au traitement physique des produits en fin de vie. Le nettoyage, le recyclage, le désassemblage et le réassemblage des produits en fin de vie peuvent être évalués dans cette catégorie.

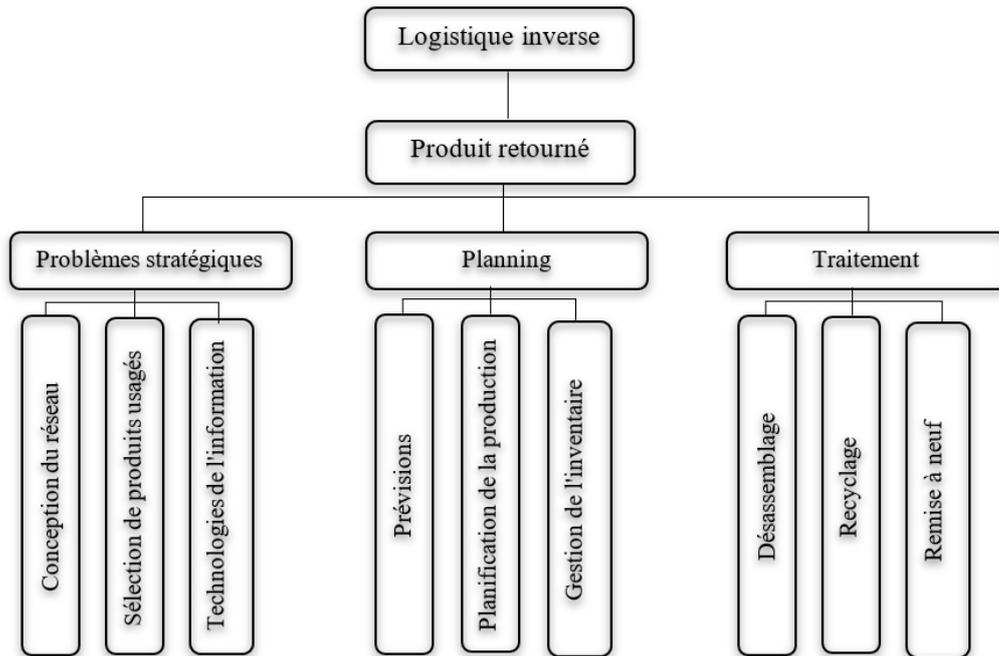


Figure 2.1 – Problèmes liés à la logistique inverse

### 2.2.3 Désassemblage

Selon [Brennan et al. \(1994\)](#), le désassemblage est défini comme étant un processus de récupération de composants souhaités constituant un produit. Une autre définition du désassemblage est annoncée par [Gungor & Gupta \(1997\)](#) le désassemblage est considéré comme étant un processus systématique qui permet la récupération sélective des composants et/ou des sous-ensembles réutilisables, recyclables ou polluants à partir d'un produit. Selon [Lambert & Gupta \(2005\)](#), le désassemblage est la séparation d'un ensemble en plusieurs sous-ensembles, ou bien la rupture d'une ou plusieurs liaisons entre différents composants. Dans la figure 2.2, nous présentons un exemple d'une opération de désassemblage pour un produit qui donne trois différents types de composants où  $r_i$  présente le rendement (la quantité obtenue de chaque type de composant). Un produit désassemblé peut donner un composant réutilisable avec un rendement qui est égal à 1. Les composants dont le rendement égale à 0 comme  $r_2$  sont jetés.

Le désassemblage est un processus qui joue un rôle fondamental dans la valorisation des produits retournés. Il peut être considéré comme une technique de récupération des composants qui peuvent être réutilisés comme des produits neufs, recyclés ou encore réutilisés comme pièces de rechanges. Les

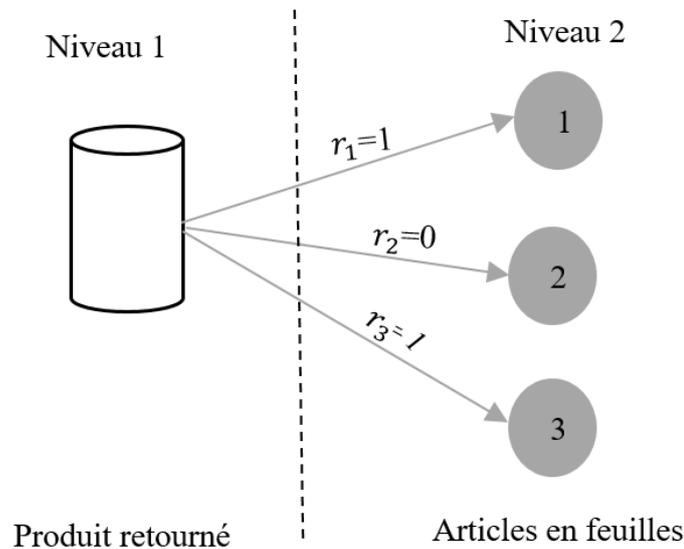


Figure 2.2 – Un exemple d’une opération de désassemblage

composants désassemblés sont ensuite vendus en vue de générer des revenus et de minimiser l’impact sur l’environnement. Dans les opérations de désassemblage, l’optimisation est nécessaire afin de rendre ce processus efficace et durable.

#### 2.2.4 Problèmes liés au désassemblage

D’après la littérature, il existe différents problèmes de décisions dans le domaine du désassemblage que nous les présentons dans la figure 2.3. Le processus de désassemblage est une séquence d’opérations. L’ordre de ces opérations dans un processus spécifique est appelé séquence de désassemblage (Hui et al. (2008), Xu et al. (2020)). Le problème de séquence du désassemblage et le problème de planification de désassemblage (Lee et al. (2001)) sont parmi les problèmes les plus connus dans le processus de désassemblage. La séquence de désassemblage permet de trouver le meilleur ordre pour désassembler des composants. Tandis que la planification du désassemblage permet de savoir la quantité à désassembler et le moment. Le problème d’équilibrage des lignes de désassemblage (Liu et al. (2020), Li et al. (2020)) consiste à répartir les tâches de désassemblage aux postes de travail en équilibrant la ligne du désassemblage. Nous trouvons également le problème d’automatisation du processus de désassemblage (Veerakamolmal & Gupta (2002)), le problème de désassemblage sur commande (Kongar & Gupta (2006)) et le problème d’ergonomie (Youssef et al. (2011)).

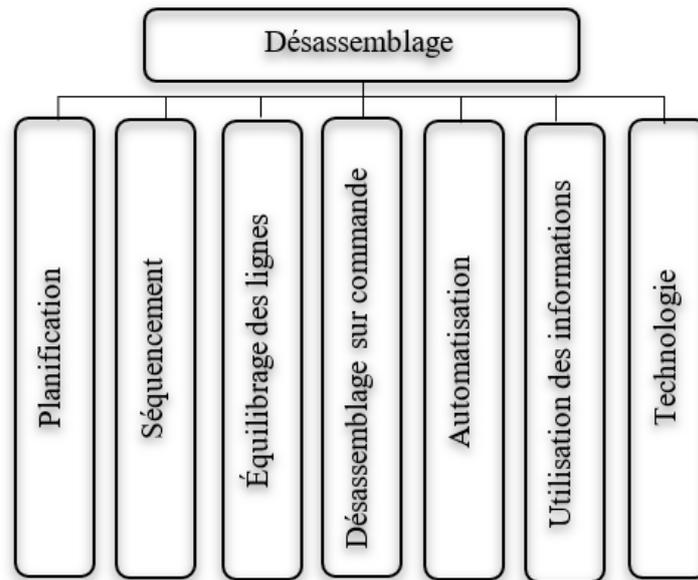


Figure 2.3 – Problèmes liés au désassemblage

### 2.2.5 Planification de désassemblage

Depuis les années 90, la planification des opérations de désassemblage a reçu un grand intérêt. Il s'agit d'organiser dans un horizon de planification périodique ou continu une succession d'actions pour désassembler une quantité de composants à partir d'un produit retourné tout en satisfaisant différentes demandes de ces composants. Les chercheurs n'ont pas envisagé, au début de la planification du désassemblage, l'optimisation des différents coûts associés aux opérations, ils cherchent seulement à déterminer la quantité de désassemblage des produits en fin de vie pour répondre aux exigences de leurs composants constitutifs. Au début des années 2000, les chercheurs commencent à intégrer d'autres coûts tels que le coût de lancement lié au produit en fin de vie. Ce dernier concerne la préparation de l'opération de désassemblage. Concernant le coût de stockage, il concerne les composants qui sont désassemblés et stockés pour répondre aux demandes futures.

Dans le problème de planification de désassemblage, il arrive que les producteurs aient souvent moins de contrôles sur l'état des produits retournés. Pour faire face à ce problème et afin de valoriser les retours des produits, les industriels essaient de développer des méthodes de résolution efficaces permettant de prendre en compte les incertitudes liées à la quantité et à la qualité des produits retournés d'une part, et à la demande des composants et des matières à recycler d'autre part. Notre analyse des travaux de la littérature nous a permis de diviser les travaux de recherche en deux catégories; le cas

déterministe et le cas stochastique qui sont résumés dans le tableau 2.1.

### 2.2.5.1 Le cas déterministe

Le premier modèle mathématique est proposé par [Gupta & Taleb \(1994\)](#). Le moment et la quantité des produits retournés à désassembler sont déterminés de manière à satisfaire certaines demandes de leurs pièces, sous-ensembles ou composants. Ils étudient le problème sans contrainte de capacité de désassemblage et sans parties communes entre les produits retournés afin d'optimiser une planification inversée des besoins en matériaux. Ils étendent ensuite la procédure pour inclure les pièces communes pour le désassemblage de plusieurs produits ([Taleb & Gupta \(1997\)](#)). [Lee & Xirouchakis \(2004\)](#) proposent une heuristique basée sur l'algorithme de Gupta et Taleb avec un objectif supplémentaire de minimiser les divers coûts liés aux opérations de désassemblage. [Lee et al. \(2004\)](#) proposent trois modèles de programmations entières pour le mono et multi-produits et avec ou sans partie commune pour le problème sans capacité. Ils expliquent qu'une approche optimale ou quasi-optimale des solutions peuvent être obtenues en utilisant le solveur CPLEX dans des temps de calcul pour les problèmes de petite taille.

En 2007, [Langella \(2007\)](#) formule le problème de planification de désassemblage comme un PLNE et il propose plusieurs heuristiques pour résoudre le problème avec des parties communes. Ensuite en 2008, [Kim et al. \(2009\)](#) développent un algorithme de branch-and-bound pour résoudre le problème de planification de désassemblage avec un seul item et sans parties communes. [Gao & Chen \(2008\)](#) développent un algorithme génétique pour résoudre le le problème de planification de désassemblage avec une structure à plusieurs niveaux et un seul type de produit. L'objectif est de minimiser la somme des coûts de lancement, de stockage et de désassemblage. [Prakash et al. \(2012\)](#) présentent une nouvelle forme d'algorithme de recuit simulé basé sur des contraintes pour résoudre le problème avec des plusieurs items et avec des parties communes. [Ullrich & Buscher \(2013\)](#) formulent le problème de planification de désassemblage sous la forme d'un modèle de programmation linéaire en nombres entiers et ils ont pris en compte la contrainte de capacité dans chaque période. Cependant, ce travail ignore le coût de lancement qui est un paramètre commun et indispensable dans la réalité industrielle. [Ji et al. \(2016\)](#) abordent le problème de planification de désassemblage avec des contraintes de capacité et avec des pièces communes et un coût de démarrage et ils résolvent le problème avec une heuristique de relaxation lagrangienne.

L'étude proposée par [Godichaud et al. \(2015\)](#) traite le problème de planification de désassemblage avec des ventes perdues et coût de pénalité de la surcharge de la capacité de désassemblage, ce problème est formulé comme un

modèle de programmation en nombres entiers mixtes et un algorithme génétique est proposée pour donner une solution à ce problème. Dans leur étude, [Hrouga et al. \(2016\)](#) combinent un algorithme génétique et des heuristiques de correction et d'optimisation pour résoudre le problème de planification de désassemblage avec des produits multiple, vente perdu et contraintes de capacité. [Tian & Zhang \(2019\)](#) abordent le même problème mais avec plusieurs items et périodes. Ils formulent le problème sous la forme d'un programme mixte qui est résolu par une méta-heuristique d'optimisation d'essaim de particules et la programmation dynamique.

[Slama et al. \(2020\)](#) traitent le problème de planification de désassemblage dynamiques avec contrainte de capacité avec des achats externes, des articles défectueux et avec retard et des délais de préparation. Le problème consiste à déterminer combien de produits en fin de vie doivent être désassemblés au cours de chaque période. Ils proposent un PLNE pour formuler le problème afin de maximiser le gain du processus de désassemblage, qui est obtenu par la différence entre les revenus réalisés par la revente des articles récupérés après le désassemblage et les coûts liés à l'exploitation des tâches de désassemblage. [Pour-Massahian-Tafti et al. \(2020\)](#) résolvent le problème de planification de désassemblage pour le type de produit unique ayant un stock excédentaire. Les décisions d'élimination sont prises pour éviter l'accumulation de stocks tout au long de l'horizon de planification. Trois nouvelles PLNE ainsi que deux heuristiques sont proposées pour résoudre le problème.

Les recherches existantes se concentrent principalement sur le problème de planification de désassemblage avec la prise en compte des décisions dans les autres activités de la chaîne logistique. Cependant, l'intégration avec le problème de tournées de véhicules est rarement envisagée. Le problème de tournées de véhicules avec désassemblage est initialement introduit par [Habibi et al. \(2017\)](#). Ils étudient le cas où la collecte de produits en fin de vie et leur démontage conduisent à la satisfaction des demandes des clients dans différents types de composants et de sous-ensembles.

### 2.2.5.2 Le cas stochastique

Les études sur le cas stochastique de problème de planification de désassemblage sont limitées, car elles sont plus complexes que les problèmes déterministes. Les articles existants montrent un intérêt pour l'incertitude de la demande et/ou du rendement. En effet, le rendement aléatoire ne résulte pas nécessairement d'articles défectueux, mais il peut également être dû à des pénuries chez les fournisseurs ([Moon et al. \(2012\)](#)).

Il existe deux approches pour représenter le rendement aléatoire dans un contexte de production. Le premier groupe de recherche représente le rende-

ment aléatoire avec un processus de Bernoulli (Teunter & Flapper (2011)), où une certaine fraction des marchandises est défectueuse, et le nombre d'articles défectueux dépend de la taille du lot. Le second groupe de recherche considère que tous les articles produits sont défectueux et les rendements aléatoires sont modélisés avec une distribution géométrique (Salameh & Jaber (2000)).

Inderfurth (2003) propose une heuristique de type un-à-un et un-à-plusieurs pour résoudre le problème de planification de désassemblage stochastique à période unique avec incertitude de rendement. Kongar & Gupta (2006) utilisent une programmation mathématique floue pour résoudre l'incertitude concernant le nombre de produits en fin de vie récupérés ; l'objectif est de maximiser le profit total et le nombre des composants recyclés. Barba-Gutiérrez & Adenso-Díaz (2009) étendent le modèle proposé par Barba-Gutiérrez et al. (2008) en intégrant l'incertitude de la demande. Pour résoudre ce problème, Ils proposent un algorithme de logique floue. Kim & Xirouchakis (2010) étudient le problème de planification de désassemblage stochastique avec une demande stochastique et de multiples types de produits avec une structure de produits à deux niveaux. Ils proposent un modèle de stockage stochastique et ils développent une méthode de relaxation lagrangienne pour le résoudre.

Ensuite, Wang & Huang (2013) examinent l'incertitude de la demande et proposent un modèle de programmation linéaire à deux niveaux utilisant une approche basée sur des scénarios. Inderfurth et al. (2015) présentent un modèle mathématique à deux racines et trois feuilles qui illustre l'effet de l'incertitude du rendement dans les modèles stochastiques proportionnels.

Liu & Zhang (2018) traitent le problème de planification de désassemblage stochastique à seul item et à périodes multiples avec contrainte de capacité et avec des rendements et des demandes aléatoires. Ce problème est formulé comme un programme non linéaire en nombres entiers mixtes et un algorithme basé sur une approximation externe est proposé pour le résoudre. Une approche de contrainte de hasard est introduite pour s'assurer que la probabilité de satisfaire la demande est supérieure à un niveau de service prédéterminé, puis approximée par une contrainte de cône de second ordre.

## 2.3 Gestion de la production

### 2.3.1 Planification des besoins en composants

À la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, le système de la planification des besoins en matériel (MRP) est devenu un outil importante de la gestion des flux de matières premières et des composants dans les usines (Mabert (2007)). La MRP est une méthode de gestion des stocks (Heizer & Render (2013)) qui

Tableau 2.1 – Synthèse des articles sur le problème de planification de désassemblage

Références	Multi-Niveaux	Multi-Produits	Avec capacité	Déterministe	Paramètres	Approche de résolution
Gupta & Taleb (1994)	*			*	N1	RMRRP
Taleb & Gupta (1997)	*	*		*	N1, $d_c$	Heuristique en deux phases
Lee et al. (2004)	*	*		*	$S_c, P_c, H_c, d_c$	PL
Lee & Xirouchakis (2004)	*			*	$S_c, P_c, H_c, d_c$	Heuristiques
Inderfurth & van der Laan (2001)	*	*		*	$d_c, Z_c, W_c$	Heuristiques
Kongar & Gupta (2006)	*	*		*	Max Profit, N2	Programmation à objectifs flous
Langella (2007)	*	*		*	$S_c, H_c, d_c, Z_c, W_c$	Heuristiques
Gao & Chen (2008)	*	*		*	$S_c, H_c, d_c$	algorithme génétique
Barba-Gutiérrez & Adenso-Díaz (2009)	*			*	N1	F-RMRP
Kim et al. (2009)	*			*	$S_c, H_c, R_c$	branch and bound
Kim & Xirouchakis (2010)	*	*		*	$S_c, H_c, R_c$	Heuristique lagrangienne
Prakash et al. (2012)	*	*		*	$H_c, d_c$	CBSA
Ullrich & Buscher (2013)	*	*		*	$S_c, H_c, d_c, Z_c$	Heuristiques
Ji et al. (2016)	*	*		*	$S_c, H_c, L_c, O_c$	Heuristique lagrangienne
Godichaud et al. (2015)	*	*		*	$S_c, H_c, d_c, Z_c, W_c$	PLNE, AG
Inderfurth (2009)	*	*		*	$S_c, H_c, d_c, Z_c, W_c$	Analyse empirique et mathématique
Inderfurth et al. (2015)	*	*		*	$S_c, H_c, L_c$	Analyse empirique et mathématique
Hrunga et al. (2016)	*	*		*	$S_c, H_c, P_c$	algorithme génétique et Fixer et optimiser
Lin & Zhang (2018)	*	*		*	$S_c, H_c, P_c$	Programmation non linéaire, Approximation extérieure
Tian & Zhang (2019)	*	*		*	$S_c, P_c, H_c, W_c$	OEP et programmation dynamique
Shama et al. (2020)	*	*		*	$S_c, H_c, Z_c, O_c$	PLNE
Pour-Massahian-Tafti et al. (2020)	*	*		*	$S_c, H_c, d_c$	3 PNEM, 2 Heuristiques

N1 : nombre de produits à démonter, N2 : nombre de produits à éliminer,  $S_c$  : coût de lancement,  $P_c$  : coût de démarrage,  $H_c$  : coût de la racine,  $d_c$  : coût de possession,  $d_e$  : coût de désassemblage,  $Z_c$  : coût de achat des pièces,  $W_c$  : coût d'élimination,  $R_c$  : coût de la pénalité pour demande insatisfaite,  $C_c$  : coût de démarrage,  $L_c$  : coût de la pénalité pour vente perdue,  $O_c$  : coût de surcharge, PNEM : programmation en nombres entiers mixtes, RMRRP : algorithme de planification inverse des besoins en matériel, PL : programmation linéaire, F-RMRP : RMRRP basé sur une logique floue, CBSA : algorithme de recuit simulé basé sur les contraintes, AG : algorithme génétique, OEP : méta-heuristique d'optimisation d'essaim de particules .

permet d'obtenir le coût de stockage minimum. Les systèmes MRP calculent la taille des lots à produire (ou à commander) pour chaque composant de chaque période. Ces calculs sont basés sur les nomenclatures, qui indiquent la hiérarchie des composants (c'est-à-dire la structure du produit et le nombre de composants requis pour produire chaque article final ou composant ultérieur). [Iasya & Handayati \(2015\)](#) montre que la mise en œuvre de la MRP aide l'entreprise à gérer le gaspillage des matériaux, d'avoir une production plus efficace et de mener une activité plus rentable. Les méthodes MRP produisent le calendrier de production et le besoin de matériel ce qui nécessite la technique de dimensionnement de lots. Déterminer la taille des lots dans les zones de production est une tâche essentielle dans la planification et le contrôle de la production ([Schmidt et al. \(2015\)](#)). La MRP utilise trois techniques de dimensionnement de lots ([Heizer & Render \(2013\)](#)), à savoir lot pour lot, quantité de commande économique, et quantité de commande périodique.

- Lot pour lot (LFL) : Le LFL est une technique qui permet de produire la quantité de matières premières nécessaire pour répondre aux plans qui sont faites. La technique LFL est conforme aux objectifs du MRP pour répondre aux besoins de demande dépendante.
- Quantité de commande économique (EOQ) : L'objectif de l'EOQ est de minimiser les coûts de commande et de stockage. Cette technique est très utilisée, et repose sur les hypothèses suivantes : a) la demande est connue, constante et indépendante, b) le délai de livraison est connu et constant, c) la réception des stocks est instantanée et complète, d) les remises sur quantité ne sont pas possibles, e) seuls les coûts variables sont mis en place et maintenus, f) les ruptures de stock peuvent être complètement évitées.
- Quantité de commande périodique (POQ) : Le POQ est une technique de réservation qui permet de passer des commandes dans des intervalles de temps déterminés entre les commandes. Le nombre d'articles commandés devant couvrir le nombre d'articles requis pendant l'horizon de planification.

Différents modèles mathématiques sont étudiés dans un contexte déterministe ([Billington et al. \(1983\)](#), [Clark & Armentano \(1995\)](#)). En pratique, les systèmes de MRP sont soumis à diverses formes d'incertitude telles que la demande, les délais, le rendement de production, la capacité de production ([Dolgui & Prodhon \(2007\)](#), [Guide Jr & Srivastava \(2000\)](#)). Plusieurs chercheurs ([Kadipasaoglu & Sridharan \(1995\)](#), [Zhao et al. \(2001\)](#), [Bai et al. \(2002\)](#)) évaluent par simulation l'impact de l'incertitude de la demande sur les systèmes MRP pour les problèmes de production multi-échelons. Bien que des nombreuses études suggèrent l'utilisation des stocks de sécurité dans les systèmes

MRP avec une incertitude sur la demande (Benton (1991)). Par exemple, Inderfurth (2009) étudie un système MRP à un seul échelon avec une politique de stock critique, où les quantités de production sont calculées pour amener les niveaux de stock au-dessus de certains seuils critiques. Des autres recherches comme Thevenin et al. (2020), étudient le MRP dans des conditions d'incertitude de la demande dont un modèle à deux étapes et un modèle à plusieurs étapes sont proposés pour traiter le problème.

Pour les études sur les délais aléatoires nous trouvons l'article de Louly et al. (2008). Les auteurs mènent une recherche sur la planification optimale en MRP avec des délais incertains. Ce système est conçu pour les assemblages. La fonction objective de ce modèle était de minimiser la somme des différents coûts qui comprend le coût moyen de détention des composants et le coût moyen d'accumulation. Louly & Dolgui (2013) étudient le MRP sous incertitudes des délais. Ils considèrent l'approche MRP avec la politique POQ. L'objectif est de trouver le phasage temporel optimal de la MRP correspondant à chaque période de la politique POQ. Ils proposent un modèle mathématique et des algorithmes pour minimiser la somme des coûts de lancement et de possession tout en satisfaisant une contrainte sur le niveau de service.

### 2.3.2 Dimensionnement de lots

Dans cette section, les problèmes de dimensionnement de lots sont classés en plusieurs catégories de plus simples aux plus complexes.

#### 2.3.2.1 Problème de dimensionnement de lots à un seul item

Le problème de dimensionnement de lots (problème de dimensionnement de lots) à un seul item est étudié pour la première fois par Wagner & Whitin (1958). Ils développent une méthode exacte basée sur la programmation dynamique pour résoudre ce problème.

La solution de ce problème consiste à planifier la production sur un nombre des périodes discrètes de l'horizon de planification afin de minimiser les coûts de production et de stockage. Le coût de production présente le coût unitaire pour chaque unité produite. Le coût de stockage présente le coût unitaire pour chaque unité stockée à la fin de chaque période.

Dans ce qui suit, nous allons commencer par présenter les différents modèles mathématiques pour le problème de dimensionnement de lots à un seul item, puis les approches de résolution exactes et approchées.

(a) Modélisation :

**La formulation agrégée** : C'est la formulation classique de problème de dimensionnement de lots proposé par Wagner & Whitin (1958). Le

nom de la formulation agrégée est donné car la production de l’item est définie par sa période de production.

**La formulation basée sur le problème de localisation :** Krarup & Bilde (1977) présentent la formulation du problème de dimensionnement de lots en un problème de localisation d’entrepôts (Facility Location Problem). Ils introduisent la période à laquelle ces productions sont consommées. Dans cette formulation, la production est définie par sa période de production et par sa période de consommation.

**Formulation basée sur le problème du plus court chemin :** Eppen & Martin (1987) proposent une autre reformulation du problème de dimensionnement de lots inspiré de problème dans un réseau de transport. Ils considèrent un graphe orienté avec  $T + 1$  nœuds,  $t \in [0; T + 1]$  et  $(t, t')$  est un arc qui existe pour tout  $t < t'$ . Un coût de lancement de la production à la période  $t + 1$  est associé à l’arc  $(t, t')$  pour satisfaire la demande à  $[t + 1, \dots, t']$ . Le plus court chemin du 0 à  $T$  dans ce réseau est équivalent à la solution optimale du problème de dimensionnement de lots.

- (b) Les approches de résolution : Le problème de dimensionnement de lots à un seul item a reçu une attention particulière en raison de sa simplicité et facilité de résolution (en un temps polynomial) et de son importance comme étant un sous-problème de problème de dimensionnement de lots plus complexe. Brahim et al. (2017) proposent un état de l’art sur le problème de dimensionnement de lots à un seul item.

Différentes approches de résolution sont proposés pour résoudre le problème de dimensionnement de lots avec un seul item. Les méthodes exactes sont les méthodes les plus utilisées. Parmi ces méthodes nous trouvons la programmation dynamique pour résoudre le problème de dimensionnement de lots sans contrainte de capacité (Aksen et al. (2003)) ou avec contraintes de capacité (Florian & Klein (1971)). Ainsi, les méthodes des coupes (Wolsey (1998)). Plusieurs auteurs proposent des heuristiques afin de fournir de bonnes solutions réalisables au problème (Maes et al. (1991), Hardin et al. (2007)). Parmi les récents articles nous trouvons celui de Rapine et al. (2018). Les auteurs étudient un problème de dimensionnement de lots à un seul item avec une contrainte d’énergie limitant la consommation d’énergie à chaque période. Ils fournissent un PLNE pour le problème dans le cas général. Ils développent aussi un algorithme de temps polynomial. Carvalho & Nascimento (2018) étudient le problème de dimensionnement de lots avec contrainte de capacité et avec plusieurs usines. Toutes les usines produisent le même item avec une capacité limitée et dans certaines conditions tel que les configurations

de leurs machines peuvent être reportées aux périodes suivantes. L'horizon de planification est fini (12 périodes) où chaque usine a ses propres demandes. Cet article présente une nouvelle mat-heuristique nommée kernel search pour résoudre le problème. La méthode de résolution proposée est testée sur 120 instances de la littérature et 8 instances nouvellement générées. [Rodoplu et al. \(2020\)](#) abordent un nouveau problème de problème de dimensionnement de lots à un seul item pour les configurations de type flow-shop en intégrant le problème de sélection du contrat avec des sources d'énergie multiples. Ils introduisent un modèle mathématique qui définit un plan de production optimale et une option de contrat de fournisseur d'énergie. Une heuristique Fix-and-Relax est introduite pour résoudre le problème. Deux procédures de relaxation différentes sont appliquées et la performance de l'approche de la solution est testée sur des instances générées de façon aléatoire. [Suzanne et al. \(2020\)](#) proposent un modèle pour le problème de dimensionnement de lots à un seul item, qui intègre la gestion des résidus de production inévitables classés comme sous-produits. Ils développent un algorithme de programmation dynamique polynomiale.

### 2.3.2.2 Problème de dimensionnement de lots à plusieurs items

Le problème de dimensionnement de lots à plusieurs items est NP-Difficile donc les auteurs se sont principalement intéressés aux méthodes approchées. Parmi les méthodes les plus efficaces nous trouvons la méthode de la relaxation lagrangienne ( [Thizy & Van Wassenhove \(1985\)](#)) aussi des approches hiérarchiques ( [Mehra et al. \(1996\)](#)). Il y a des méthodes exactes qui sont développées pour résoudre ce problème tel que les méthodes de branch-and-cut (Miller et al 2000 [Miller et al. \(2000\)](#)) et branch-and-bound ([Haase & Kimms \(2000\)](#)).

[Hein et al. \(2018\)](#) traitent le problème de dimensionnement de lots avec plusieurs items et avec demande déterministe et dynamique dont l'objectif est de minimiser le coût d'inventaires et le coût de lancement. Ils développent une heuristique de Dixon–Silver et une méthode de programmation génétique. Pour tester la performance de leur approche, ils génèrent 720 instances comprenant 360 problèmes avec 12 produits et 12 périodes et 360 problèmes avec 24 produits et 24 périodes. [Zhou et al. \(2018\)](#) proposent un PLNE pour résoudre un problème de dimensionnement de lots dynamique avec plusieurs items (supérieures à 500 produits), prenant en compte des coûts de configuration de production variables dans un horizon de 9 périodes et comportant deux contraintes en termes de capacités dynamiques et de limites de ressources.

[Li \(2020\)](#) étudie le problème de dimensionnement de lots avec plusieurs items. Dans ce problème, il existe un ensemble de demandes sur un horizon

de planification de  $T$  périodes discrètes, et toutes les demandes doivent être satisfaites à temps. Le fait de transporter des stocks de temps en temps entraîne un coût de détention des stocks. Le but du problème est de trouver une solution réalisable qui minimise la somme des coûts de commande et de détention. Il résout le problème en donnant un algorithme d'approximation.

### 2.3.2.3 Problème de dimensionnement de lots avec reconditionnement

Le reconditionnement est l'ensemble des opérations de démontage et de récupération visant à réparer un produit afin qu'il soit équivalent au produit d'origine. [Guide Jr \(2000\)](#) présentent le schéma général des systèmes de reconditionnement, y compris le reconditionnement ou la réutilisation de composants provenant du démontage des produits retournés. [Pineyro & Viera \(2010\)](#) étudient un problème de dimensionnement de lots avec différents flux de demande d'articles neufs et reconditionnés, dans lesquels la demande de produits reconditionnés peut également être satisfaite par de nouveaux produits, mais pas l'inverse. Ils examinent le problème de la recherche des quantités reconditionnés d'un plan dans le cas multi-périodes. Ils fournissent un PLNE et l'ont résolu avec une recherche tabou.

En 2013, [Sahling \(2013\)](#) étudie le problème de dimensionnement de lots avec plusieurs items, avec la contrainte de capacité et avec reconditionnement. Pour résoudre ce problème, il propose un PLNE ainsi qu'une approche de génération de colonnes. En 2014, [Baki et al. \(2014\)](#) développent un PLNE pour résoudre le problème sur un horizon de 12 périodes ainsi qu'une heuristique basée sur la programmation dynamique. En 2015, [Sifaleras et al. \(2015\)](#) développent une méta-heuristique de type recherche à voisinage variable pour résoudre ce problème. Ils testent cette approche sur 6480 instances de la littérature (avec 12 périodes) et 108 instances nouvellement générées (avec 52 périodes).

D'autres travaux sont intéressés par l'étude d'un système hybride avec fabrication et reconditionnement, où un produit hybride est fabriqué avec des produits manufacturés et reconditionnés. Les produits manufacturés et reconditionnés sont produits sur des lignes distinctes, mais le produit hybride est utilisé pour répondre aux excédents fabriqués et intégrer les deux lignes distinctes. [Koken et al. \(2018\)](#) étudient le problème avec trois types de produits ; les produits manufacturés, les produits reconditionnés et les produits hybrides. Ils traitent à la fois le problème sans et avec la contrainte de capacité. L'objectif est d'identifier le nombre de produits manufacturés, reconditionnés et hybrides qui devraient être produits à chaque période de planification pour maximiser le profit total. Une heuristique basée sur un algorithme génétique

est proposée pour résoudre le problème.

Cunha et al. (2019) proposent une mat-heuristique pour résoudre le problème. Deux approches constructives sont proposées : une heuristique de génération de colonne suivie d'un mécanisme de réparation par programmation linéaire, et une procédure de recherche locale correctrice et optimisée est également appliquée pour améliorer la qualité des solutions obtenues par les techniques de construction.

Récemment, Devoto et al. (2020) proposent une formulation de la programmation mathématique et ils suggèrent plusieurs règles basées sur différentes décisions d'inspection et de reconditionnement. Ils montrent que le reconditionnement peut offrir des avantages économiques, même dans le cas d'une inspection indépendante et relativement coûteuse.

#### 2.3.2.4 Les hypothèses sur la demande

Généralement, la demande est supposée déterministe et doit être satisfaite dans les délais. Dans de nombreux cas, la demande peut être reportée à des périodes ultérieures ou partiellement ou totalement perdues.

- (a) Accumulation de retards : Dans le problème de dimensionnement de lots, si l'accumulation de retards (Backlogging) est autorisée, un coût de rupture de stock est engagé pour chaque unité. L'accumulation de retard est considéré par Zangwill (1969). L'auteur analyse deux systèmes de production économiques de dimensionnement de lots dynamiques, le premier étant un modèle de produit unique avec retard (le niveau de stock d'une période peut devenir négatif) et le second un modèle multi-échelons. L'objectif est de minimiser les coûts totaux de production et d'inventaire. Il développe un algorithme de programmation dynamique pour le calcul du calendrier de production optimale. Un produit est fabriqué par lots puis placé en stock. Une fois le stock épuisé, un autre lot est créé, ce processus se répète autant de fois que nécessaire.
- (b) Vente perdu : Dans des cas particuliers, le détaillant ne peut pas satisfaire les demandes des clients dans une période donnée. Dans ce cas il doit décider de perdre la totalité ou une partie de demande à faible profit, d'où la possibilité de servir qu'une partie de la demande. Par exemple, Farhat et al. (2019) étudient le problème de dimensionnement de lots déterministe avec un seul item dans le cas où un détaillant signe un contrat de rachat avec un fournisseur qui lui fournit les quantités par lots. Ils considèrent un coût fixe par lot reconstitué en plus des coûts classiques de dimensionnement de lots et un coût de vente perdu pour chaque unité de demande non satisfaite.

### 2.3.2.5 Problème de dimensionnement de lots stochastique

Les articles sur le problème de dimensionnement de lots stochastique se concentrent principalement sur la demande comme source d'incertitude et peu d'entre eux considèrent l'aspect stochastique dans d'autres éléments tels que le coût, le rendement, le délai et la capacité.

Pour le problème des demandes stochastiques, la contrainte de niveau de service est l'une des méthodes utilisées par [Bookbinder & Tan \(1988\)](#). Les auteurs proposent une contrainte aléatoire pour modéliser une contrainte de niveau de service, et développent trois stratégies pour gérer le cadre résultant, qui sont l'incertitude statique, l'incertitude dynamique et l'incertitude statico-dynamique. Par la suite, [Tempelmeier & Herpers \(2011\)](#) utilisent la même méthode pour résoudre un problème de dimensionnement de lots dynamique à capacité multi-items sous des demandes aléatoires. [Rossi et al. \(2015\)](#) étudient le problème de dimensionnement de lots stochastique dans lequel la demande est supposée incertaine et non stationnaire. Ils proposent quatre modèles basés sur la stratégie d'incertitude statique-dynamique, c'est-à-dire la taille de lot stochastique, les contraintes de niveau de service, le schéma de coût de pénalité et les contraintes de niveau de service.

L'approche par scénarios est également utilisée pour traiter l'incertitude de la demande dans le cadre du problème de dimensionnement de lots stochastique. [Gutiérrez et al. \(2004\)](#) traitent le problème de dimensionnement de lots stochastique à un seul item où les coûts et la distribution de la demande dépendent du scénario sont pris en compte. Ils résolvent le problème en se basant sur une approche branch-and-bound. [Helber et al. \(2013\)](#) utilisent des scénarios de demande pour se rapprocher d'une version non linéaire du problème de dimensionnement de lots stochastique.

Les pannes de machines sont supposées stochastiques par [Nourelfath \(2011\)](#) pour le problème de dimensionnement de lots stochastique multi-périodes et multi-items. Le modèle proposé comprend un ensemble de contraintes pour assurer une probabilité minimale pour satisfaire le niveau de service à la clientèle, et il est résolu par une approche de solution en deux phases. [Witthayapraphakorn & Charnsethikul \(2019\)](#) étudient le problème de dimensionnement de lots avec un seul item et avec une demande incertaine impliquant un grand nombre de scénarios de simulations pour un nombre de périodes entre 5 et 20. Ils appliquent la décomposition de Benders avec programmation linéaire stochastique. [Gurkan & Tunc \(2021\)](#) considèrent le cas où les demandes périodiques sont des variables aléatoires variant dans le temps. L'objectif est de déterminer le plan de production à coût minimum attendu de manière à répondre aux demandes de période stochastiques sur l'horizon de planification. Ils proposent un PLNE ainsi qu'une heuristique fixe et optimise. [Hnaïen &](#)

Afsar (2017) proposent le problème de dimensionnement de lots stochastique robuste avec des délais incertains. Ils explorent les cas avec et sans contraintes de capacité et sans ventes perdu, par des scénarios discrets. Taş et al. (2019) formulent le problème de dimensionnement de lots avec des temps de réglage stochastiques et des heures supplémentaires comme un problème de programmation stochastique en deux étapes ainsi qu'une procédure d'approximation de moyenne d'échantillon. Dans le tableau 2.2 nous présentons un résumé sur le problème de dimensionnement de lots.

## 2.4 Problèmes de production et de transport intégrés

Les grandes catégories de problèmes de production et de transport intégrés sont présentées dans la figure 2.4. Le premier problème est la version intégrée de la planification de dimensionnement de lots et de la distribution avec des expéditions directes (Federgruen & Tzur (1999)). Ce problème détermine la taille des lots de la production sur un horizon de planification discret afin de minimiser la production, la configuration, les stocks et les coûts d'expédition directe. Ce problème peut également être considéré comme un problème de dimensionnement de lots à deux niveaux ou comme un problème d'entrepôt unique à plusieurs détaillants. Le deuxième problème est le problème de production et de tournées de véhicules intégré (Bard & Nananukul (2009)). Ce problème est une généralisation de problème de tournées de véhicules avec gestion des stocks (Andersson et al. (2010)), obtenu en considérant les décisions de production (c'est-à-dire les décisions relatives à la quantité de production et à la configuration). Ce dernier se réduit au problème de dimensionnement de lots intégré avec expédition directe en abandonnant l'aspect tournées de véhicules, et à un problème de tournées de véhicules avec gestion des stocks en négligeant l'aspect production.

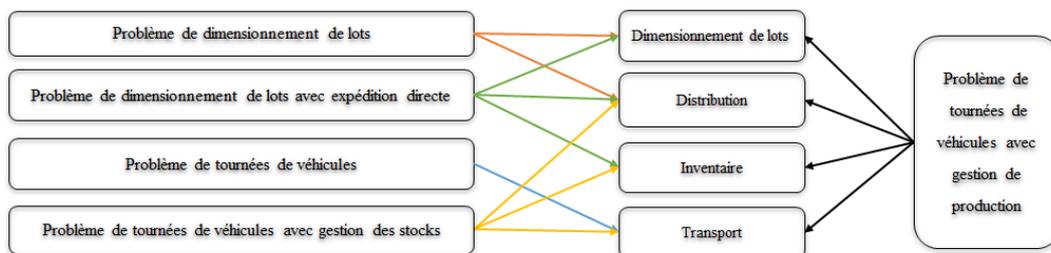


Figure 2.4 – Modèles de planification de la chaîne logistique

Tableau 2.2 – Synthèse des articles sur le problème de dimensionnement de lots

Références	Seul item	Avec la contrainte de capacité	Reconditionnement	Stochastique	Dynamique	Méthodes de résolution
Zangwill (1969)	*				*	Programmation dynamique
Pineyro & Viera (2010)		*				recherche tabou programmation en nombres entiers mixtes
Sahling (2013)		*				PLNE + Génération de colonnes
Baki et al. (2014)		*				PLNE, Programmation dynamique
Sifaleras et al. (2015)		*				Recherche à voisinage variable
Jiao et al. (2017a)	*			*		Heuristique
Hein & Almeder (2016)		*			*	Programmation génétique
Cunha et al. (2019)		*			*	Génération de colonnes
Carvalho & Nascimento (2018)	*					PLNE
Rapine et al. (2018)		*				Algorithme approximatif
Fiorotto et al. (2018)		*				PLNE
Koken et al. (2018)	*				*	Algorithme génétique
Rapine et al. (2018)	*				*	Heuristique, Programmation en nombres entiers mixtes
Zhou et al. (2018)		*				PLNE
Witthayapraphakorn & Charnsethikul (2019)	*			*		Décomposition de Benders
Farhat et al. (2019)		*				Heuristique
Cunha et al. (2019)	*			*		Mat-heuristique, Génération de colonne, recherche locale
Taş et al. (2019)	*			*		Procédure d'approximation de moyenne d'échantillon
Rodoplu et al. (2020)		*				PLNE, Fix-and-Relax
Suzanne et al. (2020)	*					Programmation dynamique
Li et al. (2020)		*				Algorithme d'approximation
Gurkan & Tunc (2021)	*			*		PLNE, Fix-and-Relax

### 2.4.1 Problèmes de production avec expédition directe

Dans le problème de la planification intégrée de la distribution par expédition directe et le dimensionnement de lots, la production peut être réalisée à chaque période et les produits sont directement transportés de l'usine de fabrication aux clients. Les produits peuvent être stockés à l'usine ou chez les clients, ce qui entraîne des coûts de stockage pour répondre à la demande. Les coûts de production, de lancement, de stockage et d'expédition sont minimisés sur l'horizon de planification. La planification intégrée de la production et de la distribution par expédition directe est étudiée par certains chercheurs où le coût de distribution est considéré comme un coût fixe ou une fonction de coût mixte. L'objectif est de minimiser les coûts de production, de préparation, de stockage et d'expédition directe sur l'horizon de planification. L'expédition directe est une politique de transport, elle consiste à expédier un produit directement du vendeur au client. La situation de coût fixe est réalisée lorsque les expéditions sont livrées par camion complet, tandis que le coût est variable lorsque les expéditions sont livrées par camion incomplet. Une fonction combinée intègre à la fois les aspects fixes et variables dans la structure des coûts.

Federgruen & Tzur (1999) étudient un cas particulier de problème de taille des lots et d'expédition directe. Ils considèrent le problème du multi-détaillant à un entrepôt unique avec une production et des véhicules sans contrainte de capacité. Ils examinent le cas des articles multiples et ils développent une heuristique de répartition du temps pour résoudre le problème. Rizk et al. (2006) décomposent le problème intégré en sous-problèmes liés à la taille des lots et à l'indépendance temporelle et ont mis au point une technique de relaxation lagrangienne pour obtenir des bornes inférieures.

Deux études (Li et al. (2004); Jiao et al. (2017b)) proposent des algorithmes de programmation dynamique pour résoudre le problème avec les structures de coûts de livraison par camion complet et incomplet. L'algorithme de programmation dynamique est également utilisé par Chand et al. (2007) et Jiao et al. (2017a) pour résoudre le problème de l'accumulation de retard et de la livraison fractionnée avec des restrictions de fenêtre de temps. Par la suite, Solyali & Süral (2012) développent une nouvelle formulation basée sur le modèle du transport combiné et du chemin le plus court et ils l'ont résolu en utilisant des approches heuristiques. Melo & Wolsey (2012) étudient le problème de production et de transport avec capacité à deux niveaux et ils proposent des heuristiques hybrides.

Récemment, Lmariouh et al. (2019) considèrent une étude de cas qui implique la production et la distribution d'eau en bouteille pour une usine à partir de laquelle toutes les demandes sont livrées en expéditions directes et

généralement par camion complet aux clients. Ils proposent un PLNE pour résoudre le problème de tournées de véhicules et de production multi-véhicules et multi-produits.

### 2.4.2 Problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks

Le problème de tournées de véhicules avec gestion des stocks est une généralisation du problème de tournées de véhicules. Il combine la gestion des stocks chez le client et l'acheminement des véhicules sans tenir compte de la planification de la production à l'usine centrale. Il est largement étudié au cours des dernières années dans le secteur de transport et logistique. En outre, ce problème se pose dans les contextes où un système de stockage est géré par le fournisseur. Dans ce système, un fournisseur surveille les niveaux de stockage de ses clients et prend la décision de réapprovisionner les produits à ses clients. Ce système transfère les tâches de stockage et de commande des clients au fournisseur afin de réduire la charge de travail, de diminuer les coûts et d'obtenir une meilleure efficacité grâce à la collaboration au sein de la chaîne logistique.

[Bell et al. \(1983\)](#) sont les premiers auteurs qui introduisent le problème de tournées de véhicules avec gestion des stocks dans une étude sur la livraison du gaz, ils l'ont résolu avec une méthode de relaxation lagrangienne. La même étude est menée pour le problème avec une seule période ([Berman & Wang \(2006\)](#)) et multi-périodes ([Mjirda et al. \(2014\)](#)), à la fois avec plusieurs fournisseurs et une seule usine d'assemblage dans laquelle chaque fournisseur fournit différent type de pièce. Certaines études abordent le problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks en juste à temps pour coordonner l'entrée de matériaux avec le taux de production ([Satoglu & Sahin \(2013\)](#)). Une étude de cas est envisagée dans ce contexte par [Montagné et al. \(2019\)](#). Ils étudient le problème de la collecte des déchets d'huile végétale régulièrement. Les déchets collectés sont traités et utilisés comme matière première pour de nouveaux produits. Comme le problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks est un problème combinatoire complexe, plusieurs méta-heuristiques, par exemple, la recherche tabou ([Rusdiansyah & Tsao \(2005\)](#)), l'algorithme génétique ([Jahangir et al. \(2019\)](#)), la procédure de recherche adaptative randomisée gourmande ([Savelsbergh & Song \(2007\)](#)), l'heuristique hybride avec une recherche tabou combinée avec le PLNE ([Archetti et al. \(2011\)](#)), et la recherche adaptative à voisine large ([Coelho et al. \(2012\)](#)), la méta-heuristique d'optimisation d'essaim de particules ([Widyadana & Irohara \(2019\)](#)) sont proposées.

Comme mentionné dans [Andersson et al. \(2010\)](#), quelques algorithmes

exacts sont proposés pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks en raison de sa complexité. Archetti et al. (2007) proposent un algorithme de branch-and-cut pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks avec un seul véhicule avec une contrainte de capacité. Savelsbergh & Song (2008) envisagent le problème de tournées de véhicules avec gestion des stocks avec des mouvements continus et développent un algorithme de branch-and-cut pour résoudre le problème lorsque le réseau est constitué de plusieurs usines et de plusieurs clients. Solyali & Süral (2012) renforcent la formulation de problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks avec la politique d'ordre à niveau de Archetti et al. (2007) en utilisant une reformulation du réseau de chemin le plus court.

Babagolzadeh et al. (2020) abordent les problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks stochastique avec les coûts énergétiques et d'émission. Ils considèrent que la quantité livrée à chaque détaillant, la voie de distribution des produits et le coût de vente perdu dépendent des scénarios. Ils proposent une programmation stochastique à deux étapes et un mat-heuristique basé sur la recherche locale itérative et un PLNE pour résoudre le problème avec moins de 65 scénarios à partir d'une étude de cas réel. Gruler et al. (2020) proposent une approche hybride qui combine la méta-heuristique recherche à voisinage variable avec une simulation pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules avec gestion des stocks stochastique avec une seule période et des exigences de rupture de stock.

### 2.4.3 Problèmes de tournées de véhicules avec gestion de production

Nous présentons ici le problème de production et tournées de véhicules qui combine les décisions relatives au dimensionnement de lots, la gestion des stocks et les tournées de véhicules. Le réseau de la chaîne logistique se compose d'une usine de production et de plusieurs détaillants, que nous pouvons considérer comme des clients de l'usine. L'usine et les détaillants disposent tous de leurs propres zones de stockage pour conserver les produits finis. La demande de chaque détaillant doit être satisfaite à chaque période de l'horizon de planification. À chaque période, l'usine doit décider de fabriquer ou non le produit et déterminer la quantité de la production correspondante. Si la production a lieu, ce processus engendre un coût de lancement fixe ainsi que des coûts de production unitaires. En outre, la taille des lots ne peut pas dépasser la capacité de production. Au cours de chaque période, les livraisons sont effectuées de l'usine aux détaillants par des véhicules équipés et des coûts d'acheminement sont encourus. Si les produits sont stockés à l'usine ou chez les détaillants, des coûts unitaires de stockage sont également encourus. L'op-

timisation de la distribution quotidienne est modélisée comme un problème du voyageur de commerce (Absi et al. (2018)) ou un problème de tournées de véhicules (Neves-Moreira et al. (2019)).

Chandra (1993) introduit le problème de tournées de véhicules avec gestion de production. Il étudie le problème de dimensionnement de lots avec un nombre illimité de véhicules avec capacité. Plus tard, le même auteur (Chandra et al. (1994)) définit le problème de tournées de véhicules avec gestion de production comme multi-produits où les demandes pour chaque produit sont connues à chaque période. Pour résoudre ce problème, l'auteur suggère que les opérations de fabrication utilisent le modèle de traitement par lots avec une capacité de ressources limitée. Il montre qu'il est possible de réaliser des économies de 3 à 20 % en résolvant le problème de tournées de véhicules avec gestion de production par rapport à la résolution séquentielle des problèmes séparés. Les différentes variantes de problème de tournées de véhicules avec gestion de production sont étudiées de manière approfondie en se concentrant sur le développement d'algorithmes efficaces.

On trouve ce problème avec une seule usine produisant un seul type de produit (Boudia & Prins (2009); Absi et al. (2015a)), ou bien à plusieurs types de produits (Brahimi & Aouam (2016)) aussi le problème avec plusieurs usines et à plusieurs produits (Zhang et al. (2017)). Quelques études sur ce problème envisagent une capacité de production et de stockage illimitée (Absi et al. (2018)). Plusieurs études abordent des importants aspects tels que les ventes perdues (Qiu et al. (2017)), les commandes en attente (Brahimi & Aouam (2016)), l'incertitude de la demande (Agra et al. (2018)), le tournées de véhicules riche (Miranda et al. (2018)), la logistique inverse (Qiu et al. (2018)) et les émissions de gaz à effet de serre (Qiu et al. (2017)).

Différents algorithmes pour résoudre le problème de tournées de véhicules avec gestion de production sont proposés, tels que les mat-heuristiques (Neves-Moreira et al. (2019)), et les méta-heuristiques comme la procédure de recherche adaptative randomisée gourmande (Boudia et al. (2007)), l'algorithme mémétique (Boudia & Prins (2009)), une recherche tabou (Armentano et al. (2011)), et une recherche adaptative à voisinage large (Bard & Nananukul (2009)). Absi et al. (2015a) proposent une méthode itérative en deux phases. Solyalı & Süral (2017) proposent une heuristique multi-phase pour le problème de tournées de véhicules avec gestion de production où les itinéraires sont calculés à l'avance et, dans un deuxième temps, les itinéraires prédéterminés sont utilisés pour simplifier les modèles de programmation en nombres entiers mixtes.

En raison de la complexité du problème, les approches exactes sont assez rares dans le contexte du problème de tournées de véhicules avec gestion de production. Solyalı & Süral (2009) développent une approche de relaxation

lagrangienne pour obtenir des limites inférieures basées sur la formulation de flux de produits multiples. [Bard & Nananukul \(2010\)](#) introduisent un cadre de branch-and-price.

[Adulyasak et al. \(2015\)](#) étudient le problème de tournées de véhicules avec gestion de production stochastique sous l'incertitude de la demande. Ils considèrent que les quantités de production, la quantité livrée au client, la quantité de demande non satisfaite chez le client dépendent des scénarios. Ils proposent une formulation en deux étapes, une approche de décomposition de benders et une méthode d'approximation de la moyenne des échantillons pour résoudre le problème avec 100, 500 ou 1000 scénarios. [Shuang et al. \(2019\)](#) considèrent que le nombre d'articles usés disponibles pour le ramassage chez le client et le nombre d'articles usés expédiés du client à l'installation de reconditionnement dépendent des scénarios. Ils proposent un problème de programmation stochastique à deux niveaux et génèrent trois scénarios.

#### 2.4.4 Problèmes de tournées de véhicules et d'assemblage

Le problème de tournées de véhicules et d'assemblage réside dans la prise en compte particulière de la collecte de tous les composants nécessaires auprès de divers fournisseurs pour accomplir le processus d'assemblage. Ainsi, un composant manquant implique l'impossibilité de l'opération d'assemblage ([Kuhn & Liske \(2011\)](#)). Le problèmes de tournées de véhicules et d'assemblage vise à minimiser la somme des coûts tels que la production, les stocks et l'approvisionnement, sous réserve de plusieurs types de contraintes de capacité à un horizon temporel fini et discret ([Kuhn & Liske \(2014\)](#)). Certaines études portent sur la production en juste à temps, où le stockage du produit final ou des matières premières n'est pas autorisé dans l'usine ([Hein & Almeder \(2016\)](#)). Différentes versions de modèles mathématiques sont proposées. [Díaz-Madroño et al. \(2017\)](#) proposent un PLNE qui prend en compte différents modes d'expédition ; par camion complet et incomplet. [Chitsaz et al. \(2019\)](#) formulent le problèmes de tournées de véhicules et d'assemblage comme un PLNE et l'ont résolu par une mat-heuristique. [Chitsaz et al. \(2020\)](#) formulent ce problème avec un PLNE modèle résolu par un algorithme de branch-and-cut. Récemment, [Afsar & Hnaien \(2020\)](#) proposent une nouvelle formulation du problème dans laquelle ils étudient l'aspect dynamique de la demande.

Dans le tableau 2.3 nous présentons un résumé sur les travaux les plus proches à la problématique étudié dans cette thèse.

Tableau 2.3 – Articles sur les problèmes d'assemblage et de désassemblage

Références	Assemblage		Désassemblage		Transport		Méthodes de résolutions
	multi-item	Capa	multi-item	Capa	Stocha	LTL	
Kim & Xirouchakis (2010)			*	*	*		Heuristique lagrangienne
Prakash et al. (2012)				*			Algorithme de recuit simulé basé sur les contraintes
Ullrich & Buscher (2013)				*			Heuristiques
Godichaud et al. (2015)				*			PLNE, algorithme génétique
Inderfurth et al. (2015)					*		Analyse empirique, mathématique
Hein & Almeder (2016)		*				*	PLNE
Hrouga et al. (2016)				*			Algorithme génétique, Fixe-and-optimize
Ji et al. (2016)			*	*			Heuristique lagrangienne
Díaz-Madroño et al. (2017)	*			*			PLNE
Liu & Zhang (2018)				*	*		Programmation non linéaire, Approximation externe
Tian & Zhang (2019)			*	*			Algorithme d'optimisation d'essai de particules
Habibi et al. (2019)			*	*	*	*	PLNE, mat-heuristique
Chitsaz et al. (2019)				*	*	*	PLNE, mat-heuristique
Chitsaz et al. (2020)		*				*	branch-and-cut
Slama et al. (2020)				*			PLNE
Afsar & Hnaien (2020)						*	PLNE, décomposition de Benders
Pour-Massahian-Tafti et al. (2020)				*			3 PLNE, 2 Heuristiques

### 2.4.5 Problèmes de tournées de véhicules stochastiques

Le problème de tournées de véhicules, est une généralisation du problème du voyageur de commerce. Ce dernier est formulé en 1959 par [Dantzig & Ramser \(1959\)](#) sous le nom de « Truck Dispatching Problem », il fait déjà l'objet d'études intensives pour le modéliser et le résoudre. Un problème de tournées de véhicules a pour objectif de construire un ensemble des tournées de coût minimal permettant à chaque commerçant (véhicule) de desservir un ensemble de clients tout en satisfaisant un certain nombre de contraintes. Dans ce problème, la flotte de véhicules est homogène et le nombre de clients (villes, magasins, entrepôts, machines de fabrication dans un atelier, etc.) est connue a priori. Le coût minimal peut être la distance totale parcourue, le temps de parcours, le nombre de véhicules utilisés, etc. De nombreuses variantes de problème de tournées de véhicules sont définies par extension de ce problème de base, en rajoutant différentes hypothèses, contraintes et/ou objectifs. Dans cette sous-section, nous nous concentrons sur le problème de tournées de véhicules avec l'incertitude de la demande ([Tillman \(1969\)](#)). Plusieurs modèles mathématiques et algorithmes différents sont proposés et explorés pour traiter le problème de tournées de véhicules avec des demandes stochastiques ([Gendreau et al. \(2016\)](#)). [Sungur et al. \(2008\)](#) introduisent une approche d'optimisation robuste pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules. L'objectif est de minimiser les coûts de transport tout en satisfaisant toutes les demandes incertaines. [Lei et al. \(2011\)](#) formulent un modèle de recours stochastique à deux étapes et proposent une heuristique de recherche adaptative à voisinage large. [Lee et al. \(2012\)](#) étudient le problème de tournées de véhicules avec des demandes stochastiques avec deux types d'ensembles d'incertitude avec des paramètres ajustables pour les réalisations possibles du temps de déplacement et de la demande. Ils proposent une décomposition de type Dantzig-Wolfe pour résoudre le problème. [Marinaki & Marinakis \(2016\)](#) développent un algorithme basé sur une méta-heuristique d'optimisation d'essaim de particules hybride avec la recherche à voisinage variable pour résoudre le problème de tournées de véhicules avec des demandes stochastiques.

Différents aspects du problème de tournées de véhicules avec des demandes stochastiques sont étudiées, comme les demandes stochastiques simple, avec des fenêtres de temps ou avec ramassage et livraison.

[Li et al. \(2010\)](#) étudient le problème avec des fenêtres de temps avec des temps de déplacement et de service stochastiques et introduisent un modèle à contraintes aléatoires et un modèle de recours stochastique. [Corso & Wallace \(2015\)](#) traite l'incertitude de la demande dans le problème de ramassage et de livraison en utilisant l'algorithme génétique. [Zhang et al. \(2016\)](#) étudient le problème avec des fenêtres de temps impliquant des demandes stochastiques

et ils proposent trois modèles probabilistes pour traiter la probabilité de livraison à temps tout en minimisant le coût total attendu. [Goodson et al. \(2017\)](#) résolvent le cas des véhicules multiples dans le cadre de l'approche de réoptimisation avec une méthode de programmation dynamique approximative. [Hu et al. \(2018\)](#) étudient le problème avec des fenêtres de temps sous l'angle de l'incertitude de la demande et du temps de trajet. Ils proposent un modèle d'optimisation robuste pour traiter les cas de petite taille et un algorithme à deux étapes basé sur une heuristique de recherche adaptative à voisinage variable modifiée pour traiter les cas de grande taille. [Florio et al. \(2020\)](#) étudient le cas de problème de tournées de véhicules avec des demandes stochastiques avec un seul véhicule et avec un repeuplement optimal comme processus de décision Markov. Un modèle d'attente et de vision est proposé et est utilisé dans une heuristique parallèle pour résoudre des instances de la littérature et des autres plus importantes avec jusqu'à 150 nœuds et avec une demande distribuée avec la loi de Poisson.

## 2.5 Conclusions

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les différents problèmes en relation directe ou indirecte avec notre problématique. Nous nous concentrons sur les problèmes de planification qui intègrent les activités de production et de transport dans le flux direct et inverse de la chaîne logistique. Nous constatons que les problèmes de tournées de véhicules avec gestion de production et ses variantes attirent plus en plus l'attention des chercheurs au cours des dernières années. Cependant, le problèmes de tournées de véhicules et d'assemblage l'un des plus importants problèmes de la chaîne logistique a reçu moins d'attention. Nous constatons aussi que les opérations d'assemblage et de désassemblage dans le processus de production sont largement étudiés mais de façon séparée. Toutefois, à notre connaissance, le problème de tournées de véhicules et d'assemblage avec désassemblage des produits retournés n'est pas encore abordé. Motivée par les observations mentionnées ci-dessus, cette thèse est consacrée à l'étude de ce nouveau problème de planification qui regroupe les opérations d'assemblage et de désassemblage avec des tournées de véhicules dans les cas déterministe et stochastique.

