

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE  
ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

**Département Génie Industriel**

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

**Contribution à la valorisation des retours à travers un  
plan de désassemblage dans le secteur de l'électroménager.  
Cas d'application : Brandt Algérie.**

**Présenté par :**

**GAHLOUZ Melissa Management industriel  
FERHAT Selma Management industriel**

**Sous la direction de M. Iskander ZOUAGHI    MCB**

**Présenté et soutenu publiquement le (07/07/2020)**

**Composition du Jury :**

<b>Président</b>	<b>Mme. Bahia BOUCHAFAA</b>	<b>MCA</b>	<b>ENP</b>
<b>Encadrant</b>	<b>M. Iskander ZOUAGHI</b>	<b>MCB</b>	<b>ENP</b>
<b>Examineur</b>	<b>Mme. Nadjwa BOUKADOUM</b>	<b>MAA</b>	<b>ENP</b>
<b>Invité</b>	<b>M. Tahar BENNADJI</b>	<b>Directeur général Brandt Algérie</b>	



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE  
ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

**Département Génie Industriel**

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

**Contribution à la valorisation des retours à travers un  
plan de désassemblage dans le secteur de l'électroménager.  
Cas d'application : Brandt Algérie.**

**Présenté par :**

**GAHLOUZ Melissa Management industriel  
FERHAT Selma Management industriel**

**Sous la direction de M. Iskander ZOUAGHI    MCB**

**Présenté et soutenu publiquement le (07/07/2020)**

**Composition du Jury :**

<b>Président</b>	<b>Mme. Bahia BOUCHAFAA</b>	<b>MCA</b>	<b>ENP</b>
<b>Encadrant</b>	<b>M. Iskander ZOUAGHI</b>	<b>MCB</b>	<b>ENP</b>
<b>Examineur</b>	<b>Mme. Nadjwa BOUKADOUM</b>	<b>MAA</b>	<b>ENP</b>
<b>Invité</b>	<b>M. Tahar BENNADJI</b>	<b>Directeur général Brandt Algérie</b>	

## ملخص:

الغرض من هذه الدراسة هو اقتراح حل لاستعادة المنتجات المعيبة أو التي لم تعد قابلة للاستخدام، من خلال التخطيط للتفكيك للحصول على قطع منفصلة قابلة للاستخدام. سيتم تطبيق هذا التخطيط الأخير على شركة الأجهزة المنزلية براندت الجزائر. من منظور تسهيل عملية إتخاذ القرار، سنثبت أن التفكيك يشكل أرباح مختلفة للشركة، أولاً، سيزيد من ربح الإصلاح للشركة، سيتم كذلك تحسين رضا الزبائن من خلال سعر إصلاح أرخص مقابل استعمال قطع منفصلة مشترية. سيتم نمذجة هذه المشكلة من خلال نموذج برمجة رياضية بأرقام طبيعية للتقليل من التكاليف. مجهولات النموذج هي كميات الأجزاء المشتراة، والمنتجات التي تم تفكيكها، ومخزونهما.

**الكلمات المفتاحية:** التفكيك، التخطيط، اللوجستيك العكسية، اتخاذ القرار، برمجة رياضية بأرقام طبيعية، الأجهزة الكهرومنزلية.

## Abstract :

The aim of this study is to propose a solution for the valuation of returns of end of use or defective products, through a disassembly scheduling. The latter will be applied to the household appliances company Brandt Algérie. In a perspective of decision support, we will demonstrate that it is profitable for the company to value the spare parts resulting from the disassembly of returned products. The added value is multiple, first of all, it will increase the company's repair profit. Secondly, customer satisfaction will be improved by a cheaper repair price with recovered spare parts. This problem will be modeled by an integer programming model that minimizes costs. The decision variables will be the quantities of purchased parts, disassembled products, and their inventory.

**Keywords :** Desassembly, scheduling, reverse logistic, decision support, integer programming, home appliance.

## Résumé :

Le but de cette étude est de proposer une solution pour la valorisation des retours de produits en fin d'utilisation ou défectueux, à travers un plan de désassemblage. Celui-ci sera appliqué sur l'entreprise de l'électroménager Brandt Algérie. Dans une optique d'aide à la décision, nous démontrerons qu'il est rentable pour l'entreprise de valoriser les pièces détachées issues du désassemblage des produits retournés. La valeur ajoutée est multiple, d'abord, ça permettra d'augmenter le profit de réparation de l'entreprise. Ensuite, la satisfaction client sera améliorée par un tarif de réparation moins cher avec des pièces détachées récupérées. Ce problème sera modélisé par un modèle de programmation mathématique en nombres entiers qui minimise les coûts. Les variables de décisions seront les quantités de pièces achetées, les produits désassemblés, et leurs stocks.

**Mots clé :** désassemblage, planification, logistique inverse, prise de décision, programmation linéaire en nombres entiers, électroménager.

# Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'études :

A mes chers parents, qui m'ont toujours poussé à viser l'excellence dans mes études, et sans qui je ne serai pas la aujourd'hui.

A mes sœurs adorées Ines et Lyna.

A la mémoire de ma défunte tante Nadia, partie trop tôt, la douleur de sa perte restera toujours présente, qu'elle repose en paix.

A ma grand-mère, à mon grand-père, à mes oncles et tantes ainsi que toute ma famille.

A la mémoire de ma grand-mère et de mon grand père.

A ma meilleure amie Cyrine.

A ma binôme avec qui j'ai partagé ces longues journées de travail.

A toutes les formidables personnes que j'ai connues au cours de mes études.

**Mélissa**

# Dédicaces

Je dédie ce travail de fin d'étude :

Aux personnes m'étant les plus chères au monde, mes parents, qu'aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que je ne cesserai d'avoir pour eux.

A ma sœur et éternelle confidente Imene.

A ma libellule Anna.

A ma meilleure amie et ma sœur qui m'a toujours encouragée, Sarah.

A la mémoire de mes grands-parents.

A tous les membres de ma famille qui ont toujours été là pour moi.

A ma binôme pour son dévouement, sa motivation malgré les durs moments.

A tous mes amis et proches qui m'ont toujours soutenue et apporté de la positivité.

**Selma**

# Remerciements

Nos remerciements et gratitude s'adressent à notre encadreur Mr. Iskander Zouaghi qui nous a orientées tout au long de notre travail avec ses conseils.

Nos remerciements s'adressent également à Mr. Tahar Bennadji , ainsi qu'au personnel de Brandt , Mr. Mohamed Chawki Azzanni , Mr Karim Derardja et Mr Hamid Dourari qui nous ont accueillies et permis de réaliser ce travail, ainsi que pour la confiance qu'ils nous ont accordée.

Nous exprimons aussi nos remerciements aux membres du jury, Mme. Bahia Bouchafaa ainsi que Mme. Nadjwa Boukadoum de nous faire l'honneur d'évaluer notre travail.

Enfin, nous remercions tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à l'enrichissement de notre formation.

## Table de matière

*Table des matières*

*Liste des tableaux*

*Liste des figures*

*Liste des abréviations*

***Introduction générale. .... 11***

***Chapitre 1 : Etat de l'art. .... 13***

*Introduction*

*1 La logistique inverse ..... 14*

1.1 Émergence et définition de la logistique inverse ..... 14

1.2 Différence entre logistique directe et logistique inverse ..... 15

1.3 Les enjeux de la logistique inverse ..... 17

1.4 Les types de retours ..... 18

1.4.1 Les retours commerciaux ..... 18

1.4.2 Les retours en fin d'utilisation ..... 19

1.4.3 Les retours de fin de vie ..... 19

1.4.4 Les motifs des retours de produits ..... 19

1.5 Les différents flux et processus de la logistique inverse ..... 20

*2 Les problématiques de la logistique inverse ..... 23*

2.1 Les différentes problématiques de la logistique inverse ..... 23

2.2 La planification en logistique inverse ..... 25

*3 Le problème du désassemblage ..... 26*

3.1 La planification du désassemblage ..... 27

3.2 Les modèles d'optimisation des plans de désassemblage ..... 28

*4 Définition de la problématique ..... 29*

*Conclusion*

***Chapitre 2 : Cas d'étude : Brandt Algérie ..... 30***

*Introduction*

*1 Présentation de l'entreprise Brandt Algérie ..... 31*

*2 Le secteur de l'électroménager ..... 33*

2.1 Le marché algérien de l'électroménager ..... 33

2.2 Positionnement de Brandt par rapport à la concurrence ..... 34

2.3 Les facteurs de succès des acteurs de l'électroménager ..... 34



3	<i>Description de la logistique inverse de Brandt</i> .....	35
3.1	Gestion de la demande de retour client .....	35
3.2	Analyse des flux de retours .....	36
3.2.1	Les retours de l'avant-vente .....	36
3.2.2	Les retours de l'après-vente .....	37
3.2.3	La vente aux enchères des produits Rework .....	37
3.2.4	Le flux de retour par produit .....	38
3.2.5	Les types de retours du service après-vente .....	42
3.3	Analyse des pièces intervenant dans la réparation .....	43
4	<i>Analyse du comportement du consommateur</i> .....	44
4.1	Définitions .....	45
4.2	Le comportement du consommateur face à la réparation.....	45

Conclusion

***Chapitre 3 Modélisation du problème et simulation*..... 49**

*Introduction*

1	<i>Les problèmes d'optimisation linéaires</i> .....	50
1.1	Modèle d'optimisation mono-objectif.....	50
1.2	Programmation linéaire en nombres entiers .....	51
2	<i>Le modèle mathématique</i> .....	51
3	<i>Application du modèle</i> .....	57
3.1	Présentation du produit étudié.....	57
3.2	Résolution du modèle.....	58
3.3	Estimation des paramètres.....	59
3.3.1	Estimation de la demande de réparation.....	59
3.3.2	Estimation du coût de désassemblage .....	60
3.4	Les résultats du modèle .....	61
4	<i>Analyse des résultats et simulation</i> .....	63
5	<i>Le profit du désassemblage</i> .....	65
6	<i>Le gain en réparation</i> .....	66
7	<i>Les limites et les perspectives de l'étude</i> .....	67

*Conclusion*

***Conclusion générale*.....70**

***Bibliographie*.....71**

***Annexes*.....74**

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Différences entre la logistique directe et inverse. ....	17
Tableau 2 : Les raisons des retours de produits .....	20
Tableau 3: Taux de retours sous et hors garantie .....	43
Tableau 4: Les taux de panne et tarifs par pièce .....	44
Tableau 5: Les modèles de produits et leurs pièces. ....	57
Tableau 6: Le coût total de désassemblage pour les différents modèles.....	61
Tableau 7: Quantités de produits en stock pour chaque période .....	61
Tableau 8: Quantité de produits désassemblés pour chaque période .....	62
Tableau 9: Quantité de pièces en stock pour chaque période.....	62
Tableau 10: Quantité de pièces détachées achetées pour chaque période.....	62
Tableau 11 : Taux d'utilisation des pièces d'occasion pour les demandes D1 D2 D3 D4 .....	67
Tableau 12 : Demande de pièces neuves par mois .....	78
Tableau 13: Demande de réparation de pièces détachées par mois .....	78
Tableau 14: Initialisation des produits en stock en première période .....	79
Tableau 15: Initialisation des pièces en première période .....	79
Tableau 16: Retours des produits par mois .....	80
Tableau 17: Capacité de stockage par période pour les produits et pièces .....	80
Tableau 18: Cout d'achat de pièces détachées neuves .....	80
Tableau 19 : Coût de désassemblage produit .....	81

## Liste des figures

Figure 1 : Schéma de la définition de la logistique inverse. ....	15
Figure 2: Schéma des étapes de la logistique inverse .....	23
Figure 3: Structure de désassemblage de deux produits avec pièce commune. ....	28
Figure 4: Organigramme de Brandt Algérie .....	33
Figure 5: Schéma conditionnel de prise en charge de la réparation sous garantie .....	36
Figure 6: Diagramme de la logistique inverse et directe de Brandt Algérie .....	38
Figure 7: Valeur des ventes par sous-famille de GEM. ....	39
Figure 8: Retour par sous-famille de produit du GEM. ....	39
Figure 9: Proportion des retours pour les sous-familles de produits du GEM. ....	39
Figure 10: Constitution d'un lave-linge. ....	40
Figure 11: Valeur des ventes par famille de lavage. ....	41
Figure 12: Ventes et Rework par famille de Lavage. ....	41
Figure 13: Retour des lave-linges FRONT .....	42
Figure 14: Répartition des retours clients depuis la durée d'achat du produit. ....	42
Figure 15: Impact de la réparabilité sur la demande. ....	46
Figure 16: Impact de la réparabilité sur le coût de réparation. ....	46
Figure 17: Impact de la réparabilité sur le profit optimal. ....	47
Figure 18: Structure de désassemblage de la machine à laver . ....	60
Figure 19: Total des pièces d'occasion et pièces achetées pour la demande en pièces d'occasion. ....	64
Figure 20: Quantités de pièces d'occasion et pièces achetées par référence pour D1 .....	64
Figure 21: Quantités de pièces d'occasion et pièces achetées par référence pour D2 .....	65
Figure 22: Le profit en fonction des demandes D1 D2 D3 D4 .....	66
Figure 23: Fenêtre de CPLEX. ....	74

## Liste des abréviations

CLR : Centre logistique régional  
DA : Dinar algérien  
FRONT : Frontal  
GEM : Gros électroménager  
GfK : Growth from Knowledge  
HG : Hors garantie  
HT : Hors taxes  
MENA : Middle East and North Africa  
MFG : Mediterranean Float Glass  
PCA : Prainsa Cevico Algérie  
PEM : Petit électroménager  
PLNE : Programmation linéaire en nombres entiers  
RFID : Radio Frequency Identification  
SAV : Service après-vente  
SEP : Sclérose en plaques  
SG : Sous garantie  
UM : Unité monétaire

## Introduction générale

De nos jours, les entreprises adhèrent principalement à un modèle linéaire de création de valeur qui commence par l'extraction et se termine par l'élimination du produit en fin de vie. Ce modèle de développement linéaire actuel « Extraire, Fabriquer, Jeter » repose sur la consommation de matériaux et d'énergie peu chers et accessibles, les ressources sont ensuite vendues comme des marchandises, dans l'espoir que le client les jettera et en achètera davantage, mais ce modèle atteint aujourd'hui ses limites.

Les consommateurs sont de plus en plus disposés à payer au besoin pour des biens réutilisables à moindre prix plutôt que d'en acheter de nouveaux, ce qui les amène parfois à se diriger vers le marché d'occasion, ou vers les réparateurs indépendants pour se procurer des pièces de rechange. Pour cela, plusieurs producteurs ont commencé à voir la possibilité d'intégrer la logistique inverse, pour des raisons de législations ou pour des raisons économiques. La valorisation de produits retournés est alors devenue nécessaire pour les entreprises puisqu'elle leur permettrait d'être socialement responsable en se projetant dans un environnement de développement durable grâce à la réintégration de leur output dans la chaîne logistique tout en améliorant leur image de marque auprès des consommateurs, ce qui se répercutera directement sur leur profit. En effet, l'enjeu est d'associer à la fois la rentabilité de la gestion des retours, et l'aspect écologique.

Parmi les secteurs les plus concernés par ce besoin, on cite l'électroménager. En effet dans le secteur de l'électroménager et plus précisément le gros électroménager (GEM), le taux de pannes de produits est fréquent, ce qui nécessite parfois un remplacement de pièces détachées coûteuses dont le prix pourrait dépasser le seuil limite de réparation, estimé par la moyenne des consommateurs à 30-40 % du prix d'achat du produit. C'est un dilemme de taille pour les entreprises d'intégrer la réutilisation des produits retournés dans leur activité commerciale principale. Les systèmes inverses sont généralement traités comme un silo, isolé du cœur de métier, où les activités communes doivent encore être établies et ne sont pas entièrement comprises dans différents contextes en raison de la complexité du type de produit et le manque de maîtrise des flux de retours.

De plus, concernant la législation algérienne, les incitations à valoriser ses produits en fin de vie ne sont pas encore imposées pour les industries de l'électronique et l'électroménager, ce qui nous permet d'explorer ce terrain vierge et de faire un état des lieux dans une optique de stratégie proactive par rapport à la législation, bien que l'argument principal sera économique dans notre cas. En effet, notre objectif est de démontrer que la réutilisation des retours peut être une activité rentable pour les producteurs.

Dans ce contexte, notre cas d'étude se penchera sur Brandt Algérie, qui à l'image de ses concurrents, se limite aux prestations classiques du service après-vente dans la gestion des retours. Il est à rappeler que le groupe jouit d'une place importante dans le secteur de l'électroménager en Algérie, et fait de la satisfaction des clients un axe d'orientation majeur. Dans cette perspective, l'entreprise présente un potentiel considérable pour la réutilisation de ses produits retournés, principalement des produits qui ont été cabossés lors de la livraison ou des échanges clients pendant leur période de garantie. Ces retours peuvent être exploités à travers le désassemblage en pièces détachées. Ces dernières seront utilisées dans un service de

réparation à prix abordable. Cette offre de service pourrait ainsi la différencier des concurrents tout en élargissant et diversifiant sa demande en réparation.

L'approche que nous avons adoptée pour notre mémoire est de commencer par une conceptualisation théorique avant de passer par une application dans l'industrie.

La question à laquelle nous tenterons de répondre est la suivante : « **La valorisation des retours par le désassemblage peut-elle être rentable pour l'entreprise ?** »

Pour répondre à cette problématique, le travail a été organisé comme suit :

Le Chapitre I est consacré à l'état de l'art. Nous verrons grâce à une revue de littérature les concepts de la logistique inverse en général et de la planification du désassemblage des retours en particulier.

Le Chapitre II introduit le cas d'étude pour notre problématique. Nous ferons un état des lieux de l'entreprise Brandt Algérie, son positionnement et ses activités. Cette partie se concentre sur un diagnostic interne sur les flux de retours des produits. L'analyse effectuée permettra l'identification du type de produit étudié pour le désassemblage et les sources de profit liés à l'utilisation des pièces récupérées dans le service après-vente.

Le Chapitre III est dédié à la modélisation du problème posé, la définition de la fonction objective, des contraintes et des variables de décision. Son objectif étant de fournir une aide à la décision pour l'entreprise, à travers une minimisation des coûts d'approvisionnement des pièces détachées, selon qu'elles viennent du désassemblage ou de l'achat direct. Ensuite, dans le même chapitre, nous allons dérouler le modèle et l'analyse des résultats et des sensibilités. L'objectif sera d'évaluer la rentabilité de l'activité du désassemblage et le gain en réparation. Les limites et les perspectives associées à notre modèle seront détaillées dans la fin du chapitre.

Enfin, une conclusion générale viendra clore ce mémoire pour rappeler les principales phases de ce projet.

# **Chapitre 1 :**

# **Etat de l'art**

## **Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons explorer l'état de l'art lié à la gestion des retours, nous présenterons le concept de la logistique inverse ainsi que ses différentes problématiques avant de nous focaliser sur le problème du désassemblage, autour duquel se déroulera l'étude.

## **1 La logistique inverse**

### **1.1 Émergence et définition de la logistique inverse**

La logistique inverse est devenue aujourd'hui un thème de plus en plus important de la logistique d'un point de vue général, bien que ce soit une activité assez récente, qui est apparue dans les années 90. En effet, c'est ce concept qui a introduit pour la première fois la notion de « rétro logistique ». Cette approche inclut dans un processus unique la totalité des flux d'informations et physiques (directs et inverses) qui sont nécessaires à la fabrication, à la distribution et au retour d'un produit en fonction de son cycle de vie.

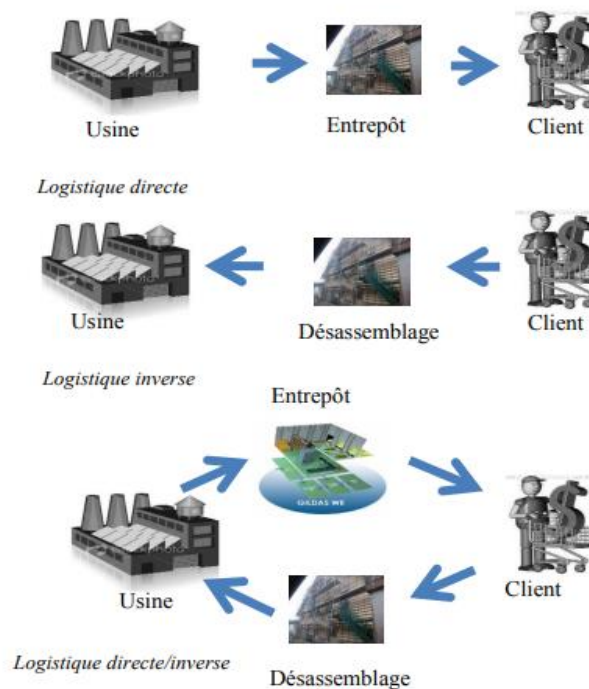
Apparu au début des années 1990, ce concept a vu le jour presque simultanément en Amérique du Nord et en Europe, mais avec des descriptions sensiblement différentes :

En Amérique du Nord, notamment aux Etats-Unis, la logistique inverse a été mise en place suite à un besoin et un marché potentiel. En effet, les consommateurs comme les clients ou acheteurs souhaitaient recycler les produits en fin de vie, les emballages, les déchets de production. Cette pratique régulière du retour est nécessaire à la satisfaction de la clientèle américaine. Le Council of Logistics Management publiait dès 1991 un document intitulé « Reverse Logistics » suivi en 1993 du livre « Reuse and Recycling – Reverse Logistics opportunities ».

La logistique inverse est définie comme un processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle du flux efficace et rentable des matières premières, des stocks en cours de fabrication, des produits finis et des informations connexes du point de consommation au point d'origine dans le but d'en récupérer la valeur (Rogers et Tibben-Lembke, 1999) . D'autre part, pour Roghanian et Pazhoheshfar, (2014), la logistique inverse est définie comme le processus de planification, de mise en œuvre et de contrôle de l'efficacité et de l'efficience des flux de matières premières, de l'en-cours des stocks, des produits finis et des informations reliant le point de consommation au point d'origine dans le but de redonner une valeur aux produits ou bien de les éliminer.

La logistique inverse fait donc référence aux flux matières qui empruntent le chemin inverse et remontent la chaîne de création de valeur. Initialement, elle concernait principalement la gestion des déchets et des produits en fin de vie (récupération, réutilisation et recyclage) et s'inscrivait dans une problématique écologique et environnementale. Actuellement, la logistique inverse dépasse ce seul champ d'activité pour inclure : la gestion des produits en retour (produits défectueux ou non désirés par les clients), la gestion des produits en fin de vie, le retraitement ou l'élimination des chutes et déchets générés pendant les processus de production, de transport et de distribution.





Source : (Salema et al, 2007)

Figure 1 : Schéma de la définition de la logistique inverse.

## 1.2 Différence entre logistique directe et logistique inverse

La logistique directe est définie comme suit : après l'achat auprès des fournisseurs, des matières premières sont converties en produits finis dans les usines de fabrication. Ces produits sont transférés aux clients via le centre de distribution afin de répondre à leurs demandes. (Ramezani et al., 2013).

La logistique inverse se démarque de la logistique directe par la nature des flux de matière et d'information qui se présentent au cours des processus opérationnels. En effet, pour la logistique directe, les flux s'échangent de centres de production aux entrepôts et centres de distribution, pour finalement se diriger vers le client, alors que ces flux sont généralement entrepris par le client dans le cadre de la logistique inverse. Il s'agit là de la principale cause d'incertitudes dans les réseaux de logistique inverse. Cette particularité peut s'exprimer en termes de qualité, de temps ou de quantités.

De manière plus explicite, Tibben-Lembke et Rogers(2002) listent les éléments qui différencient la logistique inverse de la logistique directe :

- La difficulté à réaliser une planification des activités de logistique inverse, vu que chaque client l'initialise individuellement.
- Transport de plusieurs clients vers une entité unique : Une autre spécificité majeure de la logistique inverse réside dans le nombre de points d'origine et destination. Là où la chaîne logistique directe livre à partir d'un point unique plusieurs clients, la chaîne logistique inverse alimente un point de traitement à partir de plusieurs origines.

- Qualité des produits et packaging : les produits livrés par un fournisseur à ses clients conservent leurs propriétés, pendant que les produits issus de la logistique inverse n'ont pas d'emballage.
- Incertitude sur la destination : En logistique directe, il est établi que les produits stockés dans un centre de distribution sont destinés à au moins l'un des centres de distribution clients en fonction de leurs besoins. En logistique inverse, la plupart des entreprises centralisent sur une plate-forme de collecte les produits retournés sans savoir a priori quelle sera leur destination finale. La difficulté est ensuite de déterminer vers quel site de traitement il faut retourner lesdits produits.
- Réactivité moins fondamentale : Alors qu'en logistique directe la réactivité et la rapidité d'exécution d'une commande sont des facteurs primordiaux, en logistique inverse, les revendeurs n'insistent pas beaucoup sur ces critères. Ceci s'explique par le fait qu'ils ne commandent pas réellement leurs produits. Ils attendent qu'on leur propose des lots de produits retournés.
- Différences sur les coûts : Les coûts unitaires de la logistique inverse se distinguent de la logistique directe en termes de coûts de transport plus élevés (quantité plus faible et circuit plus disparate) ; de coûts de stockage plus faibles ; de coûts de produits perdus / volés plus faibles ; de coûts d'obsolescence beaucoup plus élevés (produits plus difficiles à écouler), de coûts de contrôle qualité, de conditionnement secondaire et de préparation plus importants (diversité produits, qualité variable). Il faut aussi noter que les processus de logistique inverse étant souvent moins bien maîtrisés, et les volumes traités très éclatés, il est très difficile d'établir un contrôle de gestion rigoureux de ces coûts.
- Gestion des stocks non consistante : En logistique inverse, l'arrivée des produits est véritablement aléatoire et les prix non maîtrisés. Les règles de gestion des stocks classiques en logistique directe ne peuvent donc pas s'appliquer. Une autre problématique porte sur les effets de saisonnalité plus appuyés dans le cas de la logistique inverse.
- Faible vision globale : La traçabilité des éléments de la logistique inverse sont très difficile à suivre (notamment car les systèmes d'information ne sont pas adaptés). Parce que la logistique inverse n'est généralement pas une priorité des entreprises, aucune ressource n'est affectée au développement de tels systèmes. Cette absence de visibilité rend particulièrement délicat l'exécution des tâches opérationnelles (manque d'anticipation)

Nous présentons ci-dessous un tableau qui résume les différences entre la logistique directe et inverse, toujours selon Tibben-Lembke et Rogers (2002).

Tableau 1 : Différences entre la logistique directe et inverse.

Logistique Directe	Logistique inverse
Prévision relativement fiables	Prévisions plus difficile à établir
Mono-sourcing	Multi-sourcing
Qualité des produits uniforme	Qualité des produits on uniformes
Circuit de distribution établi	Circuit de distribution non établi au préalable
Politique tarifaire établie	Politique tarifaire variable
Réactivité importante	Réactivité pas très importante
Traçabilité facile	Traçabilité difficile
Gestion des stocks consistante	Gestion des stocks inconsistante

Source : (Tibben-Lembke et Rogers, 2002, p.276)

### 1.3 Les enjeux de la logistique inverse

Il existe plusieurs facteurs qui poussent les entreprises à démarrer une activité de logistique inverse, ou l'intégrer dans leur propre logistique directe, on cite les facteurs liés à la législation, les facteurs économiques, mais aussi d'autres facteurs comme la concurrence sur le marché.

#### Les raisons de la législation

La législation fait ici référence à toute juridiction indiquant qu'une entreprise doit récupérer ou accepter les retours. Ainsi , durant la période de garantie, l'entreprise est obligée de mettre à disposition les pièces détachées nécessaires pour la maintenance des produits retournés par les consommateurs. Dans certains pays européens, les producteurs sont même tenus de fournir les pièces de rechange pendant une durée de dix ans pour le matériel électrique et électronique.

Cette législation peut être aussi environnementale, produite essentiellement par l'Union européenne et les Etats-Unis, où les gouvernements se sont retrouvé dans l'obligation d'inciter les entreprises au respect de l'environnement sans impacter leur croissance économique, les contraintes législatives prennent la forme de lois et normes antipollution, politique de taxe et de tarifs, les quotas de recyclage etc. Certaines entreprises sont même allés au-delà de ce qui était demandé pour anticiper les futures législations. Aujourd'hui, les mesures réglementaires rendent les producteurs responsable de leur produit jusqu'à la fin de leur vie, ces derniers doivent mettre en place des filières de récupération et de recyclage de leurs produits ou composants.

L'objectif principal de la logistique inverse dans ce cadre c'est de minimiser l'impact de la chaîne d'approvisionnement sur l'environnement, en réduisant les besoins en extraction de matières premières.

En Algérie, les législations sur la responsabilité des producteurs vis-à-vis des produits en fin de vie ou sur le rallongement de leur durée d'usage ne sont pas encore en vigueur. Par ailleurs, le ministère de chargé de l'environnement a fait de la gestion des déchets une action prioritaire ces dernières décennies, en adoptant un ensemble de texte règlementaires. Ces déchets devront augmenter durant les prochaines années à cause de la croissance économique. Aussi, l'agence nationale des déchets a mis en place une bourse de déchets industriels, pour promouvoir le recyclage et la récupération, sur le principe que les déchets des industriels peuvent devenir une matière première inestimable pour les recycleurs.

### **Les raisons économiques**

Les entreprises qui se sont lancés dans la logistique inverse, le font aussi parce qu'elles y trouvent un intérêt économique et financier.

La logistique inverse peut devenir un moyen de réduire les coûts, sans altérer la compétitivité de l'entreprise, ni réduire le niveau de service client.

A partir de produits usés, de nombreux composants voire des pièces entières sont susceptibles d'être récupérés et réutilisés. La solution du recyclage permet d'obtenir des pièces détachées à moindre prix et de qualité équivalente. Cette récupération est facilitée pour les entreprises qui voient déjà un flux régulier de produits revenir, dans le cadre de location, maintenance ou réparations.

### **Les raisons liées à la pression concurrentielle**

Face à la concurrence de plus en plus élevée sur le marché des biens et services, et vu l'exigence toujours accrue des clients lors de l'achat d'un nouveau produit, les entreprises ont vite compris que la garantie de pouvoir retourner un produit après son achat et les facilités de rétractation accordées à celui-ci pouvait constituer un argument de vente puissant pour attirer et fidéliser la clientèle .

En effet, la philosophie du « client est roi » est devenue une véritable orientation stratégique, qui permet au client de rendre le produit même s'il n'est pas satisfait pour une raison totalement personnelle et indépendante de la responsabilité du vendeur, comme l'insatisfaction liée à la taille et le dimensionnement du produit.

Aussi, grâce à un niveau de service client élevé, les entreprises arrivent à développer un avantage concurrentiel intéressant, en essayant par exemple, de proposer le meilleur service après-vente au niveau de leur secteur d'activité.

## **1.4 Les types de retours**

Selon Pazhani (2014), on distingue plusieurs types de retours, les retours commerciaux, les retours de fin d'utilisation et les retours de fin de vie, chacun présentant différents cas de figure.

### **1.4.1 Les retours commerciaux**

Ce sont les retours pour lesquels un acheteur a une option contractuelle de retourner les produits au vendeur. Il peut s'agir de livraisons erronées/endommagées ou de produits invendus que les détaillants ou les distributeurs retournent au grossiste ou au fabricant, par exemple.

Ces retours donnent aussi aux clients la possibilité de changer d'avis sur l'achat (généralement peu de temps après avoir reçu/acquis le produit) lorsque leurs besoins ou leurs attentes ne sont pas satisfaits. Cela peut être pour des motifs comme l'insatisfaction à l'égard de la taille du produit ou de ses priorités.

#### **1.4.2 Les retours en fin d'utilisation**

Ce sont des situations où l'utilisateur a la possibilité de retourner le produit à un certain stade de sa vie. Bien que les produits en fin de vie ne soient pas vraiment neufs, ils sont souvent en bon état ou dans un état raisonnable.

Par exemple, les retours sous-garantie représentent un de ce type de retours. En effet, dans un premier temps, les clients bénéficiant d'une garantie peuvent retourner les produits qui ne (semblent pour) répondre aux normes de qualité promises. Parfois, ces retours peuvent être réparés, sinon on échangera le produit défectueux au client contre un produit neuf.

Après l'expiration de la période de garantie, les clients peuvent toujours bénéficier de services d'entretien ou de réparation, mais ils n'ont plus le droit d'obtenir un produit de substitution. Les produits peuvent être réparés chez le client ou renvoyés pour réparation.

#### **1.4.3 Les retours de fin de vie**

Ces retours désignent les retours où les produits sont en fin de vie économique ou physique. Ils sont soit retournés à l'équipementier en raison d'obligations légales de reprise du produit, soit "retournés" à une autre entreprise pour des raisons de valeur ajoutée la récupération. Les stratégies de rachat de produits est une des incitations utilisés par les entreprises pour inciter leurs clients (les leurs ou d'autres) à rapporter/envoyer les biens qu'ils voudraient récupérer.

#### **1.4.4 Les motifs des retours de produits**

Nous avons résumé dans le tableau ci-dessous, inspiré par Vorasayan et Ryan (2006) et Guide et Wassenhove (2009), les types de retours, accompagnés des raisons (motifs) de retours des produits, leur description ainsi que la durée du temps avant le retour.

Tableau 2 : Les raisons des retours de produits

Type des retours	Raisons des retours	Description	Durée avant le retour
Retours commerciaux	Satisfaction Client	La qualité ou les caractéristiques du produit ne répond pas aux exigences du client	Entre 14 et 90 jours
	Évaluation du produit	Produits testés par les vendeurs	Moins de 30 jours
	Produit cabossé durant la livraison	Package abîmé	Moins de 7 jours
Retours de fin d'utilisation	Retours de garantie (Produit en panne)	Le produit ne répond plus aux fonctionnalités exigées	La durée de garantie (1 ou 2ans)
	Manque de mise à jour technologique	Des versions plus récentes du produit sont sorties	Durée variable
Retours de fin de vie	Obsolète techniquement, ne fonctionne plus	Le produit n'a plus d'utilité fonctionnelle pour le client	Durée variable

Source : (Pazhani ,2014 ,p.11)

## 1.5 Les différents flux et processus de la logistique inverse

La logistique inverse inclut plusieurs types de flux et passe par plusieurs étapes et processus.

### Les flux de la logistique inverse

Il y a trois types de flux de la chaîne inverse : le flux d'information, le flux financier et le flux physique. La gestion de la chaîne inverse du client à l'usine exige une approche visant l'intégration et l'optimisation des flux physiques et des flux d'informations (Gautrin, 2013).

Le flux d'information consiste à analyser les transferts ou échanges d'information entre différents acteurs de la chaîne inverse.

Parmi les informations échangées aussi, les paramètres physiques et configurations des différentes gammes de produit, les capacités de production et de transport, informations de suivi des niveaux de stock.

Le flux financier constitue les échanges des valeurs monétaires entre différents acteurs. Par exemple : ventes de produits, achats de produits ou de composants retournés ou utilisés.

Le flux physique est constitué des flux matériels, c'est à dire les produits défectueux ou périmés qui sont retournés par le client, ou les produits réparés ou remis à neuf qui sont livrés de nouveau au client, dans les meilleurs délais et conditions afin de maximiser sa satisfaction. Les activités

de ce flux génèrent la collecte, le désassemblage, la re-fabrication et le recyclage. Les détails de ces étapes et processus sont présentés dans ce qui suit.

Dans la littérature, plusieurs auteurs dont (Giuntini et Andel,1995) présentent quatre principales étapes pour la logistique inverse : la barrière ( le Gatekeeping), la collecte, le tri et l'inspection, et le choix de traitement (disposition).

#### **a- La barrière (le contrôle d'accès)**

Cette étape se déclenche lorsqu'un client déclare la nécessité de retourner un produit à l'entreprise. À ce stade, l'entreprise va autoriser ou refuser aux produits d'entrer dans le système de la logistique inverse, et lesquels doivent être rejetés pour cause de non-fonctionnalité. Durant cette étape, le personnel vérifie si une autorisation de retour est nécessaire et quels sont les éléments à vérifier. Les coûts de cette procédure dépendent du niveau de service souhaité ainsi que du volume des retours.

#### **b- La collecte**

La collecte se fait en deux étapes : le ramassage des produits et leur transport. La responsabilité peut reposer sur l'entreprise, un prestataire ou le client. Le choix dépend de nombreux facteurs ; complexité des produits, raison du retour et les régions concernées. Par exemple, dans l'industrie des produits électriques et électroniques, le recours à un technicien de terrain est une pratique courante. Le technicien se rend chez le client pour réparer l'article sur place, si possible. L'entreprise doit définir clairement les politiques de retour, en décidant qui paie les frais de transport du produit retourné.

#### **c- Le tri**

Le processus de tri est généralement présent dans les systèmes de logistique inverse dans lesquels de nombreux sites et de nombreux processus sont impliqués. Un premier tri se produit dès la réception du produit retourné afin de décider de la manière avec laquelle il sera traité. La tâche suivante est d'effectuer une vérification pour confirmer que l'article retourné correspond avec l'autorisation de retour donnée à la première étape (le contrôle d'accès). Ensuite, on décidera à l'issue d'un contrôle technique si le produit doit être remis à neuf, réparé ou éliminé. D'autres considérations doivent être prise en compte durant cette étape ; l'entreprise doit décider quels produits peuvent être stockés, et tenir compte des aspects économiques qui comprennent la réception, l'entreposage, la formation du personnel et les méthodes de manutention.

#### **d- Le processus de traitement**

L'objectif principal de cette activité est de récupérer autant de valeur que possible des produits retournés. Ce traitement implique des activités où les options de traitement telles que la réparation, la réutilisation, la remise à neuf et le reconditionnement du produit retourné sont envisagés. Parmi les éléments à prendre en considération lors de ce processus, on cite la gestion de l'inventaire qui nécessite un contrôle rigoureux pour éviter les coûts liés aux stocks excessifs. L'autre élément est le sort des produits retournés, par exemple, si un produit ne fonctionne toujours pas correctement après avoir été réparé, il faut décider s'il faut investir dans une réparation supplémentaire ou mettre le produit au rebut.

En ce qui concerne les aspects économiques, cet élément implique la couverture des coûts pour l'espace de travail, l'espace d'entreposage, mais aussi les pièces de rechange.

Les différents processus de traitements sont :

**La réparation :** La réparation est un processus de remplacement ou de réparation des pièces défectueuses ou en panne. Dans ce cas, le produit est légèrement endommagé et peut être retourné par le client afin d'être remis en état de marche normale.

**La réutilisation :** La réutilisation signifie que le produit suivra un processus court qui consiste à un nettoyage et une réinitialisation des paramètres du produit notamment pour les produits numériques, avant d'être immédiatement remis en vente. Les auteurs (Kim et al., 2006) considèrent que le produit retourné, utilisé plus d'une fois, après le nettoyage ou le retraitement, (par exemple récipients, palettes, bouteilles) a bénéficié d'un système de réutilisation.

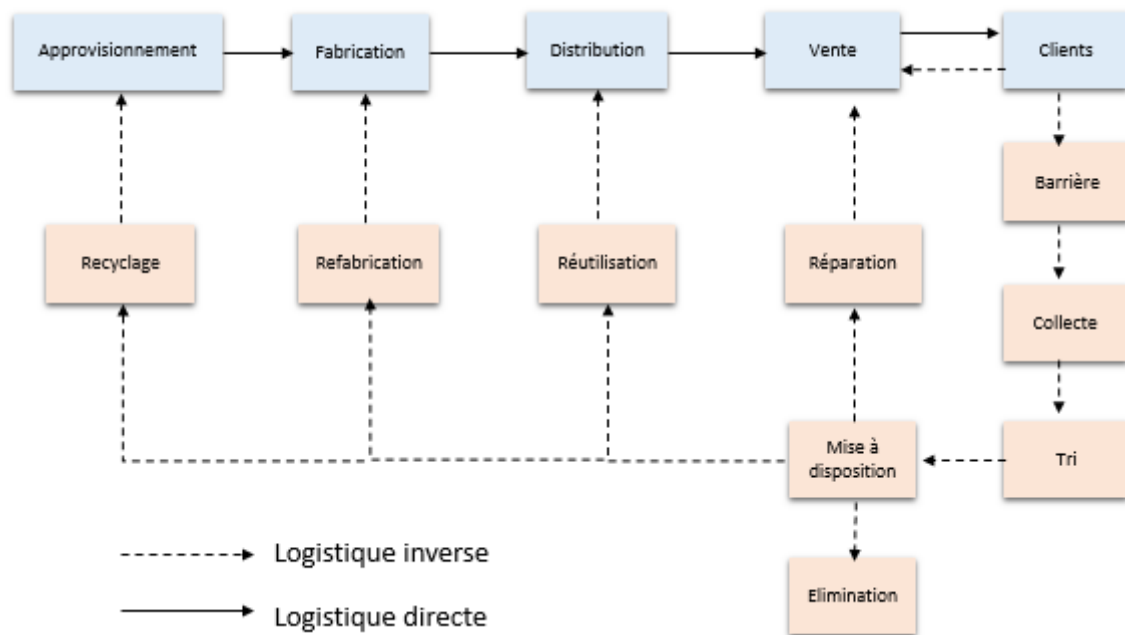
**La refabrication** (« remanufacturing ») : La refabrication est définie par (Kim et al., 2006) comme un procédé industriel dans lequel des produits utilisés peuvent être restaurés à l'état neuf. C'est un processus de désassemblage de produits utilisés, d'inspection, de réparation des composants. Ces derniers sont alors renvoyés sur la chaîne directe dans une usine de fabrication qui va réassembler le produit. Un produit est considéré comme refabriqué si ses composants proviennent de produits usagés. Nous pouvons citer quelques éléments refabriqués que l'on peut trouver dans le commerce : ordinateurs, téléphones, imprimantes.,

**Le recyclage** (« recycle ») : Le recyclage consiste à démanteler les produits et en séparer les matériaux, par exemple : métaux ferreux ou non ferreux, verre, plastique, papier, etc. Ces matériaux sont, soit recyclables donc envoyés aux fournisseurs, soit non recyclables donc mis au rebut ou à l'élimination.

**L'élimination** (« disposal ») : L'élimination est l'opération qui porte sur certains produits récupérés. Ces produits qui ne peuvent être ni réutilisés ni refabriqués, ni recyclés pour des raisons techniques ou pécuniaires, sont éliminés. Dans ce cas, ces produits sont rejetés lors de l'étape du tri. L'opération d'élimination peut inclure le transport et la mise en décharge. Là, les produits seront incinérés ou entreposés, éventuellement par enfouissement, pour subir ultérieurement un traitement spécifique de dépollution.

Nous récapitulons les différents processus clés de la logistique inverse ci-dessous sur le schéma, inspiré par (Agrawal et al., 2015). Les produits utilisés ou retournés sont collectés après leur acquisition et sont inspectés pour le tri. L'étape suivante consiste à les éliminer pour réparation, remise à neuf, recyclage, réutilisation ou élimination finale en fonction de la décision prise de récupérer la valeur ou de l'éliminer. Ces étapes clés sont identifiées comme l'acquisition, la collecte, l'inspection / le tri et l'élimination du produit.





Source : (Agrawal et al, 2015, p.78)

Figure 2: Schéma des étapes de la logistique inverse

## 2 Les problématiques de la logistique inverse

### 2.1 Les différentes problématiques de la logistique inverse

De nombreuses problématiques ont été traitées dans la thématique de la logistique inverse, nous avons retenus les plus importantes lors de la consultation de la littérature. Nous nous sommes également inspiré de la revue de littérature sur la logistique inverse faite par Govindan, (2015).

#### Les problèmes de conception d'une chaîne de logistique inverse

Le but de la conception est de déterminer les variables de décision stratégiques (à long terme) comme les emplacements et la capacité des installations. Les problèmes de conception de réseaux intégrés de la logistique sont rencontrés par les entreprises qui travaillent à la fois pour la logistique directe et la logistique inverse. Ce type de problème a été étudié par plusieurs auteurs dont Pishvae et al. (2009). Dans ce réseau, les flux directs des nouveaux produits sont expédiés à partir de centre production à travers les centre de distribution vers les zones de clients, tandis que dans le flux inverse, les produits retournés sont récoltés à partir des centres de collecte ou de distribution, et après inspection, les produits récupérables sont expédiés au centre de récupération et les produits mis au rebut sont destinés à l'élimination. Les problèmes de conception du réseau de la chaîne d'approvisionnement peuvent être résolus par un modèle stochastique multi-objectif pour le réseau logistique inverse/direct, comme le démontre Ramezani et al. (2013), l'objectif étant de minimiser le coût total de la chaîne d'approvisionnement.

## **Le problème de localisation et de sélection de sites**

Le problème de la localisation des sites et de leur sélection consiste à choisir le(s) meilleur(s) site(s) pour installer un ou plusieurs maillons de la chaîne logistique inverse, ou déterminer dans un réseau logistique existant comportant un certain nombre de sites potentiels, des sites qui seront ouverts ou fermés.

Les problèmes de localisation peuvent concerner par exemple la recherche de la meilleure installation de sites de collecte et de désassemblage, comme l'ont étudié Salema et al (2007) et Das et Chowdhury (2012), exprimés par des modèles d'optimisation des coûts avec des variables entières .

les modèles utilisés pour résoudre les problèmes de sélection de sites quant à eux, utilisent des variables de décision binaire liés aux sites, qui prennent la valeur 1 si le site est ouvert, et la valeur 0 s'il est fermé. El-Sayed et al (2010) ont conduit une étude sur les problèmes de décisions d'ouverture ou de fermeture de sites différents (centres de distribution, centres de désassemblage, centres de redistribution etc.) afin de minimiser leurs coûts d'ouverture et limiter le nombre de sites ouverts.

## **Les problèmes de planification de la production et gestion des stocks**

Les recherches sur les réseaux de la chaîne d'approvisionnement qui sont liées aux variables de décision opérationnelle, jouent un rôle essentiel dans l'efficacité des coûts de la chaîne d'approvisionnement. La planification des produits et des produits de retour (fabrication et reproduction) simultanément, et les politiques de contrôle des stocks de ces systèmes de production sont les principaux sujets de ces études.

Certaines études se concentrent sur la planification de la production et les décisions relatives à la taille des lots. D'autres études se concentrent sur les questions de gestion des stocks, telles que la recherche du point de commande et la quantité économique de commande. Enfin, dans certains cas, les deux types d'études sont intégrées, comme constaté dans les travaux de Diabat et Simchi-Levi (2012) , où la planification de la production ainsi que la gestion des stocks sont traités simultanément.

## **Les problèmes de transport**

Les coûts totaux d'un système de distribution et son efficacité dépendent étroitement des frais de transport, les problèmes de transports entre les divers sites dans une chaîne d'approvisionnement. Il existe plusieurs études qui se concentrent exclusivement sur les problèmes de routage. Vahdani et al (2012) étudient les problèmes de transport entre les divers couples de sites sur un cas incluant une chaîne logistique directe et une chaîne inverse. Il propose des modèles déterministes et robustes qui minimisent les coûts de transport. De la même façon, Ramezani et al (2013) cherchent à optimiser le transport entre les sites, avec la prise en compte des coûts de transport définis en fonction de la distance entre les sites sur le réseau de la chaîne d'approvisionnement.

## **Le problème de prise de décision et évaluation des performances**

Ce dernier type de problématique est de niveau stratégique et tactique, puisqu'il évalue plusieurs types de stratégies de collecte et traitement. Par exemple, Kim et al. (2006) décident la mise en place (set-up) ou non de rénovation de pièces et de démontage de produits. Das et Chowdhury, (2012) planifient les produits par niveau de qualité.

Lee et al. (2009) décident dans leur étude des rôles des sites de la chaîne logistique inverse (centres de démontage ou de retraitement).

Ramezani et al (2013) démontrent dans leur étude comment organiser et planifier le service client avec un niveau minimum (approche stochastique par scénario), afin de maximiser le profit en utilisant un niveau de qualité de produit.

Srivastava, S. K., et Srivastava, R. K. (2006) proposent un modèle intégré pour estimer les retours des produits et ensuite prendre différentes décisions sur leur disposition, l'emplacement et la capacité des installations, ainsi que les flux de retours pour un horizon temporels sous des contraintes opérationnelles et liées au niveau de service exigé par le client.

Finalement, on conclut qu'il existe trois niveaux décisionnels dans les problématiques retrouvées dans la littérature.

Le niveau stratégique correspond aux décisions, à long terme, pour définir les objectifs globaux de l'entreprise ou du réseau d'entreprises. Dans le cas de la logistique inverse, ces décisions concernent souvent la localisation de sites, l'ouverture ou la fermeture de sites, la sélection de sites et la conception de la chaîne inverse.

Le niveau décisionnel tactique est relatif aux décisions à moyen terme qui portent sur l'agencement et les règles d'usage des ressources en prévision des besoins à venir d'un réseau. De manière générale, les décisions tactiques définissent les moyens, par un choix et un dimensionnement des ressources nécessaires, pour atteindre les objectifs définis au niveau supérieur. Ce niveau se concentre sur la planification de la chaîne inverse, la planification de transport, la planification de la production, le choix de moyens de collecte, tri et traitement.

Le niveau décisionnel opérationnel correspond aux décisions qui visent les activités à court terme. Les décisions opérationnelles se concentrent sur des activités plus précises comme la gestion du transport, le contrôle et l'approvisionnement de produits, le choix du traitement, le prix de vente d'un produit. Les articles traitant de ce niveau sont toutefois moins nombreux que les précédents.

Dans notre cas, nous allons nous positionner sur le niveau tactico-stratégique, en se basant sur une logique d'aide à la décision, à travers une planification des flux de retours dans le but de leur exploitation optimale. Ce choix est justifié par le fait qu'en Algérie, les industries ne se sont pas encore penché sur la valorisation des retours en dehors de la réparation classique des services après-vente. Nous allons donc explorer ce terrain assez vierge pour introduire des stratégies à moyen terme, en essayant de démontrer d'abord que la réutilisation des retours peut être une source de profit pour l'entreprise.

## **2.2 La planification en logistique inverse**

La planification en logistique inverse vise la valorisation des produits en fin de vie via un réseau de création de valeur intégrant les processus de récupération, de traitement, de recyclage, de désassemblage, ou d'élimination propre.

Elle peut être d'ordre tactique, comme la planification des opérations de désassemblage et la gestion des approvisionnements, ou opérationnelle, comme les problèmes d'ordonnement. L'objectif de la planification à moyen terme est de déterminer sur un horizon, la quantité de produits/composants à désassembler afin de satisfaire la demande de ces derniers, tout en minimisant les coûts opérationnels. Cette problématique comprend plusieurs paramètres : l'horizon de planification, la demande, la quantité désassemblée, les coûts et les quantités en stock ainsi que la gestion des retours et des approvisionnements.

Les problèmes de planification du désassemblage traités dans la littérature peuvent être classés en déterministes ou stochastiques.

Au niveau opérationnel, les études regroupent principalement la problématique d'ordonnement des opérations de désassemblage ou encore le contrôle des niveaux de stocks.

### **3 Le problème du désassemblage**

Le démontage peut être défini comme une méthode systématique de séparation d'un produit en différentes parties, c'est un processus permettant d'obtenir des composants qui peuvent être réutilisés à partir de produits défectueux, ou à la fin de leur utilisation.

Ce processus planifié joue un rôle fondamental dans la valorisation des produits retournés, qui peuvent être une source de pièces de rechange ou d'obtention de produits reconditionnés.

(Kim et al, 2007).

L'opération de désassemblage prend également en compte des paramètres économiques comme le coût de désassemblage, et des paramètres environnementaux pour le prolongement de la durée de vie des composants, ainsi que la minimisation des déchets.

#### **La différence entre l'assemblage et le désassemblage**

La différence entre le problème de désassemblage et d'assemblage consiste dans le processus de flux. En effet, le processus de désassemblage est divergent c'est-à-dire un produit en fin de vie est composé de plusieurs composants (les composants divergents, c'est-à-dire que l'on peut satisfaire plusieurs types de demandes à partir d'une même source). Quant au processus d'assemblage, il est convergent c'est-à-dire les composants convergent à une source unique des demandes du produit final.

De plus, dans le problème de désassemblage, la quantité et la qualité de produits retournés ne sont pas connus. Il existe ainsi une forte incertitude sur les structures et la qualité de produits en fin de vie dans un problème de désassemblage, contrairement à celui de l'assemblage. Finalement, la différence qui nous semble pertinente par rapport à notre travail est la suivante. La planification du processus de désassemblage comporte deux variables de décision supplémentaires.

#### **Les différentes problématiques du désassemblage**

Il existe divers problèmes de décisions dans le domaine du désassemblage, parmi plus importantes, on cite la planification des processus de désassemblage permettant de déterminer le type et la quantité de produits désassemblés selon la demande des pièces détachées. Pour cela, la structure de désassemblage du produit est considérée, afin d'évaluer les coûts de désassemblage et d'obtentions des pièces demandées, pour ensuite minimiser ces coûts, en plus

des coûts de stocks, d'autres coûts peuvent être incorporés, comme les coûts d'achats des pièces détachées, pour les fabricants qui ont plusieurs options d'approvisionnement. D'autres considérations sont prises en compte dans le cadre de la planification, comme l'incertitude sur les produits retournés et leur qualité.

Une autre problématique est celle du séquençage du désassemblage qui permet de trouver le meilleur ordre pour désassembler les composants afin de minimiser le temps, les coûts et les efforts du désassemblage, le niveau de désassemblage et les options de fin de vie.

L'ordre de désassemblage peut être exprimé par le concept d'une matrice de transition intégrée à une programmation linéaire en nombre entiers pour déterminer dans quelle mesure les produits doivent être démontés.

Le niveau de désassemblage implique la nécessité ou non d'effectuer davantage d'opérations de désassemblage à chaque étape du désassemblage d'un produit, et la fin de vie concerne la manière dont les pièces et/ou les composants, obtenus à partir du désassemblage sont traités, par exemple la réutilisation, la refabrication, l'élimination, etc. (Behdad, S., Kwak, M., (2010))

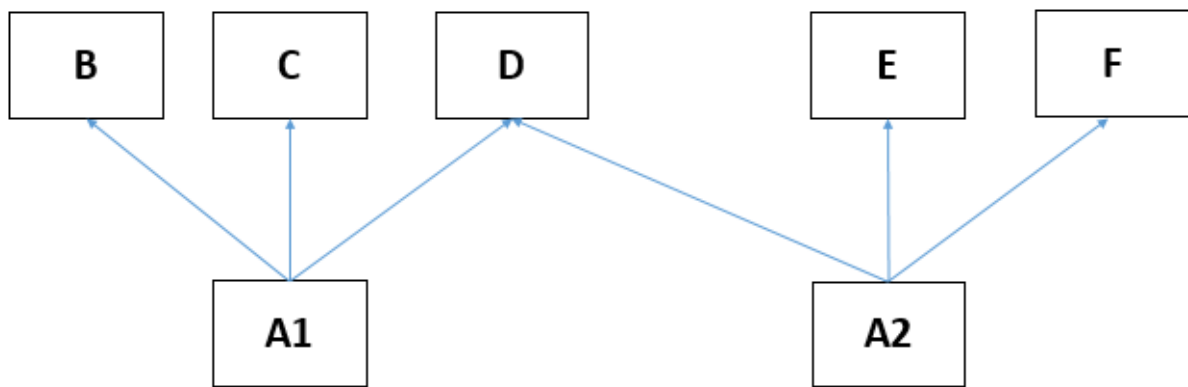
### **3.1 La planification du désassemblage**

Comme dans le cas du processus d'assemblage, une planification et un ordonnancement sont nécessaires pour gérer les opérations de démontage d'une manière plus efficace.

La planification est une problématique primordiale du désassemblage, elle est définie par le problème de la détermination de la quantité des produits en fin d'utilisation destinée au désassemblage ainsi que la satisfaction de la demande des pièces issues du désassemblage suivant un horizon de temps de planification.

En d'autres termes, la planification du désassemblage permet de déterminer la quantité requise de produits usagés ou sous-ensembles de produits, et quand les démonter afin de satisfaire la demande de leurs pièces ou composants. La structure du produit retourné peut être représentée sous forme de nomenclature, cette dernière est composée du produit en fin de vie ou en fin d'utilisation et ses composants constituants. Un exemple de nomenclature pour la structure de produit à deux niveaux est représenté ci-dessous. Le produit A1 est le « parent » des pièces B, C et D qui le composent. Nous remarquons que le composant D est commun entre les produits A1 et A2.

La question qui se pose dans une structure de désassemblage à deux niveaux est : combien de produits A1, A2 doivent être désassemblés pour répondre à une demande  $X$  de chacun des composants de A1, A2, avec un coût minimal. Pour répondre à cette question, des systèmes de planification du désassemblage permettent de calculer la quantité  $X$ . Cette dernière est calculée à partir des quantités en stocks, des rendements de désassemblage et des demandes.



Source : inspiré par (Langella ,2007)

Figure 3: Structure de désassemblage de deux produits avec pièce commune.

### 3.2 Les modèles d'optimisation des plans de désassemblage

Plusieurs modèles ont été développés pour l'optimisation des plans de désassemblage :

#### Heuristique de désassemblage liée à la qualité du produit retourné

Au cours de la planification du désassemblage, il est important de bien connaître la source des produits à désassembler, cette donnée est souvent exposée à une grande incertitude liée aux flux de retour des produits, venant du consommateur généralement, l'incertitude concerne à la fois le délai du retour du produit, mais aussi la qualité de celui-ci. Pour cela, des heuristiques ont été développés pour prendre en considération des facteurs comme la qualité des produits retournés, et la quantité de pièces de bonne qualité récupérées à partir du produit retourné, c'est-à-dire le rendement de l'opération de désassemblage. (Inderfurth et Langella, 2006).

#### Approche d'intégration de la durée de vie des produits

Aussi, vu que la qualité des produits retournés ne peut être évaluée avant le désassemblage des produits, certains fabricants ont intégré des capteurs (SEP) et étiquettes RFID qui éliminent la majorité des incertitudes liées à la récupération des produits en fournissant des informations sur le cycle de vie des articles. Ces informations comprennent le contenu de chaque produit et les conditions des composants, et permettent l'estimation de la durée de vie utile restante des composants. Une fois les données sur les produits saisies, il est possible de prendre des décisions optimales de récupération sans aucune opération préliminaire de désassemblage ou d'inspection. (Ondemir, O., et Gupta, 2014)

#### L'utilisation de la programmation linéaire pour la minimisation des coûts

Dans le domaine de la logistique inverse, la récupération des produits usagés est désormais acceptée comme une option de disposition avantageuse dans le domaine de la logistique inverse. L'entreprise prend les produits retournés à la fin de leur vie et les démonte pour obtenir des pièces qui sont réutilisées. Pour cela, il faut déterminer une quantité spécifique de produits

retournés qui doivent être désassemblés pour répondre à la demande des pièces. Pour résoudre ce type de problème, une solution simple a été proposée dans les travaux de (Langella, (2007)), où il a été démontré qu'une programmation en nombres entiers (PLNE) peut être utilisée pour parvenir à une solution optimale.

Aussi, Le coût de désassemblage est une considération importante à prendre en compte, et pour les minimiser, plusieurs applications existent comme le désassemblage de produits ayant des pièces ou des sous-ensembles de pièces communes, le problème est traité avec une heuristique à deux phases dans laquelle une solution initiale est obtenue en utilisant la programmation linéaire, puis améliorée en utilisant un algorithme de programmation dynamique.(Kim,et Lee, 2009).

## **4 Définition de la problématique**

Notre méthodologie de travail s'est basée sur une conceptualisation théorique suivie d'une application en industrie.

Après avoir affiné notre problématique au plan de désassemblage, nous allons maintenant l'appliquer à travers un cas d'étude dans l'entreprise Brandt Algérie, spécialisée dans l'électroménager. Nous allons nous focaliser sur l'analyse des flux de retour et leur gestion, afin d'explorer les possibilités de valorisation des produits retournés au service après-vente (SAV). Ce dernier représente ici la barrière de la logistique inverse, en déterminant quels produits peuvent être retournés, réparés ou échangés.

L'objectif de cette étude sera de proposer un modèle d'aide à la décision pour l'approvisionnement des pièces détachées utilisés par le SAV. La plus part des services après-vente en Algérie achètent leur pièces détachées neuves pour proposer leur offre de réparation, et en dehors de la période de garantie des produits, ces pièces coûtent trop chères aux clients, et parfois elles ne sont même plus disponibles, ce qui les pousse à se diriger vers les réparateurs indépendants. Pour cela, la valorisation des retours par le désassemblage représente une source de pièces de rechange d'occasion, ce qui peut augmenter la part du marché de la réparation de l'entreprise, offrir un service après-vente plus robuste et allonger le cycle de vie des produits du producteur. Il est à noter que vu le manque d'incitations gouvernementales qui responsabilisent les producteurs face aux enjeux environnementaux, la mise en place des activités comme la re-fabrication de produits n'est pas évidente. Mais rien n'empêche les producteurs d'adopter une stratégie proactive, surtout si celle-ci augmente leur profitabilité.

Nous allons pour cela utiliser un modèle d'optimisation des coûts type PLNE, dans une approche d'aide à la décision. Le but étant d'évaluer les coûts liés au désassemblage. Le modèle de planification en question aura comme fonction objective la minimisation des coûts de désassemblage, d'achat et de stockage des pièces de rechange, pour satisfaire la demande en pièces détachées.

## **Conclusion**

L'étude de l'état de l'art nous a permis de mettre en évidence la problématique de ce mémoire, compte tenu des caractéristiques du marché algérien et de la complexité de la logistique inverse. Le chapitre qui suit abordera l'étude de l'existant, à savoir le cas d'étude de Brandt.

**Chapitre 2 :**

**Cas d'étude :**

**Brandt**

**Algérie**



# 1 Présentation de l'entreprise Brandt Algérie

Le cas d'étude traité dans ce mémoire concerne l'entreprise industrielle exerçant dans le secteur de l'électroménager et de l'électronique : Brandt Algérie. Cette dernière est une filiale du groupe Cevital.

## Le groupe Cevital

Fondé en 1971 par Issad Rebrab, le Groupe Cevital est le premier groupe industriel privé algérien. C'est un conglomérat actif dans quatre grands secteurs d'activité :

### a. Agro-Industrie et distribution

Le pôle a été mis en place en 2015, il regroupe les activités de distribution alimentaire et non alimentaire ( Numidis ) avec la chaîne de magasins UNO, la distribution spécialisée dans les secteurs de l'équipement de la personne et de la maison et des services, la production agricole avec Ceviagro, la gestion des centres commerciaux avec Sierra Cevital, la production agro-alimentaire ( la plus importante) ( de sucre huile, boissons...).

### b. Automobile , Immobilier et Services

Le pôle est créé en 2012, il compte plusieurs filiales actives dans la commercialisation de véhicules de tourisme, poids lourds, dans la distribution des marques automobiles comme Fiat , Alfa Romeo , et la distribution d'engins de travaux publics, la promotion immobilière et la construction de plates-formes logistiques , mais aussi l'affichage publicitaire.

### c. Industrie

Ce pôle est créé en 2014, il compte 12 filiales réparties en plusieurs business units, tels que le verre et ses dérivés avec la filiale MFG., la construction représentée par les filiales Baticompos, Cevital Entreprises, PCA et Métal Structure, les fenêtres et fermetures sous la marque OXXO, la logistique et les services ( Numilog), le transport maritime par le biais de la filiale Nolis, et aussi l'électroménager , représenté par le groupe Brandt , actif à travers ses cinq filiales dans les régions Europe, Moyen-Orient et Afrique du Nord et Asie Pacifique.

Avec un taux de croissance annuel à deux chiffres depuis 1999, le groupe Cevital a atteint aujourd'hui une taille qui lui permet d'acquérir le statut de « global player » régional et continental. Il se caractérise par une implantation à l'international (Algérie, Maroc, Tunisie, Italie, Espagne, France).

## Le groupe Brandt

Le groupe Brandt est un groupe Français créé en 1924 par Edgar Brandt, il est passé par diverse étapes avec un rachat par Thomson en 1993, une fusion avec Moulinex en 2000, un nouveau rachat par Fagor en 2005 et finalement par le groupe Cevital en 2014. C'est une société par actions(SPA) dotée d'un capital social de 1.000.000.000 DA. Elle fût créée le 08 juin 2014 après le rachat du groupe Brandt par le groupe Cevital, elle compte actuellement plus de 1.600 collaborateurs à son actif, C'est un groupe majeur et référent au niveau mondial dans le domaine de l'équipement de maison : Lavage, Cuisson, Froid, Petit Electroménager, Télévision et

Climatisation. Il compte à son actif quatre marques, deux grandes marques internationales et deux marques locales (en France) :

- **Brandt** : une marque internationale généraliste, elle est présente dans toutes les catégories, lavage, cuisson, froid, petit électroménager, télévision et climatisation. Elle jouit d'une très forte notoriété en proposant, depuis de longues années, des produits intuitifs et de qualité.

- **De Dietrich** : une marque internationale de haut de gamme spécialisée en gros électroménager de cuisine où elle dispose d'une expertise reconnue : fours, tables de cuisson, hottes d'aspirations, lavage et froid.

- **Sauter** : une marque spécialisée en gros électroménager de cuisine : fours encastrables, cuisinières, plaque de cuisson et hottes de cuisine.

- **Vedette** : une marque spécialisée dans la fabrication de lave-linge avec ouverture par le dessus.

Le groupe Brandt dispose d'une implantation sur sept sites en France et en Algérie dont deux sites de production en France spécialisés dans la cuisson (Orléans et Vendôme) ainsi qu'un site de production en Algérie spécialisé dans le froid, lavage et télévision (Sétif). Le groupe dispose également de 6 filiales à travers le monde (France, Algérie, Maroc, Espagne, Malaisie, Singapour) et d'un bureau de liaison en Chine.

## **Brandt Algérie**

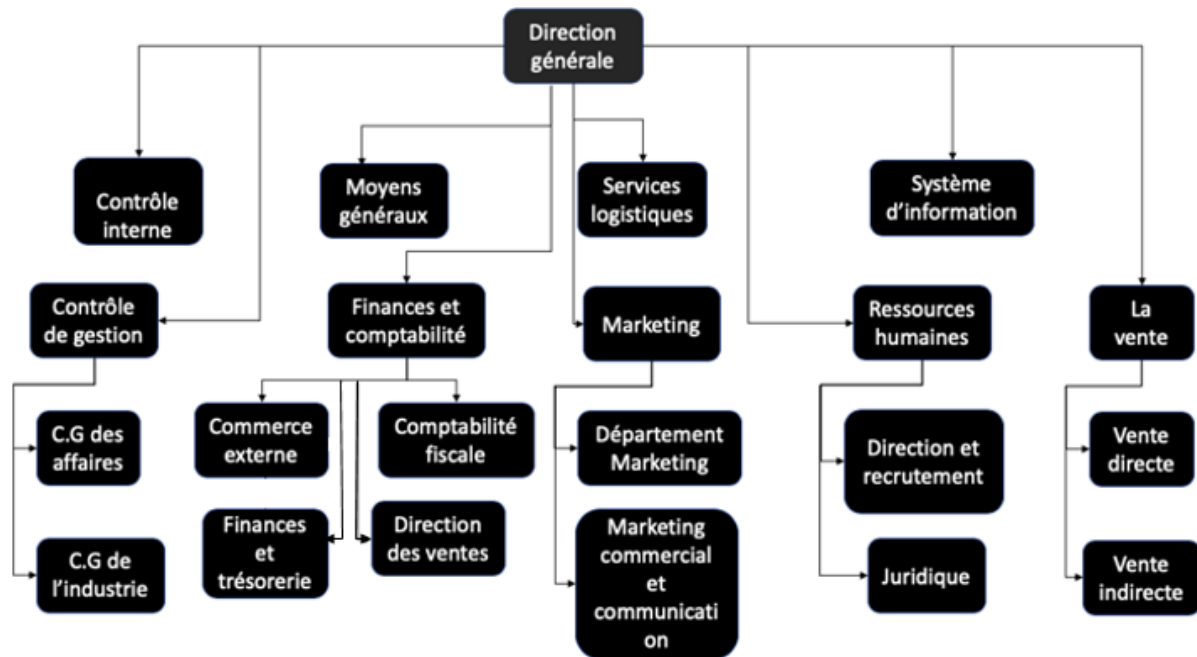
Il faut savoir qu'avant le rachat de Brandt par le groupe Cevital, celui-ci avait comme filiale de l'électroménager SAMHA, qui avait un partenariat avec Samsung, son activité était la commercialisation des produits Samsung dans un premier temps, avant de lancer son usine de fabrication et de montage de produits Samsung en 2009. En 2015, le partenariat entre les deux acteurs a pris fin, et le lancement des activités commerciales de Brandt Algérie a commencé. Le site de production de SAMHA sera alors destiné exclusivement à la fabrication pour le compte de Brandt Algérie sous la marque Brandt. Les lignes de produits prévues à fabriquer sur ce site sont les suivantes : le lave-linge top et front, la cuisinière, la clim et les téléviseurs. Brandt Algérie sera en charge de la distribution et de la commercialisation de ces produits sur le marché algérien. D'un autre côté, il est prévu de compléter la gamme de GEM et PEM par l'importation des références non prévues par la fabrication.

Les missions de Brandt Algérie se résument principalement à :

- La commercialisation des différentes gammes du groupe Brandt.
- La production des gammes Froid, Lavage et Télévision destinées au marché local et international.
- Répondre au besoin des consommateurs à travers des produits et un service de qualité.

Aujourd'hui, les principaux objectifs de Brandt Algérie sont d'être le leader du marché de l'électroménager en Algérie, et de devenir un acteur référent dans la région Moyen Orient et Afrique du Nord (MENA).

Brandt Algérie est organisée en Directions, comme indiqué dans l'organigramme de la figure ci-dessous, chacune accomplissant des missions qui lui sont attribuées dans le but d'assurer un fonctionnement cohérent et efficace de l'activité globale de l'entreprise.



Source : document interne de Brandt Algérie, 2020.

Figure 4: Organigramme de Brandt Algérie

Le marché du Gros Electroménager (GEM) présente une croissance globale de +2,7% en valeur selon les prévisions de GfK, un acteur mondial d'analyse de données des produits de consommations et de distribution. Le chiffre d'affaires total de 2019 a été évalué à 182 milliards d'euros pour le marché GEM Monde, soit une croissance de +2%. Les principales tendances contribuant à la croissance sont la performance/capacité, la simplification et une expérience d'achat fluide.

## 1.1 Le marché algérien de l'électroménager

L'Algérie représente un marché en plein croissance, en effet, toujours selon GfK, le pays fait partie de ceux ayant enregistré une tendance positive avec une forte croissance de +35%.

Nous allons citer quelques éléments qui caractérisent ce marché dans ce qui suit.

L'offre en Algérie de gros électroménager provient essentiellement de deux canaux, l'importation et la production nationale.

La production nationale est importante, compte tenu de la multiplicité des entreprises qui se sont lancées dans ce créneau. On distingue également des entreprises privées et des entreprises publiques.

## **1.2 Positionnement de Brandt par rapport à la concurrence**

Le marché algérien connaît une forte intensité concurrentielle ces dernières années, cela est dû à la multiplication des usines de montage ainsi qu'à la présence des marques internationales.

Brandt dispose du meilleur SAV sur le marché de l'électroménager selon les responsables avec qui nous avons échangé, la satisfaction client étant un axe d'orientation stratégique pour l'entreprise. Sur d'autres éléments, comme l'image de marque auprès des consommateurs, la concurrence est rude, notamment face aux marques telles que LG et Samsung. Au niveau des prix, la concurrence est également présente, notamment face aux producteurs locaux tels que ENIEM.

## **1.3 Les facteurs de succès des acteurs de l'électroménager**

Selon une étude d'opportunité faite par (Bedja et Chouiki,2016) sur le secteur de l'électroménager pour Brandt, les principaux déterminants de la réussite dans l'industrie de l'électroménager sont présentés ci-dessous :

### **a. L'image de marque**

L'image de marque est un élément de différenciation puissant lorsqu'on se place dans un environnement aussi concurrentiel que celui de l'électroménager. En effet, le « branding » qui correspond à la gestion des marques et qui comprend l'image de marque ainsi que son identité, doit représenter un signe distinctif aux yeux du consommateur, surtout dans une offre de plus en plus élargie. Par exemple, un label qui garantit la qualité d'un produit peut être un élément de différenciation sur le marché.

En Algérie et dans la région Afrique/Moyen Orient, le groupe Brandt se place dans une stratégie agressive en se différenciant au niveau du service après-vente et de la disponibilité, la présence de la marque étant plus récente qu'en Europe, où l'image de la marque est un principal facteur de sa réussite. Les responsables du SAV avec qui nous nous sommes entretenus ont indiqué que le groupe jouit du meilleur service après-vente dans le pays, en assurant notamment la livraison gratuitement aux clients, comparé à d'autres marques qui facturent cher cette livraison.

### **b. Le rapport qualité/ prix**

La qualité est un critère qui se place en haut de classement de la plupart des études faites sur les déterminants de l'achat de gros électroménager.

Les consommateurs, se soucient généralement de la durabilité, de la praticabilité et de la fiabilité des appareils électroménagers. Le prix doit bien sûr correspondre à la perception du client de la qualité du produit.

### **c. La distribution**

Le choix des canaux de distribution est primordial car savoir où et quand mettre le produit sur le marché est un élément critique dans l'industrie de l'électroménager.

Brandt a construit une relation solide avec ses distributeurs, cette maîtrise du circuit de distribution lui permet d'avoir une meilleure disponibilité et réactivité que la majeure partie de

ses concurrents locaux et internationaux. En effet, nos entretiens avec le personnel de Brandt indiquent que le groupe a une stratégie de livraison réactive, où la livraison est faite à (j+1) à partir de la commande du client. Son appui sur les cross-dock à travers le territoire lui permet notamment d'être plus proche des clients.

#### **d. R&D et innovation**

Les leaders de l'industrie de l'électroménager s'appuient fortement sur l'innovation et le développement de produit pour se différencier sur le marché. Brandt a déjà à son actif plusieurs innovations (doseur automatique et variable de la lessive, Watersaver, etc.) . Ces dernières lui ont toujours permis d'avoir un coup d'avance sur ses concurrents.

#### **e. Maîtrise des coûts**

La rationalisation des coûts est un élément majeur pour rentabiliser ses investissements en tant qu'acteur dans l'industrie de l'électroménager, surtout que les marges nettes sont assez faibles pour les entreprises du secteur (5% en moyenne). L'optimisation des coûts est donc assurée par la maîtrise des processus de production ainsi que la bonne analyse des prix de sortie d'usine.

## **2 Description de la logistique inverse de Brandt**

Brandt travaille en partenariat avec des prestataires de transport et de gestion d'entrepôt (Numilog), ainsi que des prestataires indépendants pour la distribution. L'entreprise compte une douzaine de CLR (Centres Logistiques Régionaux) répartis sur le territoire national, fonctionnant avec la politique du cross-dock.

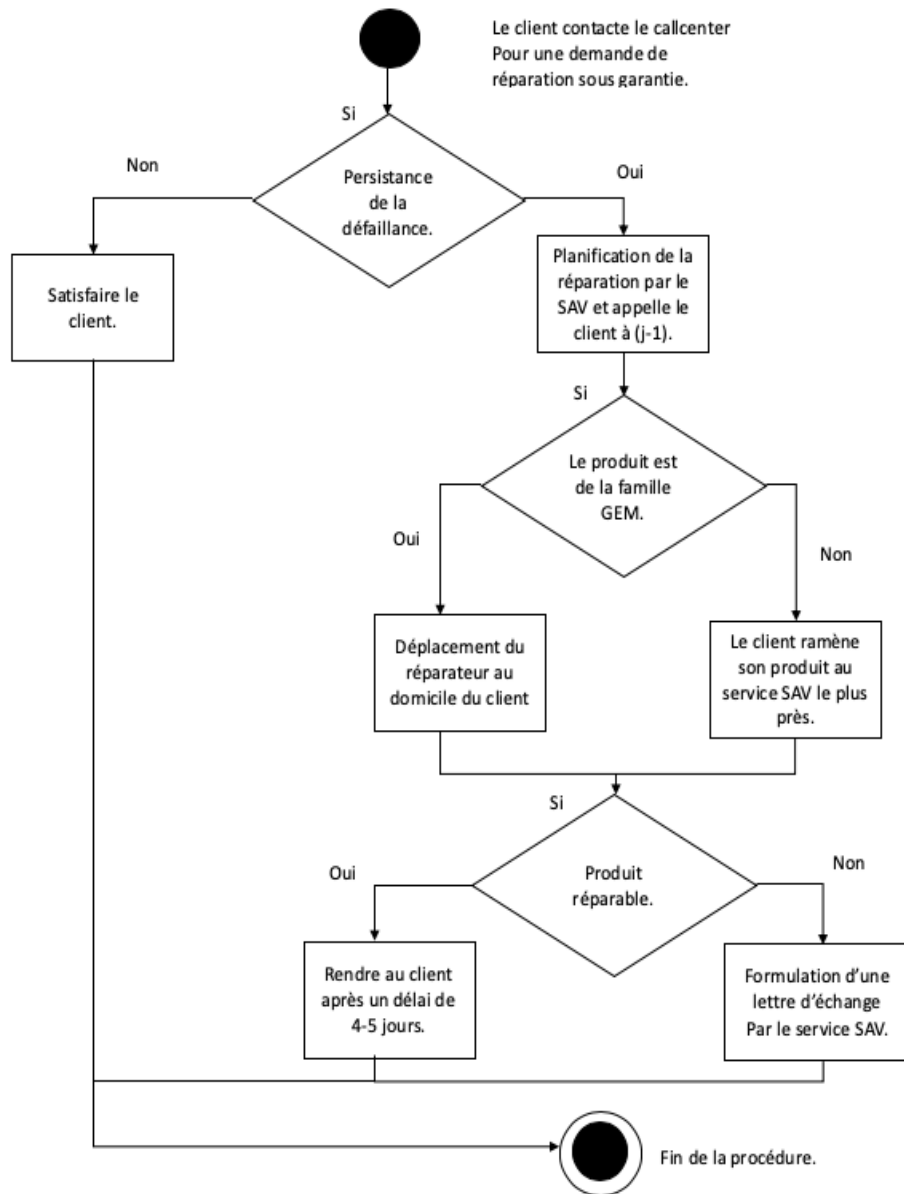
Dans le cas du flux direct, Brandt envoie les planifications de la demande à Numilog, puis celle-ci se charge de la planification des livraisons (transports) de la plateforme de stockage vers les différents CLR. Ensuite, c'est les distributeurs qui gèrent les opérations des CLR vers les revendeurs/magasins. Dans la chaîne inverse, le retour du produit est déclenché par le client, et parcourt des maillons différents de la chaîne logistique, selon sa causalité.

### **2.1 Gestion de la demande de retour client**

Le client contacte un call center et enregistre le problème technique, puis essaye d'orienter le client. Si la défaillance persiste, le SAV planifie la réparation et appelle le client à (j-1) pour confirmer le déplacement du technicien pour l'exécution de la réparation (dans le cas du gros électroménager, sinon le client ramène le produit au service technique du SAV) .

Si le produit est réparable il est rendu au client après 5 jours ,sinon , une lettre d'échange est envoyée au revendeur afin qu'on procède au remplacement du produit au client, par un autre produit neuf dans le cadre de la garantie, et l'ancien produit est déclassé au niveau du CLR.

Ci-dessous le schéma conditionnel qui résume la procédure de demande de réparation client sous garantie :



Source : Élaboré par nos soins à partir du diagnostic de Brandt Algérie,2020

Figure 5: Schéma conditionnel de prise en charge de la réparation sous garantie

## 2.2 Analyse des flux de retours

On distingue deux types de retours :

### 2.2.1 Les retours de l'avant-vente

Ce sont des retours qui reviennent du revendeur vers le CLR. Ces retours se divisent en produit retournés dus à l'annulation de la prise de marchandise par le client ou des retours défectueux, où le produit est rendu sous une période ne dépassant pas 3 jours depuis sa livraison, les motifs des retours sont généralement dus aux cabossages et aux égratignures survenues au court du

transport. D'autres retours peuvent être renvoyés lorsqu'une panne est identifiée lors du déballage du produit en magasin pour un essai.

Le produit retourné est diagnostiqué au niveau du service technique du SAV, pour savoir si le produit peut être ajusté (réparé) ou doit être échangé par un autre produit. Dans le cas d'échange de produit, l'ancien produit est déclassé.

Il faut savoir qu'il y a 3 types de classes de familles de produit :

- **A** : Produit en très bon état
- **B** : Produit en bon état.
- **C** : Produit réparable.
- **D** : Produit destiné à la cannibalisation.

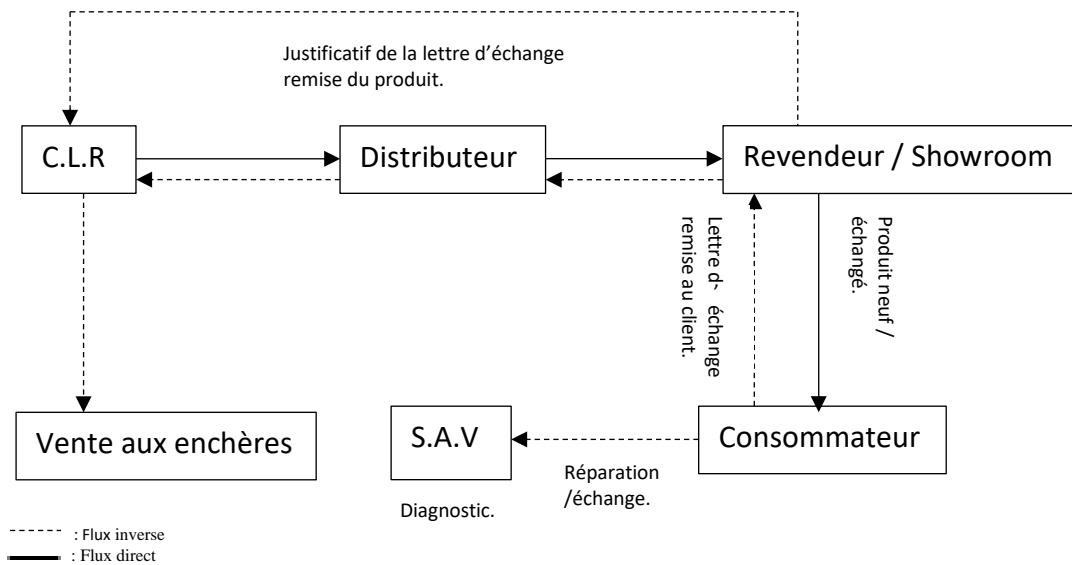
## **2.2.2 Les retours de l'après-vente**

Ce sont des retours qui viennent du client final (consommateur) vers le magasin, après usage du produit. Généralement, cela est dû à un problème technique (panne) du produit. On distingue deux cas de figure pour le traitement du produit retourné; soit le produit est réparable, soit on procède à l'échange du produit ( dans le cadre de la garantie uniquement) s'il y a une absence de pièce de rechange où dans le cas où l'identification de la panne est indétectable.

## **2.2.3 La vente aux enchères des produits Rework**

Après le traitement des deux types de retours, les produits échangés qui viennent soit à partir des produits non réparables du SAV, soit des produits cabossés lors de la livraison aux revendeurs, sont diagnostiqués au niveau du service technique, et classifiés par famille selon leur état, afin d'être valorisés au prix de vente adéquat. Ils sont ensuite transféré au CLR et catégorisés produit « Rework », ils ne sont plus destinés à la vente directe.

Au niveau du CLR, ces produits sont stockés en attente d'un lancement d'une vente aux enchères, sous forme de pack Rework. Généralement le taux de dépréciation de la valeur de ces produits ne descend pas en dessous de 50%, selon notre interview avec le contrôleur de gestion. Avant la vente aux enchères, il y a toute une procédure administrative à effectuer, en passant par plusieurs services, le contrôle de gestion qui évalue les prix de vente, les finances ainsi que le juridique. Enfin, un commissaire-priseur fixe la date de la vente aux enchères et la dirige. Nous récapitulons ci-dessous le schéma des flux directs et inverses de la chaîne logistique :



Source : Élaboré par nos soins à partir du diagnostic de Brandt Algérie,2020

Figure 6: Diagramme de la logistique inverse et directe de Brandt Algérie.

## 2.2.4 Le flux de retour par produit

Le constat fait à travers nos entretiens avec le personnel du SAV autour des flux de retours globaux des sous-familles de produits, nous a amené à nous concentrer sur celles du gros électroménager. En effet, les produits du GEM sont plus facile à désassembler, moins complexe et jouissant d'une plus grande possibilité à être réparés que le petit électroménager ou les produits plus électroniques tels que les téléviseurs et les mobiles, où la pièce est parfois très chère ( écran ) par rapport au prix neuf du produit.

Nous présentons les quantités retournées ainsi que leurs valeurs (prix de vente multipliés par la quantité des retours) pour les sous-familles Lavage, Cuisson, Froid, et Clim pour l'année 2019 pour la région centre (Alger et ses environs) sur les schémas ci-dessous :



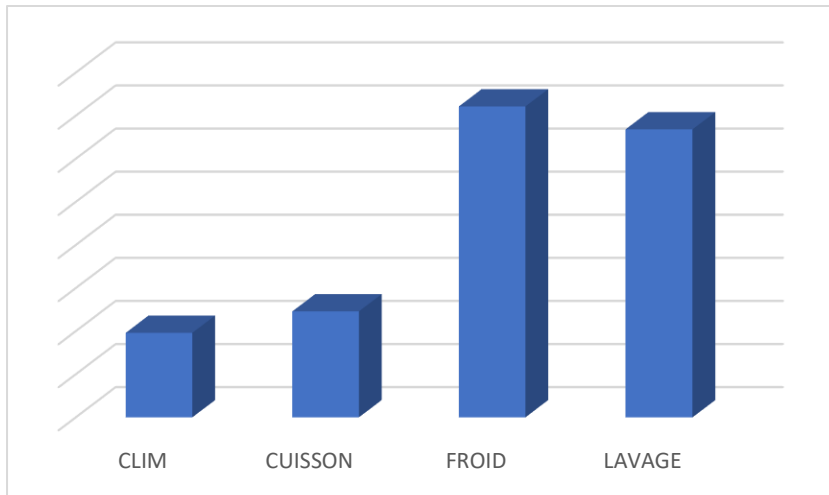


Figure 7: Valeur des ventes par sous-famille de GEM.

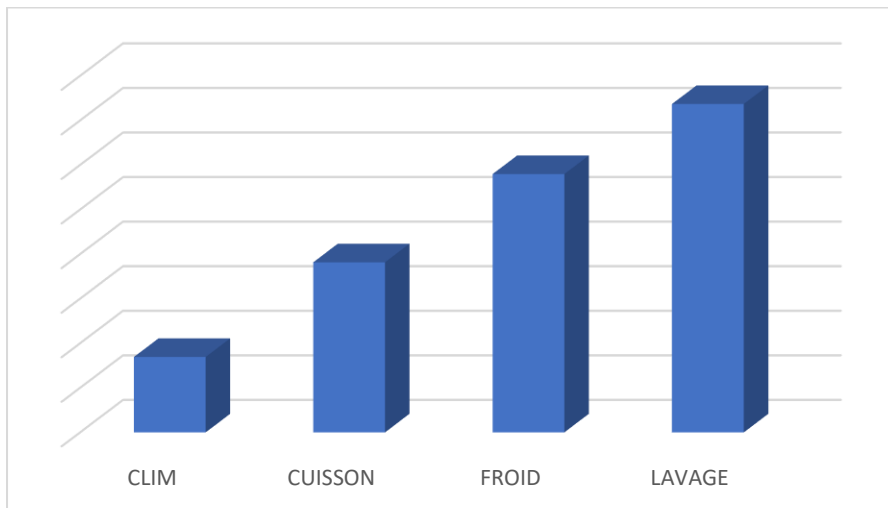


Figure 8: Retour par sous-famille de produit du GEM.

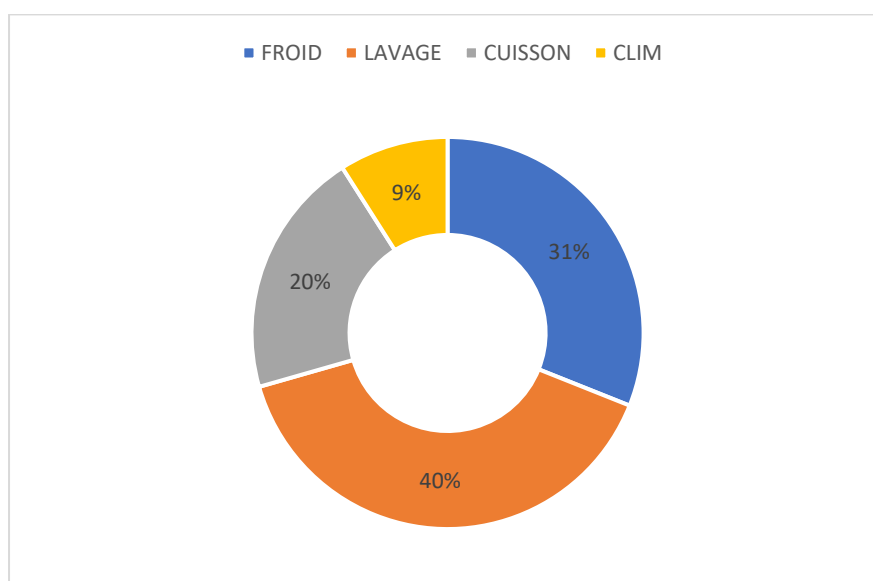


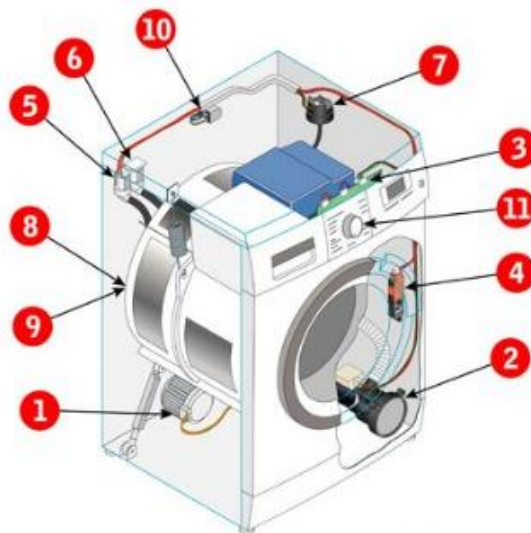
Figure 9: Proportion des retours pour les sous-familles de produits du GEM.

Nous notons que le froid et le lavage représentent les sous-familles où la valeur des ventes est la plus importante.

Nous remarquons que pour les quantités retournées, la sous-famille lavage comprend le plus grand flux de Rework, suivie de près par le froid, la cuisson et la clim , tels que le lavage et le froid représentent approximativement 40% et 31%, la cuisson et la clim se partagent les 30% restant.

Il faut rajouter à cela aussi que les taux de Rework par rapport aux quantités vendues est de 3.2% pour la sous-famille du Lavage, contre 2.3% pour le Froid.

Nous nous sommes tenus à conserver la sous-famille de lavage pour la suite de l'étude, vu l'important flux de retour par rapport aux autres sous-familles. Bien que le froid ait la plus grande valeur, un deuxième argument en faveur du lave-linge a été pris en compte, qui est la facilité de désassemblage, un schéma détaillé des composants du lave-linge est présenté sur la (figure 10) ci-dessous.



© electroguide.com

- 1 : Moteur**
- 2 : Pompe de vidange**
- 3 : Carte de commande**
- 4 : boîtier de fermeture automatique de porte**
- 5 : Électrovanne de lavage**
- 6 : Électrovanne de prélavage**
- 7 : pressostat**
- 8 : Élément chauffant (Résistance)**
- 9 : Sonde de température**
- 10 : Connexion à la terre**
- 11 : panneau de commande**

Source : Electroguide

Figure 10: Constitution d'un lave-linge.

Nous avons ensuite analysé les quantités Rework par rapport aux volumes des ventes des familles de lavage qui sont le LL(Front), le LL(Top) et les LV (lave-linge hublot, ouverture par-dessus, et lave-vaisselle) , ces derniers sont rapportés sur la figure ci-dessous.

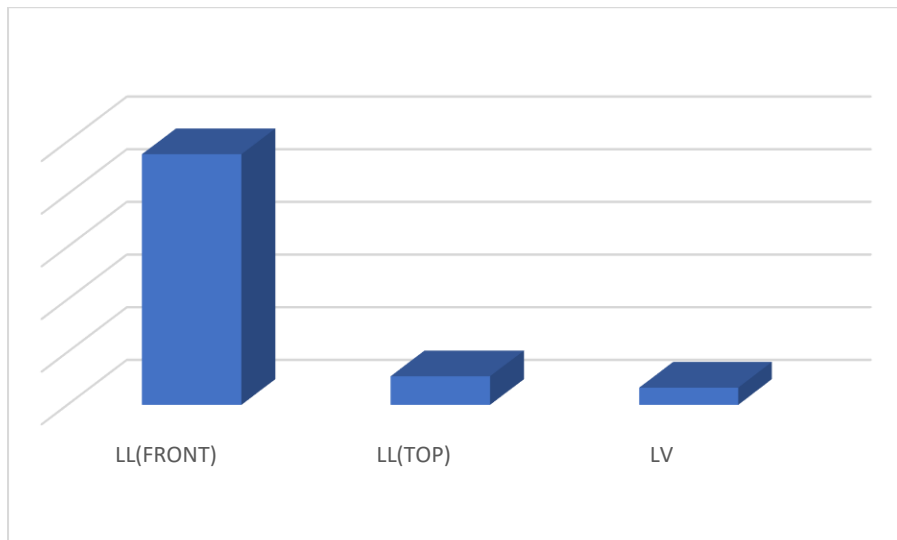


Figure 11: Valeur des ventes par famille de lavage.

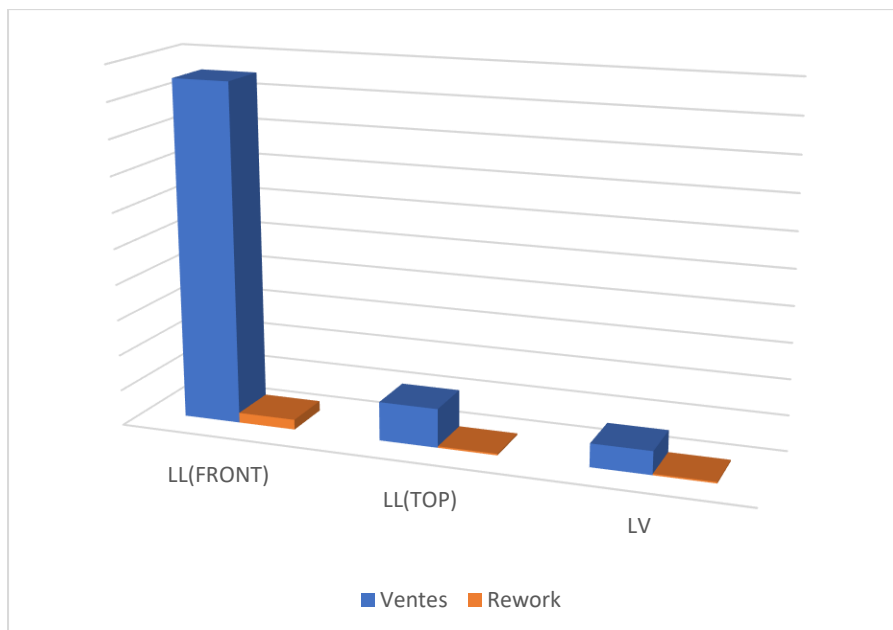


Figure 12: Ventes et Rework par famille de Lavage.

Nous remarquons que les LL(Front) dominent la valeur des ventes, ce qui signifie qu'elle rapporte plus de valeur pour l'entreprise, cela signifie également que la demande en réparation plus tard sera plus importante afin de considérer la valorisation des retours.

Le taux de Rework est plus élevé pour la TOP et la LV (6% et 4% contre 3%), mais les volumes des Rework (TOP, LV) ne représentent que 15% de celui de la FRONT, ce qui nous amène à considérer la famille FRONT pour la suite de l'étude.

## Le flux de retour de la famille de machine LL (FRONT)

Ci-dessous, l'évolution des flux de retours des lave-linge FRONT pour l'année 2019 pour la zone d'Alger, nous observons que le flux de retour à l'entrepôt n'est pas important en début d'année, ceci s'explique par le fait que la marchandise est conservée au niveau des magasins de showroom jusqu'à leur accumulation, pour être transférés au CLR, la fluctuation des retours est également due au caractère incertain des retours clients au niveau du service après-vente.

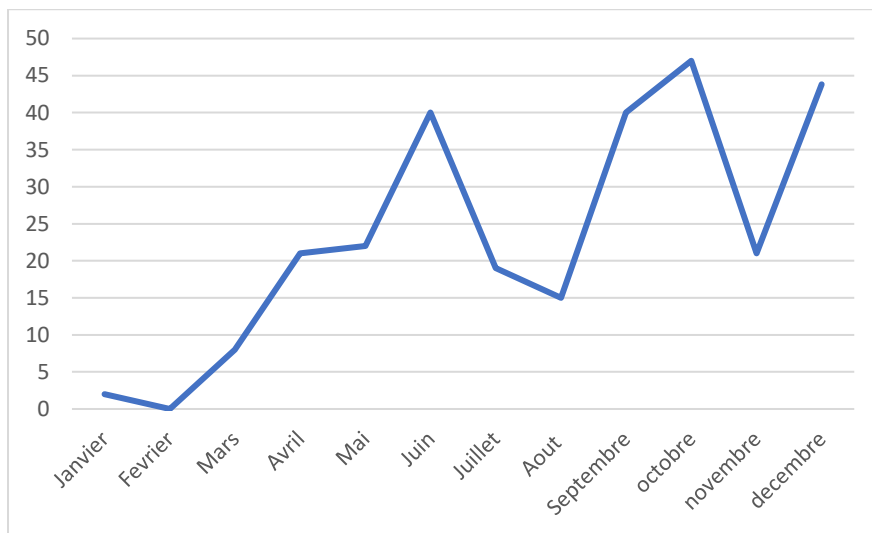


Figure 13: Retour des lave-linges FRONT

### 2.2.5 Les types de retours du service après-vente

Il y a deux types de retours au niveau du service après-vente, les retours sous garantie, c'est-à-dire ceux intervenant entre 0 et 24 mois depuis l'achat du produit, et les retours hors garantie.

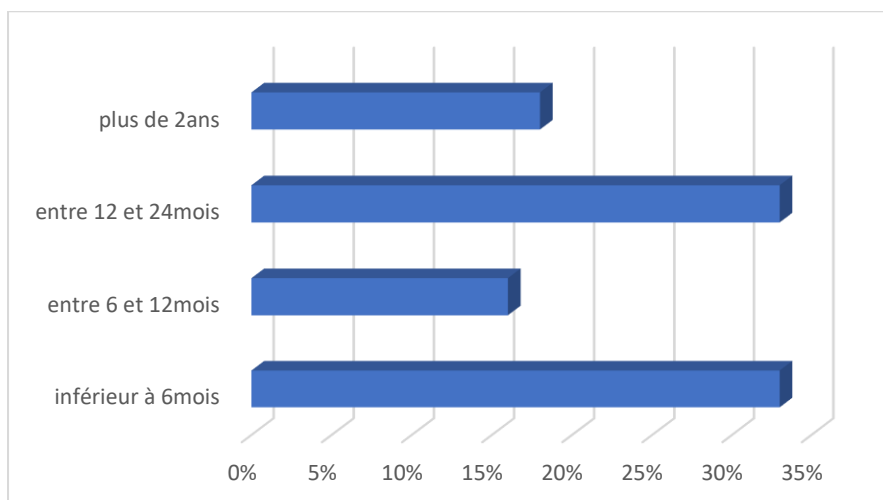


Figure 14: Répartition des retours clients depuis la durée d'achat du produit.

Tableau 3: Taux de retours sous et hors garantie

Retours/Interventions	% des retours SG et HG
Retours sous garantie (SG)	80%
Retours hors garantie (HG)	20%
Total	100%

Source : Données internes de Brandt Algérie, 2020.

Nous remarquons que pour les retours sous garantie, le pourcentage des retours est de 80%, ces retours peuvent être dus soit à des ajustements machine, explication pour les appareils durant les premiers six mois de leur fonctionnement, soit pour après une panne, pour des interventions pour des réparations ou des échanges de pièces défectueuse. Si la réparation n'est pas possible (manque de pièce de rechange, réparation trop coûteuse), on échange le produit au client.

Les retours hors garantie représentent 20% du total des retours client au SAV, dans 25% des cas hors garantie, le client repart sans réparation, soit parce que le coût de la réparation dépasse les 30% du prix du produit neuf, soit par manque de pièces détachées.

Nous rappelons qu'un engagement réussi dans le service après-vente améliore la fidélité des clients et permet une différenciation compétitive grâce à un service supérieur comme une période de service prolongée pendant laquelle les clients sont assurés de trouver des pièces de rechange. Dans cette perspective, nous allons analyser les différentes pièces intervenant dans la réparation.

### **2.3 Analyse des pièces intervenant dans la réparation**

Nous avons analysé les différents types de pannes (liées aux pièces uniquement) survenues lors de l'utilisation des machines à laver, les résultats sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau 4: Les taux de panne et tarifs par pièce

Pièces	Taux de panne (%)	Tarif de la pièce HT (DA)
Carte de commande	12%	6000 à 11000
Fuite d'eau (tuyaux pompe)	37%	300 à 500
Pompe à vidange	11%	2000 à 2500
Roulements	9%	700 à 1500
Sécurité de porte	8%	/
Moteur	5%	5000 à 9000
Amortisseurs	4%	1300 à 1200
Cuve	4%	9000 à 11000
Thermoplongeur	3%	1500 à 2500
Pressostat	3%	500 à 2300
Tambour	2%	8000 à 13000
Electrovanne	2%	900 à 2000

Source : Données internes de Brandt Algérie, 2020

Nous remarquons que les pièces les plus chères sont : la carte de commande, le moteur, la cuve et le tambour. Les plus fréquentes sont la carte de commande, les tuyaux, la pompe à vidange et les roulements.

Nous avons décidé de retenir pour l'étude des coûts de désassemblage, en premier lieu, les pièces les plus chères, sachant que le prix moyen d'une machine est de 35 000 DA, lorsque le prix de la pièce atteint les 30% du prix du produit neuf, le consommateur refuse de réparer son produit. Ensuite, on a sélectionné les pièces plus fréquentes, mis à part les tuyaux, ayant un prix assez faible, et facilement accessibles aux clients. Les pièces retenues sont les suivantes :

- Carte de commande.
- Moteur
- Roulements
- Cuve
- Tambour
- Pompe

### 3 Analyse du comportement du consommateur

Les entreprises doivent assurer leur pérennité économique, pour cela, elles doivent comprendre le comportement du consommateur, étant donné qu'il est en mesure de leur apporter un cadre d'analyse susceptible d'augmenter leurs performances économiques.

### 3.1 Définitions

**La durée d'utilisation :** c'est l'ancienneté ou la durée de présence au foyer d'un appareil, c'est à dire le temps écoulé entre sa date d'entrée dans le foyer et sa date de remplacement.

**La durée de vie :** d'un appareil est le laps de temps écoulé entre l'achat d'un appareil neuf et son remplacement par un appareil similaire parce que celui-ci était en panne irréparable. (Gifam).

**La réparabilité :** peut être qualifiée en fonction de plusieurs facteurs, allant du coût et de la disponibilité des pièces de rechange, ainsi que l'accès aux informations de réparation. Par conséquent, les fournisseurs de services offrent des prix inférieurs pour augmenter leur part de marché de réparation et leurs bénéfices.

### 3.2 Le comportement du consommateur face à la réparation

Selon un rapport d'activité fait par HOP, une association qui lutte contre l'obsolescence programmée, sur les enjeux et solutions en matière de durabilité des lave-linge fait en 2019, la durée moyenne d'usage d'un lave-linge est de 8ans. Cette durée a diminué de plus de 30% en 8 ans.

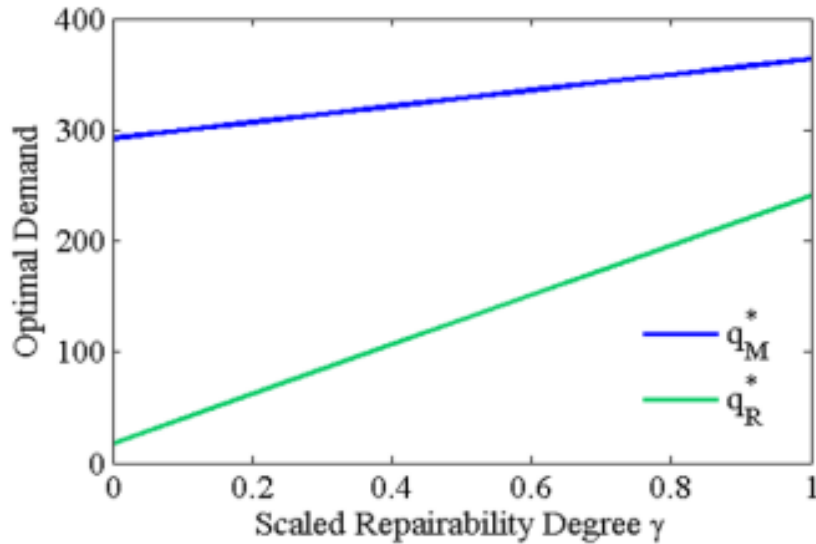
L'enquête révèle que 84% des remplacements de lave-linge ont lieu en raison d'une panne ou d'un dysfonctionnement. La majorité de la vente de ces produits reste donc motivée par le remplacement d'un appareil qui ne fonctionne plus.

Dans la catégorie du gros électroménager, les lave-linge arrivent, en tête des appareils les plus souvent en panne, ces pannes qui surviennent dans près d'un cas sur deux avant que l'appareil n'atteigne 5 années d'utilisation. La plupart du temps, les problèmes arrivent une fois la garantie légale de conformité de 2 ans dépassée, impactant directement le pouvoir d'achat des consommateurs, d'autant plus que le consommateur décide souvent de racheter un produit neuf plutôt que de réparer, pour de multiples causes, telles que l'absence de pièces de rechange ou un coût de réparation trop élevé (dépassant les 30% des coûts d'achat d'un prix neuf).

Aussi, il faut savoir, que la phase de fabrication et vente représente 60% de l'empreinte écologique en équivalent CO2 d'un lave-linge neuf (celui-ci est de 49KG). La fabrication est donc la phase la plus impactant sur le climat, bien plus que la phase d'utilisation par le consommateur. Ainsi, plus la vie d'un lave-linge sera longue, plus son impact écologique sera réduit car cela évite tout simplement la production d'un appareil neuf (49 KG pour un lave-linge).

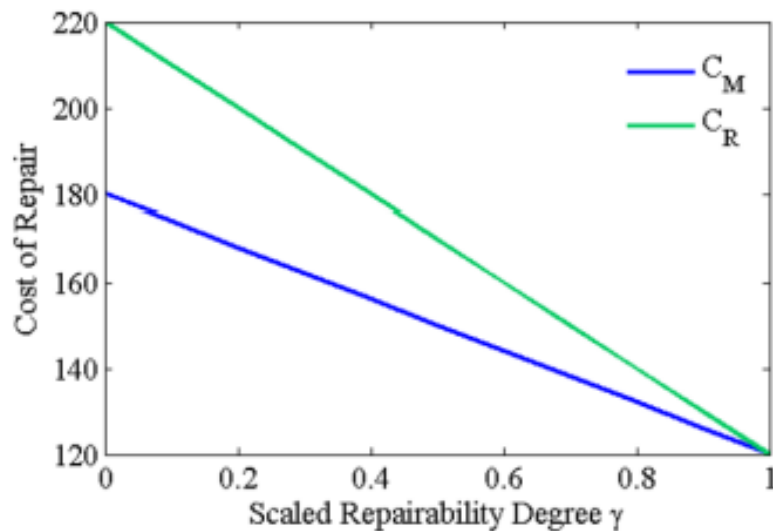
Sur le plan législatif, l'Union Européenne va rendre obligatoire la disponibilité de certaines pièces sur les lave-linge pendant 7ans. D'autre part, en France, le projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire prévoit, entre autres, la création d'un indice de réparabilité obligatoire en 2021. Des groupes de travail, notamment sur le lave-linge, travaillent déjà sur le sujet en France et en Europe. Cet indice permettrait aux consommateurs de savoir au moment de l'achat dans quelle mesure le produit est réparable afin de les encourager à choisir le meilleur. Les critères de son élaboration prennent, par exemple, en compte la disponibilité de la documentation, sa facilité de démontage et de remontage, la disponibilité des outils, des pièces détachées et leur prix.

Une étude a été faite par Sabbaghi et Behdad (2017) sur l'impact de la réparabilité des produits électroniques sur le service de réparation, ainsi que la sensibilité des consommateurs, l'analyse de sensibilité du modèle a montré que le fait d'augmenter la réparabilité d'un produit, diminue le coût des prestations de service des réparations. Par conséquent, les fournisseurs de service offrent des prix inférieurs pour augmenter leur part de marché de réparation et leurs bénéfices. Généralement, l'amélioration de la réparabilité augmente le profit ainsi que la part de marché des acteurs qui proposent des services de réparation, ceci se voit à travers l'augmentation de la demande de la réparation des consommateurs.



Source : (Sabbaghi et Behdad ,2017, p6. )

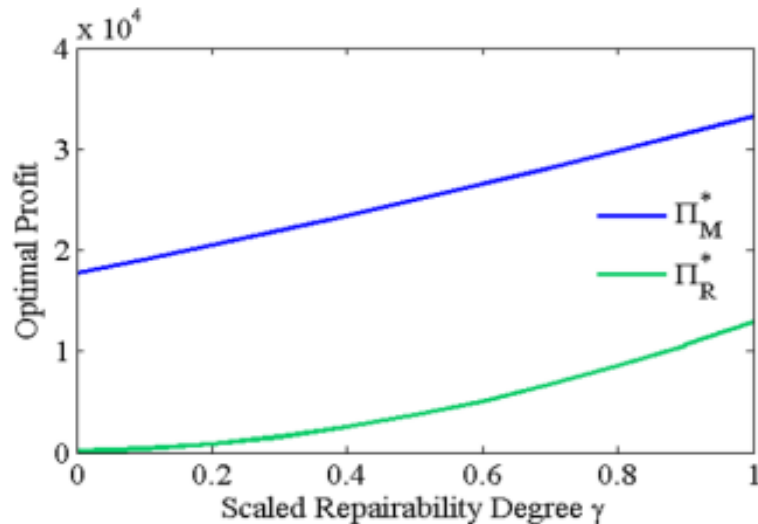
Figure 15: Impact de la réparabilité sur la demande.



Source : (Sabbaghi et Behdad ,2017, p6. )

Figure 16: Impact de la réparabilité sur le coût de réparation.





Source : (Sabbaghi et Behdad ,2017, p6. )

Figure 17: Impact de la réparabilité sur le profit optimal.

## Le comportement du consommateur algérien

Toujours selon l'étude d'opportunité faite par Bedja et Chouiki (2016) dans le secteur de l'électroménager pour Brandt en Algérie, et en tenant compte que les données sur le comportement du consommateur algérien n'ont pas grandement évolué, on constate que la décision d'achat de celui-ci est guidée par l'arbitrage entre qualité et prix, il faut noter que le prix moyen d'une machine à laver en Algérie est à peu près de la moitié que celui en France. Vu les fonctionnalités moins demandées sur le marché algérien, Brandt a dû s'adapter au niveau de vie moyen du consommateur algérien en offrant des produits de très bonne qualité à des prix compétitifs. D'autres critères sont pris en considération lors du choix de produit, tel que la marque et les caractéristiques du produit.

Au vu de l'importance et de la grande durée d'utilisation de ces appareils, les consommateurs s'orientent de plus en plus vers des produits de marque dont la qualité est garantie.

Le critère lié à la consommation d'énergie, par exemple, ne représente pas un facteur déterminant dans le choix du produit, contrairement aux consommateurs européens.

Ceci est dû au manque de prise de conscience par rapport à cet aspect, cependant on prévoit un changement de tendance grâce aux différentes sensibilisations mises en place quant aux coûts engendrés par l'utilisation de produits de classe énergétiques inférieure. Les critères d'achats des consommateurs du marché africains et européens devront donc converger sur le long terme. Brandt a d'ailleurs introduit sur le marché des produits avec des classes énergétiques différentes.

## Conclusion

Suite à aux observations et analyses des flux de retours, nous avons constaté que les produits retournés et destinés à la casse ou à la vente aux enchères, qui souvent occupent des places en stocks sans valeur ajoutée sont généralement à défauts minimes. Ces produits viennent de l'avant-vente, c'est-à-dire des produits retournés par le revendeur, ou de l'après-vente, les produits qui sont échangés aux clients durant leur période de garantie. L'autre constat important

est que le prix de certaines pièces détachées est beaucoup trop élevée pour permettre la réparation des machines aux clients, cette valorisation des produits permettra ainsi aux utilisateurs d'avoir accès à un service de réparation peu cher, augmentant ainsi la satisfaction client.

Nous tenterons d'appliquer le désassemblage sur une famille de produits, l'échantillon des retours d'Alger constituera une sorte de projet pilote pour évaluer la faisabilité du projet.

Dans le chapitre qui suit, nous proposons un modèle mathématique visant l'obtention d'un plan de désassemblage de produits Rework optimal dans le but de répondre à la problématique de du plan d'approvisionnement des pièces de rechange par le désassemblage. Ensuite, nous résoudrons le modèle et analyserons ses résultats.

# **Chapitre 3 : Modélisation du problème et simulation**

## Introduction

Nous allons maintenant procéder à la modélisation de notre problème, à travers une programmation mathématique en nombres entiers, qui servira à minimiser les coûts de stockage et à affecter les quantités de pièces détachées. Ensuite, nous passerons la résolution du programme linéaire, effectuée sur CPLEX, l'interprétation des résultats de simulations et sur la sensibilité de certains paramètres du modèle.

## 1 Les problèmes d'optimisation linéaires

La modélisation mathématique est une traduction de la réalité en utilisant des outils techniques et théoriques. Compte tenu de notre problématique sur l'optimisation du plan d'approvisionnement des pièces de rechange par le désassemblage des retours, nous avons élaboré un modèle de programmation linéaire en nombres entiers qui aidera à prendre une décision sur le mode d'approvisionnement des pièces, en fonction du coût associé, selon qu'elles soient achetées, ou obtenues par le désassemblage de produits.

Bien que la réalité soit souvent loin d'être linéaire, un grand nombre de problèmes peuvent s'écrire sous forme linéaire, soit directement, soit en première simplification. D'autre part, un très grand nombre de modèles constituent des extensions de programmes linéaires. Sa compréhension est essentielle à la compréhension de modèles plus sophistiqués. (Bastin, 2010).

### 1.1 Modèle d'optimisation mono-objectif

Selon Mahdi Samir, lorsqu'un seul objectif (critère) est donné, le problème d'optimisation est mono-objectif. Dans ce cas la solution optimale est clairement définie, c'est celle qui a le coût optimal (minimal, maximal). De manière formelle, à chaque instance d'un tel problème est associé un ensemble  $\Omega$  des solutions potentielles respectant certaines contraintes et une fonction d'objectif  $f : \Omega \rightarrow \Psi$  qui associe à chaque solution admissible  $s \in \Omega$  une valeur  $f(s)$ . Résoudre l'instance  $(\Omega, f)$  du problème d'optimisation consiste à trouver la solution optimale  $s^* \in \Omega$  qui optimise (minimise ou maximise) la valeur de la fonction objectif  $f$ . Pour le cas de la minimisation : le but est de trouver  $s^* \in \Omega$  tel que  $f(s^*) \leq f(s)$  pour tout élément  $s \in \Omega$ . Un problème de maximisation peut être défini de manière similaire.

#### Les variables de décisions

Les variables de décision sont des quantités numériques pour les quelles des valeurs sont à choisir. Cet ensemble de  $n$  variables est appelé vecteur de décision :  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Les différentes valeurs possibles prises par les variables de décision  $x_i$  constituent l'ensemble des solutions potentielles.

## L'espace décisionnel et l'espace objectif

Deux espaces Euclidiens sont considérés en optimisation :

- **L'espace décisionnel**, de dimension  $n$ ,  $n$  étant le nombre de variables de décision. Cet espace est constitué par l'ensemble des valeurs pouvant être prise par le vecteur de décision.
- **L'espace objectif** : l'ensemble de définition de la fonction objectif, généralement défini dans  $\mathcal{R}$ . La valeur dans l'espace objectif d'une solution est appelée coût, ou fitness.

### Les contraintes

Dans la plupart des problèmes d'optimisation, des restrictions sont imposées par les caractéristiques du problème. Ces restrictions doivent être satisfaites afin de considérer une solution acceptable. Cet ensemble de restrictions, appelées contraintes, décrit les dépendances entre les variables de décision et les paramètres du problème. On formule usuellement ces contraintes  $c_j$  par un ensemble d'inégalités, ou d'égalités de la forme :  $c_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ .

## 1.2 Programmation linéaire en nombres entiers

Certaines quantités ne peuvent s'écrire sous forme de nombres réels, issus d'un domaine continu. Au contraire, certaines décisions sont par nature discrètes, et doivent se représenter à l'aide de nombres entiers. La présence de telles variables entières modifie profondément la nature des programmes sous-jacents. Lorsqu'un problème est linéaire avec des variables entières, nous parlerons de programmation mixte entière. Si toutes les variables sont entières, nous utiliserons la terminologie de programmation (pure) en nombres entiers (PLNE). (Fabian Bastin , 2010).

Comme ça a été précisé au chapitre 1 concernant les problèmes de désassemblage, les modèles PLNE sont généralement ceux qui mettent en disposition les quantités de produits et de pièces retournés tout en minimisant leurs coûts.

## 2 Le modèle mathématique

Avant de décrire le modèle, il convient de rappeler pourquoi nous avons mené l'étude avec un modèle mathématique, puis nous citerons son objectif.

### a. Les modèles mathématiques et le problème du désassemblage

Pour l'élaboration de notre modèle, nous nous sommes inspirées des travaux de (Langella , 2007) cités dans le premier chapitre où un modèle PLNE a été utilisé, l'étude était menée dans le cadre du désassemblage à la demande, pour la remise à neuf des produits, la fonction objective cherche à minimiser le total des coûts pertinents encourus sur l'horizon de planification. Chaque coût unitaire est composé lui-même de la somme des coûts suivants : coût d'acquisition du produit (retourné), coûts de désassemblage des produits et les coûts de stockage et coût d'élimination.

## b. Objectif de l'étude

Dans le cas de notre étude, l'objectif est de valoriser les produits retournés notamment grâce au désassemblage poussé de ces produits et la réutilisation de leurs pièces détachées (d'occasion) pour élargir l'offre de réparation et satisfaire les clients désirant des pièces pas très chères. Pour cela, on doit d'abord évaluer la faisabilité du désassemblage en termes de coûts.

Cet objectif répond à des avantages multiples ; d'abord économiques, puisqu'il permettra de valoriser les pièces détachées après le désassemblage, ensuite des avantages marketing liés à l'image de marque de Brandt, puisque l'offre d'une réparation pas très chères et la garantie aux clients d'une disponibilité de pièces de rechange en dehors de la période de garantie va attirer la clientèle, surtout que le facteur de la réparabilité est devenue un élément important auprès du consommateur. Enfin, un objectif environnemental pourra être atteint, grâce à l'allongement du cycle de vie des produits.

## c. Description du modèle

Nous avons un modèle en programmation linéaire en nombre entier ( PLNE) qui peut être utilisé pour obtenir la solution optimale à un problème de planification des quantités de pièces/produits de désassemblage, de stock et d'approvisionnement . Le modèle est dédié pour une seule famille de produits sur une période de 12 mois.

### i. Les indices

- $i \in I$  : indices des produits initiaux.
- $j \in J$  : indices des pièces détachées.

### ii. Les paramètres

#### Paramètres liés aux coûts

- **Les coûts de séparation** : Le démontage est un effort qui demande de la main-d'œuvre. En outre, le tri et le nettoyage sont inclus dans cette catégorie. L'entreprise a également une influence sur ces coûts par le biais de décisions de conception de produits, dans le sens où un produit peut être conçu de manière à faciliter son élimination en fin de vie concernant le démontage.

$C_i^s$  : Cout initiale de séparation (désassemblage) du produit  $i$ .

- **Les couts de stockage de produits et de pièces** : L'entreprise détiendra des stocks de produits et des pièces à la fois pour se protéger contre le risque de manque d'approvisionnement mais aussi pour regrouper des produits similaires en vue de leur désassemblage. La détention de stocks entraîne des coûts non seulement du stockage physique des articles, mais également du coût du capital immobilisé dans les stocks, ainsi que de l'obsolescence.

$C_i^h$ : Cout unitaire de stockage du produit  $i$ .  
 $K_j^h$ : Cout unitaire de stockage de la pièce  $j$ .

- **Cout d'approvisionnement en pièces détachées** : Dans certains cas, les pièces non obtenues lors du démontage peuvent être achetées directement et utilisées pour la réparation. L'achat ici est fait par importation auprès d'un fournisseur.

$K_j^p$ : Cout d'approvisionnement unitaire de la pièce  $j$

### Autres paramètres

- $I$  : Nombre de produits initiaux.
- $J$  : Nombres de pièces détachées.
- $T$  : Période totale de l'étude.
- $\pi_{i,j}$  :  $\begin{cases} 1 & \text{Si la pièce } j \text{ dérive du produit } i. \\ 0 & \text{Sinon.} \end{cases}$
- $D_{j,t}$  : Demande de pièce de réparation neuve \ d'occasion hors garantie  $j$  à la période  $t$ .
- $D_{j,t}^{neuve}$  : Demande miniale de pièce de réparation neuves hors garantie  $j$  à la période  $t$ .
- $X_i^{h(0)}$  : Quantité en stock du produit  $i$  initiale.
- $Y_j^{h(0)}$  : Quantité en stock de la pièce  $j$  initiale.
- $X_t^{h,i(\max)}$  : Capacité maximale de stockage des produits  $i$ .
- $Y_t^{h,j(\max)}$  : Capacité maximale de stockage des pièces  $j$ .
- $R_{i,t}$  : Retour de produits rework ( approvisionnement )  $i$  à la période  $t$ .

### Les variables de décision

- $X_{i,t}^h$  : Quantité de produits  $i$  en stock à la période  $t$ .
- $Y_{j,t}^h$  : Quantité de pièces  $j$  en stock à la période  $t$ .
- $X_{i,t}^s$  : Quantité de produits  $i$  à désassembler à la période  $t$ .

- $Y_{j,t}^p$  : Quantité de pièces  $j$  à s'approvisionner à la période  $t$ .

### La fonction objective

$$Z = \min \sum_{t=1}^T [\sum_{i=1}^I C_i^h \cdot X_{i,t}^h + \sum_{j=1}^J K_j^h \cdot Y_{j,t}^h + \sum_{i=1}^I C_i^s \cdot X_{i,t}^s + \sum_{j=1}^J K_j^p \cdot Y_{j,t}^p] (*)$$

Cette fonction mono-objective est une somme de différents coûts. Elle a pour but de trouver la solution optimale qui puisse satisfaire au mieux :

- **La Minimisation des coûts de désassemblage** : C'est les coûts liés au désassemblage des produits échangés, destinés à la casse qui représente la somme du produit du cout unitaire de désassemblage et de la quantité à désassembler de chaque machine à laver pour une période donnée.
- **La Minimisation des coûts de stockage des produits retournés** : C'est les coûts de stockage de tous les produits, représentés par la somme du produit du coût unitaire de stockage et de la quantité stockée pour chaque produit à une période donnée.
- **La Minimisation des coûts d'approvisionnement des pièces neuves** : C'est les coûts d'approvisionnement de toutes les pièces détachées neuves des produits, représentés par la somme du produit du cout unitaire d'approvisionnement et de la quantité devant être acquise pour chaque pièce détachée à une période donnée.
- **La Minimisation des coûts de stockage des pièces issues du désassemblage** : C'est les coûts de stockage de toutes les pièces détachées des produits, représentés par la somme du produit du coût unitaire de stockage et de la quantité stockée pour chaque pièce détachée à une période donnée.

### Les contraintes

$$- X_{i,0}^h = X_i^{h(0)} \quad ; i \in I \quad (1)$$

$$- Y_{j,0}^h = Y_j^{h(0)} \quad ; j \in J. \quad (2)$$

$$- X_{i,t}^h = X_{i,t-1}^h - X_{i,t}^s + R_{i,t} \quad ; i \in I; t = 1, \dots, T. \quad (3)$$

$$- Y_{j,t}^h = Y_{j,t-1}^h + \sum_{i=1}^I X_{i,t}^s \cdot \pi_{i,j} + Y_{j,t}^p - D_{j,t} \quad ; j \in J; t = 1, \dots, T. \quad (4)$$

$$- \sum_{i=1}^I X_{i,t}^h \leq X_t^{h,(\max)} \quad ; t = 1, \dots, T. \quad (5)$$

$$- \sum_{j=1}^J Y_{j,t}^h \leq Y_t^{h,(\max)} \quad ; t = 1, \dots, T. \quad (6)$$



$$- Y_{j,t}^p \geq D_{j,t}^{neuve} \quad ; j \in J; t = 1, \dots, T. \quad (7)$$

$$- X_{i,t}^h \geq 0 \quad ; i \in I; t = 1, \dots, T. \quad (8)$$

$$- Y_{j,t}^h \geq 0 \quad ; j \in J; t = 1, \dots, T. \quad (9)$$

$$- X_{i,t}^s \geq 0 \quad ; i \in I; t = 1, \dots, T. \quad (10)$$

$$- Y_{j,t}^p \geq 0 \quad ; j \in J; t = 1, \dots, T. \quad (11)$$

### Explication des contraintes

- **Contrainte (1) :** Initialisation du modèle de la première quantité de produits en stock ( $X_i^{h(0)}$ ) à la période  $t=0$ .
- **Contrainte (2) :** Initialisation du modèle de la première quantité de pièces en stock ( $Y_j^{h(0)}$ ) à la période  $t=0$ .
- **Contrainte (3) :** Cette contrainte représente l'état de stock de chaque produit  $i$  à la période  $t$  ( $X_{i,t}^h$ ). Elle est égale à la quantité du produit  $i$  en stock à la période précédente ( $X_{i,t-1}^h$ ) plus la quantité de produit  $i$  retournés ( $R_{i,t}$ ) à la période  $t$ , moins la quantité de produits  $i$  désassemblés ( $X_{i,t}^s$ ) qui ne font plus partie du stock de produits et se transfèrent au stock de pièces.
- **Contrainte (4) :** Cette contrainte représente l'état de stock de chaque pièce  $j$  à la période  $t$  ( $Y_{j,t}^h$ ). Elle est égale à la quantité qui était en stock de la même pièce à la période précédente ( $Y_{j,t-1}^h$ ), plus la quantité de pièces  $j$  provenant du désassemblage des produits  $i$  associés à la période  $t$  ( $\sum_{i=1}^I X_{i,t}^s \cdot \pi_{i,j}$ ) moins la demande en pièces de réparation en période  $t$  qui est ( $D_{j,t}$ ). Ajouté à cela la quantité de pièces neuves  $j$  approvisionnées en période  $t$  ( $Y_{j,t}^p$ ).
- **Contrainte (5) :** La somme des quantités en stock de tous les produits  $i$  ( $\sum_{i=1}^I X_{i,t}^h$ ) à la période  $t$  doit être inférieure à la capacité de stockage maximale de tous les produits confondus  $X_t^{h,i(\max)}$ .
- **Contrainte (6) :** La somme des quantités en stock de toutes les pièces  $j$  ( $\sum_{j=1}^J Y_{j,t}^h$ ) à la période  $t$  doit être inférieure à la capacité de stockage maximale de toutes les pièces confondues  $Y_t^{h,j(\max)}$ .
- **Contrainte (7) :** Cette contrainte représente le seuil minimale de demande en pièces détachées neuves ( $D_{j,t}^{neuve}$ ).
- **Contrainte (8),(9),(10) et (11) :** Les variables de décision doivent toutes positives.

### Modélisation finale du problème

## La fonction objective

$$Z = \min \sum_{t=1}^T [\sum_{i=1}^I C_i^h \cdot X_{i,t}^h + \sum_{j=1}^J K_j^h \cdot Y_{j,t}^h + \sum_{i=1}^I C_i^s \cdot X_{i,t}^s + \sum_{j=1}^J K_j^p \cdot Y_{j,t}^p]$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} X_{i,0}^h = X_i^{h(0)} & ; i \in I \\ Y_{j,0}^h = Y_j^{h(0)} & ; j \in J. \\ X_{i,t}^h = X_{i,t-1}^h - X_{i,t}^s + R_{i,t} & ; i \in I; t = 1, \dots, T. \\ Y_{j,t}^h = Y_{j,t-1}^h + \sum_{i=1}^I X_{i,t}^s \cdot \pi_{i,j} + Y_{j,t}^p - D_{j,t} & ; j \in J; t = 1, \dots, T. \\ \sum_{i=1}^I X_{i,t}^h \leq X_t^{h,i(\max)} & ; t = 1, \dots, T. \\ \sum_{j=1}^J Y_{j,t}^h \leq Y_t^{h,j(\max)} & ; t = 1, \dots, T. \\ Y_{j,t}^p \geq D_{j,t}^{neuve} & ; j \in J; t = 1, \dots, T \\ X_{i,t}^h \geq 0 & ; i \in I; t = 1, \dots, T. \\ Y_{j,t}^h \geq 0 & ; j \in J; t = 1, \dots, T. \\ X_{i,t}^s \geq 0 & ; i \in I; t = 1, \dots, T. \\ Y_{j,t}^h \geq 0 & ; j \in J; t = 1, \dots, T. \end{array} \right.$$

## Les hypothèses du modèle

- On suppose que la totalité des pièces issues du désassemblage sera utilisable en réparation pour les produits retournés hors garantie. Le justificatif de cette hypothèse est qu'après évaluation de l'état par catégorie de famille respectivement décroissante en terme de qualité ( A, B, C, D, E ) plus de la moitié des produits Rework revendus aux enchères est de famille A ou B ce qui permet de conclure que la qualité des produits retournés est généralement bonne à réutiliser, ce qui implique que la quantité de pièces non réutilisables est négligeable.
- On considère qu'après désassemblage des produits Rework stockés au niveau de la plateforme Cross dock ( CLR Oued Essemar) et plus précisément au niveau du service technique de celui-ci, les pièces résultantes seront transférées au SAV d'Alger afin d'y être stockées pour leur utilisation dans la réparation.
- Nous avons supposé que les coûts de transport sont négligeables puisque toute la logistique est gérée par la filiale de Cevital Numilog ( 3PL ). Et comme Brandt est aussi une filiale de Cevital la facturation des coûts est moindre.
- On suppose que la demande de réparation de pièces est déterministe. Nous avons également supposé que la demande minimale à satisfaire en pièces détachées neuves est déterministe. En effet l'estimation sera détaillée dans la suite de ce chapitre.

- Le choix de prendre en compte le coût de désassemblage de la totalité du produit au lieu de considérer le coût unitaire de désassemblage par besoin de pièce dans le produit est dû au choix d'un désassemblage pour une demande poussée. L'estimation de ce coût est détaillée dans la suite de ce chapitre.
- Par manque de données, on suppose que les coûts d'approvisionnement des pièces neuves se confondent avec les coûts de leurs achats.

Le problème de planification du flux de retours ainsi que la considération de la dimension quantitative du modèle linéaire conçu, offre la possibilité aux décideurs de prendre en compte l'ensemble des choix de décisions potentielles pouvant impacter le profit ainsi que les décisions à long terme. Nous allons maintenant résoudre le problème en l'appliquant sur une seule famille de produits.

### 3 Application du modèle

#### 3.1 Présentation du produit étudié

Comme vu précédemment dans l'étude de l'existant, le produit retenu que nous allons étudier pour le désassemblage est celui de la famille de lave-linge LL(FRONT) qui inclut une vingtaine de références différentes, avec des spécifications techniques distinctes (capacité, vitesse etc.). Nous nous sommes ensuite arrêtés sur 6 références de modèles différents dans le cadre de cette étude. Ces derniers ont été choisis en fonction des références de pièces communes qu'ils présentent, afin de maximiser leur disponibilité. Les catégories de pièces que nous avons gardé sont au nombre de 6, et ont été choisis selon les critères vu dans le chapitre 2.

Nous présentons plus bas (tableau 5) les modèles de machine ainsi que les pièces détachées qui les composent.

Tableau 5: Les modèles de produits et leurs pièces.

Modèle/ Pièce	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	
Modèle1	X				X						X			X			X			X				
Modèle 2			X			X						X			X			X					X	
Modèle 3		X					X				X			X			X					X		
Modèle 4	X							X			X			X			X			X				
Modèle 5		X							X		X			X			X					X		
Modèle 6				X						X			X			X			X					X

Les pièces P1 P2 P3 P4 représentent des références différentes de la même catégorie de pièces, de même pour les autres qui ont la même couleur. La pièce P11 est commune aux modèles 1,3,4 et 5.

### 3.2 Résolution du modèle

Le modèle conçu vise principalement à obtenir des quantités de désassemblage et d'achat optimales pour des familles de produits et des pièces de références différentes . Le modèle nécessite une résolution par la méthode du simplexe. A cet effet, plusieurs solveurs existent tels que : SOLVEUR EXCEL, MATLAB, CPLEX...

Le problème étant de nature PLNE, nous proposons de le résoudre en utilisant le logiciel CPLEX, qui est un outil d'optimisation et de résolution de problèmes linéaires. (Voir annexe définition).

La résolution du modèle sur CPLEX a nécessité l'élaboration d'un code fourni en annexe, et l'introduction des données suivantes (détails en annexe) :

<b>Les indices</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>I</math> : Nombre de modèle de machine à laver FRONT.</li> <li>- <math>J</math> : Nombres de pièces détachées.</li> <li>- <math>T</math> : Période totale de l'étude.</li> </ul>
<b>Les paramètres fixes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>K_j^h</math>: Cout unitaire de stockage d'une seule pièce détachée.</li> <li>- <math>C_i^h</math>: Cout unitaire de stockage d'une seule machine à laver.</li> </ul>
<b>Les tableaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>X_i^{h(0)}[i]</math>: Quantité en stock du produit <math>i</math> initiale.</li> <li>- <math>Y_j^{h(0)}[j]</math>: Quantité en stock de la pièce <math>j</math> initiale.</li> <li>- <math>X_t^{h,i(\max)}[t]</math>: Capacité maximale de stockage des produits à la période <math>t</math>.</li> <li>- <math>Y_t^{h,j(\max)}[t]</math>: Capacité maximale de stockage des pièces à la période <math>t</math>.</li> </ul>
<b>Les matrices</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\pi_{i,j}[i][j]</math> : La matrice de nomenclature.</li> <li>- <math>D_{j,t}[j][t]</math>: Demande de pièce de réparation (neuve et occasion), en hors garantie <math>j</math> à la période <math>t</math>.</li> <li>- <math>D_{j,t}^{neuve}[j][t]</math>: Demande miniale de pièce de réparation hors garantie <math>j</math> à la période <math>t</math>.</li> <li>- <math>R_{i,t}[i][t]</math>: Retour de produits Rework ( approvisionnement ) <math>i</math> à la période <math>t</math>.</li> </ul>

L'exécution du modèle générera des valeurs en output pour les différentes variables de décisions sous un horizon total de 12 mois :

<b>Variables de décision</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>X_{i,t}^h[i][t]</math> : <i>Quantité de produits i en stock à la période t.</i></li> <li>- <math>Y_{j,t}^h[j][t]</math> : <i>Quantité de pièces j en stock à la période t.</i></li> <li>- <math>X_{i,t}^s[i][t]</math> : <i>Quantité de produits i à désassembler à la période t.</i></li> <li>- <math>Y_{j,t}^p[j][t]</math> : <i>Quantité de pièces j à s'approvisionner à la période t.</i></li> </ul>
------------------------------	--

### 3.3 Estimation des paramètres

Pour la préparation des données nécessaires aux inputs du modèle, nous nous sommes appuyées sur nos entretiens avec le personnel de l'entreprise, certains paramètres d'entrées du modèle ont dû être estimés, vu le manque de données disponibles. Pour cela, nous nous sommes basées sur des éléments de données fournies par des rapports et études récentes trouvés sur internet.

#### 3.3.1 Estimation de la demande de réparation

Nous avons considéré la demande en pièces détachées pour les réparations en hors garantie. En estimant la part du marché des réparations, à partir du taux de pannes des produits mis sur le marché.

Nous avons récolté les données du taux de panne par pièce selon les retours des anciens produits au SAV, mais aussi depuis des ressources sur des rapports de réparateurs sur internet, à cause du manque de données disponibles. Aussi, le fait qu'une partie des références des produits étudiés a été lancée depuis très peu, diminue la fiabilité des données sur la demande des réparations. En plus, les clients se dirigent généralement vers les réparateurs indépendants, lorsqu'un produit tombe en panne après la fin de sa garantie, considérant que les prix des fabricants d'origine sont trop élevés, le but dans un premier temps est donc de répondre à la demande de cette catégorie de consommateurs, en leur offrant des pièces d'origine avec un bon prix, ce sont celles issues du désassemblage.

Quant à la quantité des produits sur le marché, nous les avons estimés à partir d'une année de ventes, en supposant que l'acquisition des parts de marchés de réparation se fera progressivement.

Pour avoir le taux de panne, afin d'estimer le marché de la demande annuelle de réparation en hors garantie des lave-linges, nous nous sommes basées sur une étude faite sur plusieurs marques de GEM par Murfy, start-up de l'économie circulaire et experte de la réparation de gros électroménager, 25% des appareils tombent en panne dans les deux ans qui suivent la fin de leur garantie.

Nous avons également estimé la demande minimale pour les pièces neuves, qui concerne les consommateurs qui exigent ce type de pièces pour leur réparation. La demande pour les pièces

neuves a été estimée à partir de la demande actuelle du SAV pour les réparations effectuées après la fin de période de garantie.

Finalement, la demande totale en pièces détachées est égale à la demande des pièces issues du désassemblage, en plus de la demande des pièces neuves.

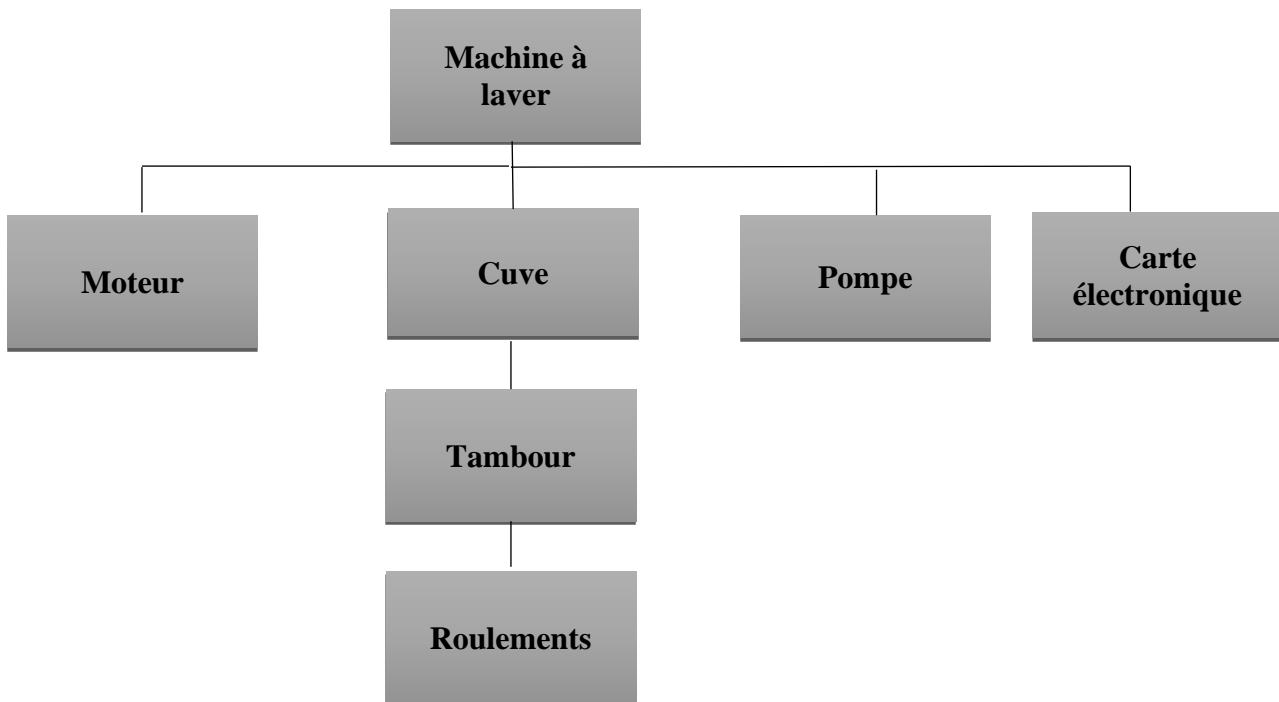
### 3.3.2 Estimation du coût de désassemblage

Le coût de désassemblage représente le coût nécessaire à l'opération de désassemblage des machines, en plus du coût lié à la perte de valeur du produit. Il se compose de deux coûts suivants :

#### Le coût de l'opération de désassemblage

Selon un avis de technicien du SAV, les temps total de désassemblage nécessaire pour retirer les pièces principales de la machine, suivant la structure de désassemblage présenté sur le schéma ci-dessous (Figure 18), a été estimé à 2h..

Le coût horaire de l'opération du désassemblage, nous l'avons estimé à partir des coûts horaires de l'activité de réparation des pièces, qui incluent leur montage et démontage, ces derniers sont pratiqués par le service technique du SAV. Le coût horaire a été finalement évalué à 1000 DA/h, ce qui correspond à un coût de l'opération de désassemblage total de la machine de 2000DA.



Source : élaborée par nos soins à partir du diagnostic de Brandt Algérie,2020

Figure 18: Structure de désassemblage de la machine à laver

## Le coût de la perte de valeur du produit récupéré

Ce coût est estimé à partir de la différence entre la valeur (prix de vente) du produit Rework et la valeur du produit neuf échangé au client. En effet, lorsqu'on effectue l'échange de l'ancien produit acheté par le client, celui-ci est vendu aux enchères à un certain prix inférieur au prix de vente initial, cette différence représente le coût lié à la perte de valeur du produit.

Nous obtiendrons au final le coût de désassemblage qui est égal à la somme du coût lié à la valeur du produit et le coût de l'opération de désassemblage (2000DA).

Les résultats du calcul sont présentés sur le tableau ci-dessous (tableau 6). Pour des raisons de confidentialité des données, les prix de ventes aux enchères ne sont pas affichés. Il faut noter que cette perte de valeur représente en moyenne que 20% de la baisse du prix de vente de ces modèles, ce qui signifie qu'ils sont généralement de bonne qualité.

Tableau 6: Le coût total de désassemblage pour les différents modèles.

Produit	Prix du produit neuf (UM)	Valeur du produit Rework(UM)	Coût de la perte de valeur du produit (UM)	Coût de désassemblage (UM)
Modèle 1	<sup>1</sup> #####	#####	5100	7100
Modèle 2	#####	#####	8300	10300
Modèle 3	#####	#####	8100	10100
Modèle 4	#####	#####	4300	6300
Modèle 5	#####	#####	7300	9300
Modèle 6	#####	#####	7500	9500

### 3.4 Les résultats du modèle

Après avoir implémenté les paramètres des inputs sur CPLEX, nous avons obtenus les matrices des outputs sur Excel. Il est à noter que les données affichées ont été multiplié par un coefficient afin de ne pas dévoiler les éléments confidentiels de l'entreprise. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 7: Quantités de produits en stock pour chaque période

Xi,t	Initialisation	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
1	2	3	3	3	8	14	20	28	33	43	50	51	59
2	5	3	3	11	16	24	31	31	31	31	31	31	33
3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	10	16
4	2	0	0	0	0	0	9	14	21	40	41	43	47
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	15	25
6	1	0	0	0	3	8	20	21	24	35	46	53	62

Le total des produits en stock en dernière période est égal à **242 machines à laver**.

<sup>1</sup> Les données ont été masquées pour des raisons confidentielles.

Tableau 8: Quantité de produits désassemblés pour chaque période

Xs,t	Initialisation	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Le total des produits désassemblés est égal à **20 machines à laver**.

Grace à la matrice  $\pi_{i,j}$  on en déduit que le total des pièces désassemblées est de **120 pièces**.

Tableau 9: Quantité de pièces en stock pour chaque période

Xj,t	Initialisation	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
1	0	4	3	3	5	5	7	7	7	5	5	5	5
2	0	2	2	3	5	4	4	5	5	5	3	3	3
3	0	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0
4	0	2	2	2	4	3	3	2	2	0	0	0	0
5	0	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0
7	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	2	2	2	3	2	3	3	3	2	2	0	0
9	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	2	2	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0
11	0	4	4	4	7	5	7	7	6	6	6	6	6
12	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13	0	2	2	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0
14	0	6	5	6	8	6	7	5	4	4	3	2	0
15	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	2	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0
17	0	6	4	4	8	7	7	8	8	6	5	5	4
18	0	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0
19	0	2	2	2	4	3	2	1	1	1	1	0	1
20	0	4	4	4	6	6	6	6	6	6	5	5	5
21	0	2	2	3	5	5	5	6	5	5	5	5	5
22	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
23	0	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4

Le total des pièces en stock en dernière période est égal à **35 pièces détachées (neuves et récupérées)**.

Tableau 10: Quantité de pièces détachées achetées pour chaque période

Xa,t	Initialisation	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
12	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
15	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
16	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
17	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0
19	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le total des pièces détachées achetées est de **56 pièces**.



## 4 Analyse des résultats et simulation

Nous allons analyser les résultats du modèle dans ce qui suit, à travers le calcul de différents indicateurs ainsi que des représentations graphiques. Nous évaluerons le taux de satisfaction de la demande en pièces d'occasion, en distinguant entre les quantités qui ont été obtenues par le désassemblage, et celles qui ont été achetées. Puis nous détaillerons les catégories de pièces concernées par les deux modes d'approvisionnement.

### La demande en pièces d'occasion

La demande de pièces d'occasion représente les pièces qui ont été obtenues à partir des produits désassemblés, elle est déduite à partir de la différence entre la demande de réparation en hors garantie, et celle des pièces neuves, son expression est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Demande en pièce d'occasion} &= \\ &\text{Demande totale de pièces de rechange} - \text{Demande en pièces neuves.} \\ &= 141 - 43 \\ &= \mathbf{98 \text{ pièces}} \end{aligned}$$

On remarque que la proportion du total des pièces désassemblés dépasse largement celle des pièces achetées, et ce durant toutes les périodes de l'année.

### Taux de satisfaction de la demande en pièces d'occasion

La demande en pièce issues du désassemblage qui a été satisfaite est calculé à partir de la différence entre la demande totale de réparation et le total des pièces achetées, c'est aussi la différence entre la demande en pièces d'occasion et l'écart entre le total des pièces achetées et la demande en pièces neuves.

$$\begin{aligned} \text{Demande satisfaite en pièces d'occasion} &= \\ &\text{Demande en pièce de rechange} - \text{Total de pièces achetées} \\ &= 143 - 56 \\ &= \mathbf{85 \text{ pièces}} \end{aligned}$$

Nous pouvons donc déduire le taux de satisfaction de la demande de réparation en pièces d'occasion, en le calculant par le rapport entre les pièces détachées issues du désassemblage et la demande de pièces désassemblées :  $85 / 98 = \mathbf{86\%}$ .

Cela implique que la demande est satisfaite à 86%, c'est-à-dire que dans 86% des cas, il est plus rentable pour le fabricant de s'approvisionner par le désassemblage de produit, plutôt que par l'achat directe de pièces neuves. Cela se confirme en calculant les coûts d'achats et de désassemblage. En effet, le coût d'achat des pièces est de 270160 UM tandis que le coût total de désassemblage est de 167200 UM.

Nous présentons ci-dessous (Figure 19 ) la proportion des pièces qui ont été achetées et celles désassemblées pour répondre à cette demande (D1=141).

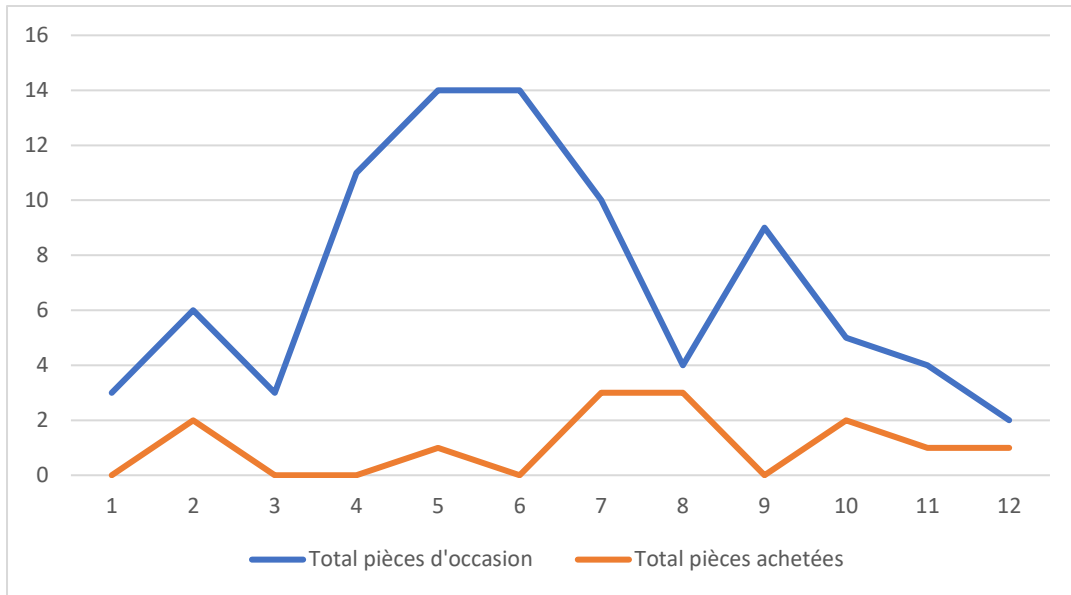


Figure 19: Total des pièces d'occasion et pièces achetées pour la demande en pièces d'occasion.

### Les catégories de pièces concernées

Nous présentons ensuite, pour différentes références de pièces, la proportion qui a été achetée et celle qui vient du désassemblage pour la demande annuelle des pièces d'occasion.

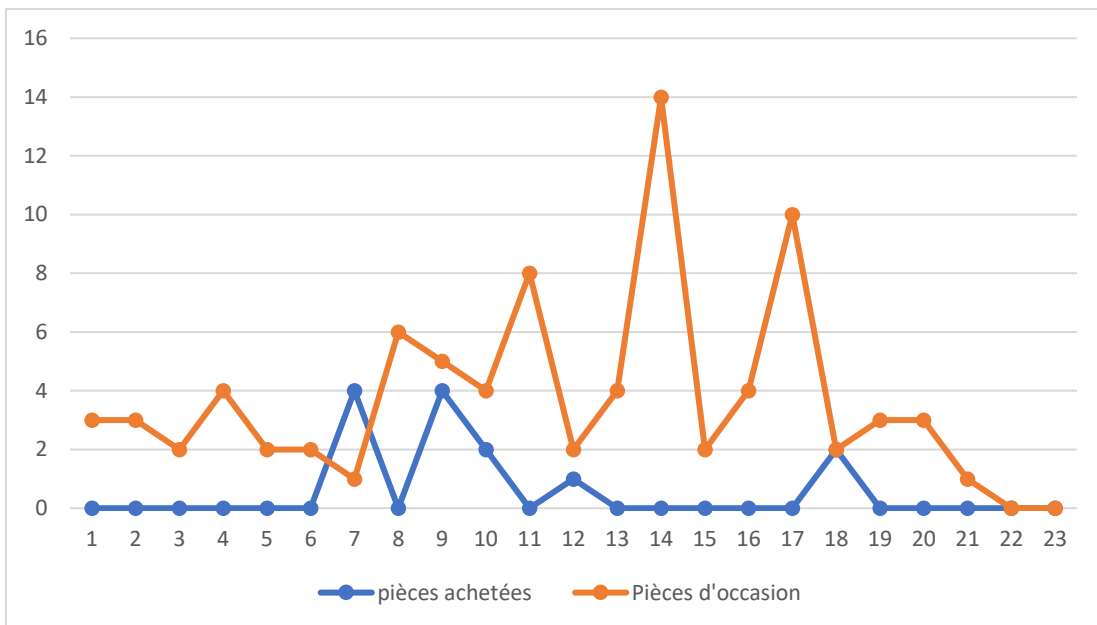


Figure 20: Quantités de pièces d'occasion et pièces achetées par référence pour D1

Nous remarquons que pour certaines pièces, l'option de l'achat était plus profitable que celle du désassemblage, c'est le cas notamment pour la pièce 7.

Ceci peut s'expliquer par le fait que la pièce 7 fait partie d'une catégorie de pièces qui ne présentent pas de parents de produits commun (provenance de plusieurs modèles de produits),

c'est-à-dire que chaque pièce provient d'un modèle de produit différent. Ce qui réduit l'opportunité du désassemblage par rapport à l'achat.

Ce constat se confirme lorsqu'on fait varier la demande, en effet, pour (D2=200) , les pièces où l'achat a dépassé le désassemblage se situent au niveau de la pièce 7 et 9, qui correspondent à la même famille de pièce.

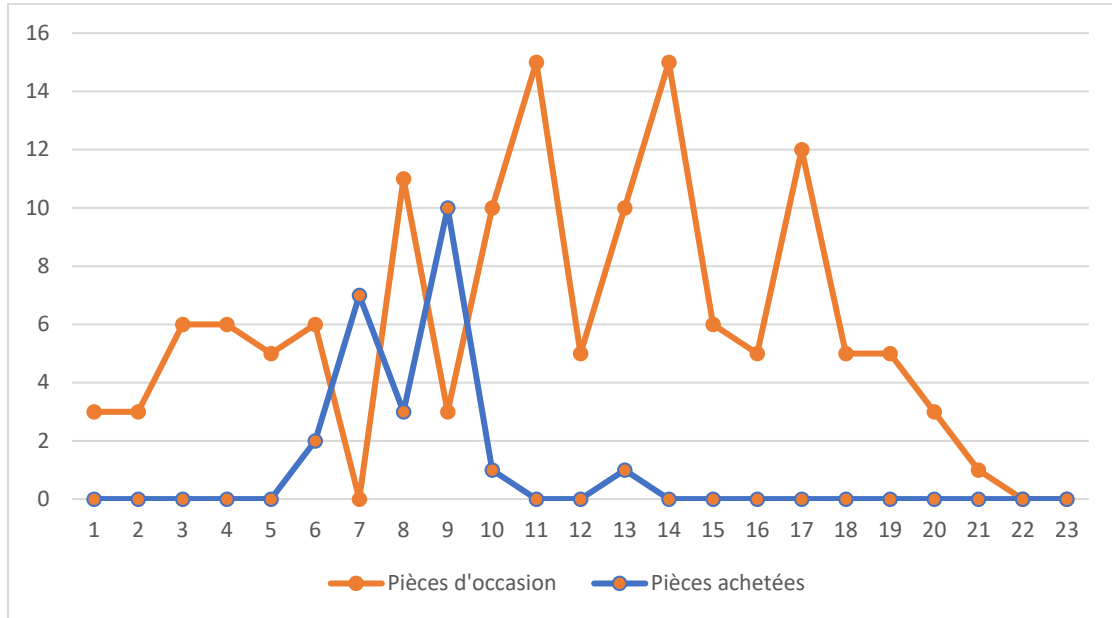


Figure 21: Quantités de pièces d'occasion et pièces achetées par référence pour D2

Nous observons également des pics de pièces du désassemblage pour les pièces 11, 14 et 17 dans les deux cas, ces dernières correspondent à des catégories de pièces ayant des parents de produits communs ( proviennent de plusieurs modèles de produits.)

## 5 Le profit du désassemblage

Nous allons calculer les profits engendrés par l'opération de désassemblage. Ces derniers sont définis par la différence entre les revenus liés à la prestation du service de réparation destiné aux demandes en pièces de rechange (hors demande en pièces neuves).

L'expression s'écrit comme suit :

**Profit = Revenus du service de réparation – coût de désassemblage.**

$$\text{Profit} = \sum_{j=1}^J \left( \sum_{t=1}^T (D_{j,t} - Y_{j,t}^p) \right) \cdot \text{Tarif}(j) - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T C_i^s \cdot X_{i,t}^s$$

Sachant que le tarif comprend le prix de vente de la pièce en plus du tarif de réparation, les prix de vente ont été estimés à partir de la valeur des prix des produits Rework, tandis que les tarifs de réparation sont les mêmes que ceux pratiqués par le SAV actuellement.

Le calcul du profit a été fait en augmentant la demande en réparation à chaque fois, le résultat est présenté ci-dessous :

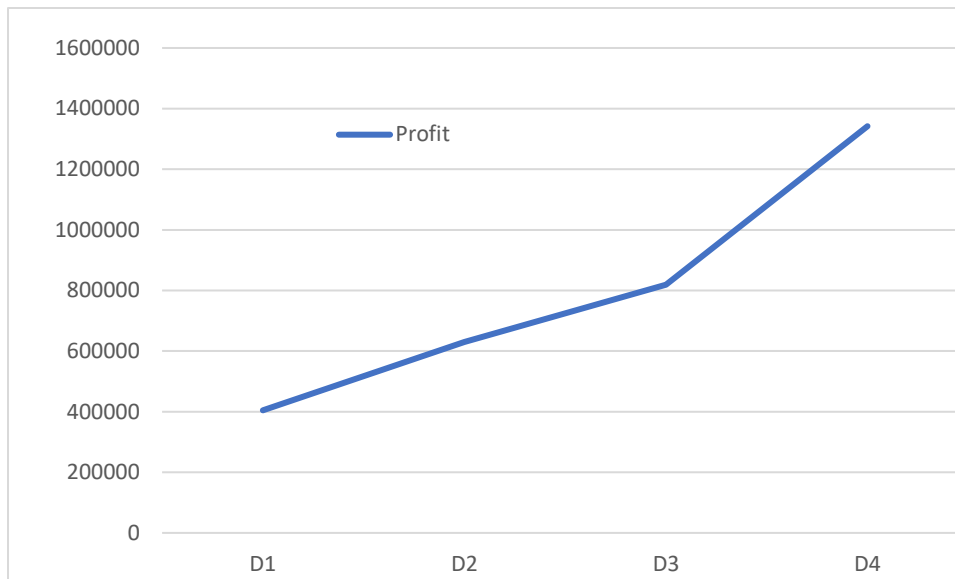


Figure 22: Le profit en fonction des demandes D1 D2 D3 D4

On remarque que le profit lié au service de réparation augmente avec l'augmentation de la demande. Cela veut dire qu'il est toujours rentable de désassembler plus.

## 6 Le gain en réparation

Nous allons calculer la différence entre la valeur des produits Rework, ainsi que les revenus de la réparation, pour savoir si l'entreprise va gagner plus de l'activité de désassemblage, que celle de la vente directe aux enchères des produits Rework.

La valeur des produits Rework est calculée à partir de des quantités désassemblées durant l'année multipliées par leur prix de vente aux enchères.

**Pour D=D1 :**  $R(\text{Réparation}) - R(\text{Rework}) = 42920 \text{ UM}$

Nous remarquons que la différence est positive pour cette demande, nous allons faire varier la demande pour voir la sensibilité du gain par rapport à la demande.

**Pour D=D2 :**  $R(\text{Réparation}) - R(\text{Rework}) = -14720 \text{ UM}$

**Pour D=D3 :**  $R(\text{Réparation}) - R(\text{Rework}) = -81500 \text{ UM}$

**Pour D=D4 :**  $R(\text{Réparation}) - R(\text{Rework}) = 184540 \text{ UM}$

Nous notons que ce gain est positif pour la demande **D4**, et négatif pour les demandes **D2** et **D3**.

Afin d'expliquer ces différences, nous allons calculer le taux d'utilisation des pièces, calculé en faisant le rapport entre le nombre de pièces récupérées destiné à la demande en réparation et le nombre de pièces total issues du désassemblage (la capacité totale de l'offre des pièces récupérées), ce dernier correspond au nombre total des pièces résultantes des produits désassemblés.

Les résultats sont affichés sur le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Taux d'utilisation des pièces d'occasion pour les demandes D1 D2 D3 D4

<b>Demande</b>	<b>Pièces récupérées utilisées</b>	<b>Pièces récupérées</b>	<b>Taux d'utilisation</b>
<b>D1</b>	85	120	70%
<b>D2</b>	135	210	64%
<b>D3</b>	187	294	63%
<b>D4</b>	270	378	71%

On remarque que les taux d'utilisation les plus bas correspondent à la demande **D2** et **D3**, ce qui signifie qu'il y a beaucoup plus de produits désassemblés par rapport à l'utilisation des pièces qui en sont issues.

Cette différence des taux d'utilisation est principalement lié à la distribution de la demande entre les pièces, et de sa variabilité. En effet, si on a une demande de 80 pièces de P1 et 10 pièces de P2 provenant du même modèle, nous aurons 80 produits désassemblés pour 90 pièces, tandis que si cette demande est de 80 et 40 pièces pour P1 et P2 respectivement, nous obtiendrons 120 pièces pour 80 produits désassemblés, et par conséquent, moins de surplus de pièces à stocker.

Ainsi, lorsqu'une demande, pour une période donnée, présente trop de variabilité par rapport aux différentes pièces, il y aura un faible rendement de pièces utilisées par produit désassemblé. Par ailleurs, si les demandes des différentes pièces sont distribuées de manière homogène avec de faibles écarts entre les demandes, le rendement par produit désassemblé sera plus élevé. Ceci justifie la différence entre le rendement de la réparation, qui est associé au nombre de pièces d'occasion obtenues, et celui de la vente aux enchères du nombre de produits désassemblés. La variabilité de la demande impacte donc directement le gain en réparation.

## **7 Les limites et les perspectives de l'étude**

### **Les limites**

Suite à la construction du modèle ainsi que la simulation et l'analyse des résultats de celui-ci, nous avons relevé quelques limites de l'étude qu'on a effectuée.

D'abord, le fait que le modèle mathématique ne prend pas en compte le caractère stochastique de la demande, impacte directement le gain en réparation. Celui-ci ne considère pas aussi la probabilité d'avoir des pièces défectueuses lors du désassemblage et les pertes liées à cela.

D'autre part, le désassemblage implique un certain surplus de pièces qui ne seront pas utilisées pour satisfaire la demande, conséquence d'un désassemblage poussé et non pas tiré par la demande, la gestion des stocks au cours de cette période étant difficile en raison de l'incertitude importante concernant la demande à long terme. De ce fait, ce surplus peut représenter une source de coûts de stockage supplémentaire pour l'entreprise.

Par ailleurs, le modèle ne tient pas compte d'autres facteurs dans le calcul du profit du désassemblage et le gain par rapport à la vente aux enchères. En effet, les éléments comme la

satisfaction client, et l'impact de l'élargissement de l'offre de réparation sur l'image de marque de Brandt et sur la demande des produits neufs ne sont pas considérés dans la mesure des profits.

Enfin, la possibilité d'avoir des économies d'échelles n'a pas été abordée, vu que le cas d'application concerne la demande d'une seule région, d'un seul type de produit et d'une seule source de retours. En effet, à force que la demande augmente, le coût de désassemblage pourra être amorti avec l'effet d'expérience de la main d'œuvre.

### **Les perspectives futures**

A la lumière des limites identifiées pour notre étude, nous proposerons plusieurs perspectives futures pour le développement d'études ultérieures sur l'exploitation de la logistique inverse et de ses multiples opportunités en général et pour le cas de Brandt en particulier.

D'abord, le service après-vente représente une grande opportunité de profit pour l'entreprise, vu la part importante du marché de réparation qu'il peut acquérir, son impact sur l'image de marque de l'entreprise auprès des consommateurs en général. Une piste intéressante serait l'étude du comportement du consommateur face à la réparabilité des produits, en labellisant les produits les plus réparables, ou en fournissant un indice de réparabilité. La marque assure ainsi au client une disponibilité des pièces détachées à l'achat, et va ainsi rallonger la durée de vie du produit. Ce dernier point peut être un argument de vente solide pour fidéliser le client, et devient un élément de choix pour le consommateur, et un élément concurrentiel devant les autres marques de l'électroménager. De plus, la satisfaction client, qui est un axe d'orientation principal chez Brandt, constitue un sujet de recherche pertinent, son taux peut être amélioré avec des stratégies telles que la proposition d'une extension de garantie sur les produits achetés.

D'autre part, comme on l'a vu dans les limites de l'étude, la négligence des pièces défectueuses lors du désassemblage peut être une autre problématique pour l'entreprise, surtout si elle élargit ses sources de retours. Pour remédier à cela, elle peut exploiter la mise à disposition d'une bourse pour les déchets industriels par l'agence nationale des déchets, qui lie les industriels avec les recycleurs.

Par ailleurs, nous avons constaté à travers notre diagnostic, qu'une grande variabilité de la demande cause un surplus de pièces détachées se retrouverait en stock. Cela est dû au choix de désassemblage poussé, qui a été mentionné dans les hypothèses. A l'avenir, l'entreprise devra compter sur des modèles qui prennent en compte l'aspect stochastique de la demande afin de proposer un désassemblage à la commande.

Aussi, puisque la production des produits en électroménager locale est récente, Brandt Algérie devrait penser au développement de la R&D pour le design de produit qui seront facilement désassemblés.

Enfin, d'autres pistes peuvent être explorées, comme la diversification des sources de retours, en adoptant par exemple une stratégie de récupération de produits en fin de vie, à travers un contrat de rachat entre le client et l'entreprise, où en récompensant le client avec une remise sur un nouveau produit acheté.

## **Conclusion**

Après avoir conçu le modèle au début du chapitre, nous avons analysé les différents résultats du modèle mathématique. A travers les données des outputs du modèle, notamment les quantités en pièces achetées et celles récupérées, nous avons pu conclure qu'il était plus rentable pour l'entreprise de s'approvisionner avec des pièces de rechange en désassemblant des produits destinés à la casse, qu'en achetant directement les pièces neuves, et ce afin de satisfaire la demande en pièces de rechange d'occasion. Aussi, se concentrer sur des produits avec des pièces communes augmente le nombre de produits désassemblés. Nous avons également calculé le profit du désassemblage et démontré qu'il était croissant avec la demande de réparation. Le gain en réparation a lui été aussi calculé, avec la détermination des paramètres qui l'impactent, notamment la variabilité de la demande.

Il est à rappeler que ces résultats ne sont propres qu'à un seul CLR et un seul SAV (région Alger), si cette activité est généralisée sur toutes les régions du pays, la valeur ajoutée sera d'autant plus important et constituera sur le long terme une réelle source de profit pour l'entreprise.

## Conclusion générale

Ce projet, dont la vocation principale était de proposer une solution qui soit rentable pour la valorisation des retours de l'entreprise, a été orienté vers la planification du désassemblage afin d'en évaluer la faisabilité en termes de coûts. Le but étant d'obtenir des pièces détachées utilisables dans une offre de réparation pour les produits ayant dépassé leur durée de garantie. Dans un premier temps, nous avons introduit les différents éléments qui constituent l'état de l'art, à savoir les concepts de la logistique inverse et la planification du désassemblage. Après balayage des problématiques abordées dans la logistique inverse nous nous sommes concerté de mettre en place une planification des flux de retour sur un niveau tactico-stratégique. Ce choix est justifié par le fait qu'en Algérie les industries ne se sont pas encore penché sur la valorisation de retours en dehors de la réparation classique des services après-vente. Notre approche méthodologique était orientée vers un aspect théorique qu'on a pu illustrer grâce à une étude de cas.

Il s'agissait ensuite de faire un état des lieux de l'étude de cas c'est à dire un diagnostic pour l'entreprise d'électroménager Brandt Algérie. Nous sommes arrivées à deux constats importants, le premier étant le prix couteux de pièces détachées qui dépasse le revenu du client en réparation ce qui réduit la demande et le second étant la classe de qualité élevée retournée mise aux enchères non valorisée.

Après définition de la problématique et des dysfonctionnements internes nous sommes passées à l'aspect quantitatif où nous avons pu modéliser un programme linéaire en nombres entiers. Ce dernier offre à l'entreprise une aide à la prise de décision pour une planification de désassemblage avec une minimisation des coûts, le but étant de faciliter l'évaluation de ces coûts pour le cas où les pièces sont achetées, et le cas où elles sont issues du désassemblage.

La simulation grâce à l'introduction des données de Brandt Algérie comme paramètres à notre modèle nous a permis d'interpréter les résultats et conclure par la suite qu'il était plus rentable pour l'entreprise de s'approvisionner avec des pièces de rechange en désassemblant des produits destinés à la casse, qu'en achetant directement les pièces neuves, et ce afin de satisfaire la demande en pièces de rechange d'occasion. Nous avons également calculé le profit du désassemblage et démontré qu'il était croissant avec la demande de réparation. Le gain en réparation a lui été aussi calculé, avec la détermination des paramètres qui l'impactent, notamment la variabilité de la demande.

Cet objectif répond à des avantages multiples ; d'abord économiques, puisqu'il permettra de valoriser les pièces détachées après le désassemblage, ensuite des avantages marketing liés à l'image de marque de Brandt, puisque l'offre d'une réparation pas très chères et la garantie aux clients une disponibilité de pièces de rechange en dehors de la période de garantie va attirer la clientèle, surtout que le facteur de la réparabilité est devenue un élément important . Enfin, un objectif environnemental pourra être atteint, grâce à l'allongement du cycle de vie des produits. En guise de clôture, nous pouvons dire que grâce à la mise en pratique des connaissances acquises durant notre formation d'ingénieur, les objectifs poursuivis au cours de ce travail ont été atteints. Nous espérons que ce projet pilote verra pourra être concrétisé au sein de l'entreprise et ainsi contribuer à améliorer le processus de prise de décisions.



## Bibliographie

Articles :

ABDALLAH, Tarek, DIABAT, Ali, et SIMCHI-LEVI, David. Sustainable supply chain design: a closed-loop formulation and sensitivity analysis. *Production Planning & Control*, 2012, vol. 23, no 2-3, p. 120-133.

BEHDAD, Sara, KWAK, Minjung, KIM, Harrison, et al. Simultaneous selective disassembly and end-of-life decision making for multiple products that share disassembly operations. *Journal of Mechanical Design*, 2010, vol. 132, no 4.

Bedja et Chouiki. Décisions d'investissement : Application des méthodes classiques et de l'approche par options réelles - Brandt Algérie (2016)

Bastin. Modèles de recherche opérationnelle. (2010)

CHENG, Yung-Hsiang et LEE, Frank. Outsourcing reverse logistics of high-tech manufacturing firms by using a systematic decision-making approach: TFT-LCD sector in Taiwan. *Industrial Marketing Management*, 2010, vol. 39, no 7, p. 1111-1119.

DAS, Kanchan et CHOWDHURY, Abdul H. Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. *International Journal of Production Economics*, 2012, vol. 135, no 1, p. 209-221.

DUPONT, Lionel et LAURAS, Matthieu. Logistique inverse: un maillon essentiel du développement durable. 2007.

EL-SAYED, M., AFIA, N., et EL-KHARBOTLY, A. A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. *Computers & Industrial Engineering*, 2010, vol. 58, no 3, p. 423-431.

EBRAHIMNEJAD, S., MOUSAVI, S. M., TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R., et al. A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling*, 2012, vol. 36, no 9, p. 4197-4217.

FLEISCHMANN, Moritz, BEULLENS, Patrick, BLOEMHOF-RUWAARD, JACQUELINE M., et al. The impact of product recovery on logistics network design. *Production and operations management*, 2001, vol. 10, no 2, p. 156-173.

GIUNTINI, Ron et ANDEL, Tom. ADVANCE WITH REVERSE LOGISTICS. *Transportation & Distribution*, 1995.

GOVINDAN, Kannan, SOLEIMANI, Hamed, et KANNAN, Devika. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European journal of operational research*, 2015, vol. 240, no 3, p. 603-626.

INDERFURTH, Karl et LANGELLA, Ian M. Heuristics for solving disassemble-to-order problems with stochastic yields. *OR Spectrum*, 2006, vol. 28, no 1, p. 73-99.

KIM, H.-J., LEE, D.-H., et XIROUCHAKIS, P. Disassembly scheduling: literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*, 2007, vol. 45, no 18-19, p. 4465-4484.

KIM, H.-J., LEE, D.-H., et XIROUCHAKIS, P. Two-phase heuristic for disassembly scheduling with multiple product types and parts commonality. *International Journal of Production Research*, 2006, vol. 44, no 1, p. 195-212.

KOPICKI, Ronald, BERG, Michael J., et LEGG, Leslie. Reuse and recycling-reverse logistics opportunities. 1993.

LAMBERT, Serge, RIOPEL, Diane, et ABDUL-KADER, Walid. A reverse logistics decisions conceptual framework. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, vol. 61, no 3, p. 561-581.

LANGELLA, Ian M. Heuristics for demand-driven disassembly planning. *Computers & Operations Research*, 2007, vol. 34, no 2, p. 552-577.

M.Samir. Optimisation Multi-objectif Par Un Nouveau Schéma De Coopération Méta/Exacte .(Date non disponible).

ONDEMIR, Onder et GUPTA, Surendra M. A multi-criteria decision making model for advanced repair-to-order and disassembly-to-order system. *European Journal of Operational Research*, 2014, vol. 233, no 2, p. 408-419.

PISHVAEE, Mir Saman, JOLAI, Fariborz, et RAZMI, Jafar. A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, 2009, vol. 28, no 4, p. 107-114.

PAZHANI, Subramanian et RAVINDRAN, A. Ravi. Design of closed loop supply chain networks. *International Journal of Business Analytics (IJBAN)*, 2014, vol. 1, no 1, p. 43-66.

ROGHANIAN, Emad et PAZHOSHESHFAR, Peiman. An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 2014, vol. 33, no 3, p. 348-356.

RAMEZANI, Majid, BASHIRI, Mahdi, et TAVAKKOLI-MOGHADDAM, Reza. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, vol. 37, no 1-2, p. 328-344.

R JR, V. Daniel, VAN WASSENHOVE, Luk N., et al. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations research*, 2009, no 1, p. 10-19.

SABBAGHI, Mostafa, CADE, Willie, BEHDAD, Sara, et al. The current status of the consumer electronics repair industry in the US: A survey-based study. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, vol. 116, p. 137-151.

SALEMA, Maria Isabel Gomes, BARBOSA-POVOA, Ana Paula, et NOVAIS, Augusto Q. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European journal of operational research*, 2007, vol. 179, no 3, p. 1063-1077.

SRIVASTAVA, Samir K. et SRIVASTAVA, Rajiv K. Managing product returns for reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2006.

TIBBEN-LEMBKE, Ronald S. et ROGERS, Dale S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2002.

VORASAYAN, Jumpol et RYAN, Sarah M. Optimal price and quantity of refurbished products. *Production and Operations Management*, 2006, vol. 15, no 3, p. 369-383.

**Sites internet :**

[http://www.industrie.gov.dz/IMG/pdf/REVUE\\_ALGERIE\\_INDUSTRIE\\_V-FR-2.pdf](http://www.industrie.gov.dz/IMG/pdf/REVUE_ALGERIE_INDUSTRIE_V-FR-2.pdf)

<https://www.gfk.com/fr/insights/gros-electromenager-3-tendances-faconnent-le-marche>

<https://www.electroguide.com/definition-panne-pompe-de-vidange>

[http://culture-materielle.com/wa\\_files/CCA2\\_20v2bis\\_20internet.pdf](http://culture-materielle.com/wa_files/CCA2_20v2bis_20internet.pdf).

<https://bourse.and.dz/indexfr.php>

<https://www.halteobsolescence.org/wp-content/uploads/2019/09/Rapport-lave-linge.pdf>

<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/dit-aujourd'hui/823-etude.pdf>

<https://www.iro.umontreal.ca/~bastin/Cours/IFT1575/IFT1575.pdf>

<https://bu.umc.edu.dz/theses/informatique/MAH4857.pdf>

# ANNEXES

## Annexes 1 : Définition CPLEX.

CPLEX est, à la base, un solveur de programmes linéaires. Il est commercialisé par la société ILOG depuis la version 6.0 (ISIMA 2008/2009, Christophe et Andréa Duhamel). La technologie de programmation mathématique de CPLEX Optimizer permet d'optimiser les décisions pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts et augmenter la rentabilité.

CPLEX Optimizer fournit des solveurs de programmation mathématique flexibles et hautes performances pour la programmation linéaire, la programmation à nombres entiers mixtes, la programmation quadratique et les problèmes de programmation à contraintes quadratiques.

Ces solveurs incluent un algorithme parallèle distribué pour la programmation mixte en nombres entiers afin de tirer parti de plusieurs machines pour résoudre des problèmes difficiles (IBM).

Ci-dessous la fenêtre du CPLEX.

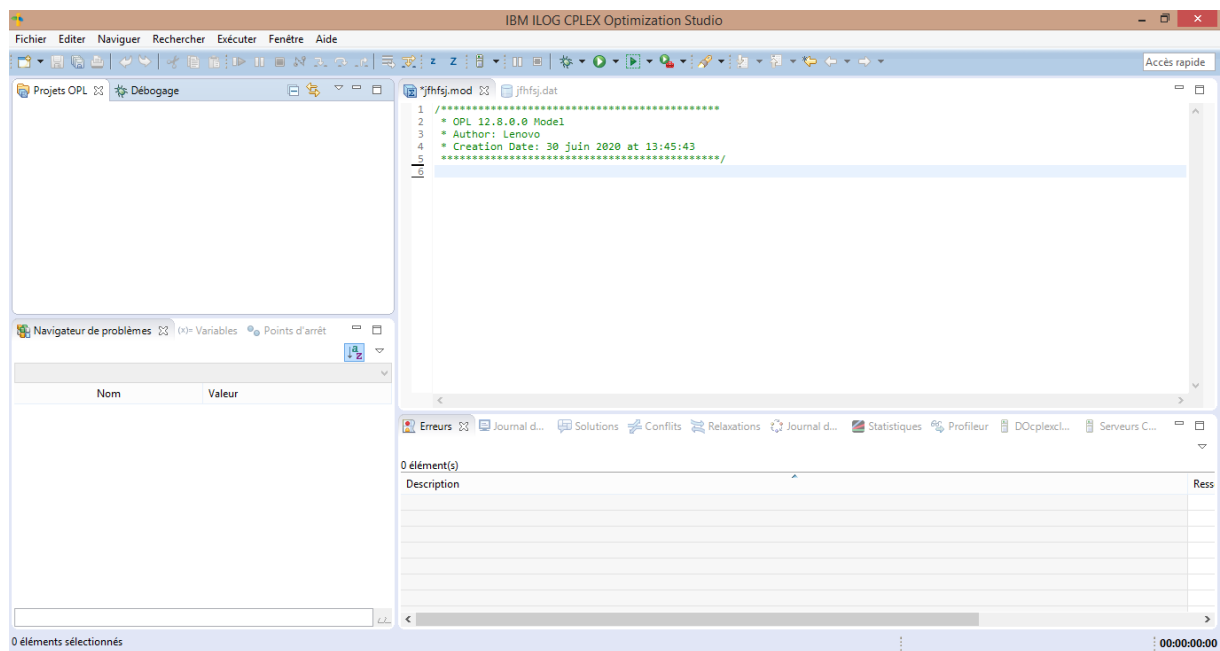


Figure 23: Fenêtre de CPLEX.

## Annexe 2 : Code utilisé sur CPLEX.

### Code de la modélisation :

```
int J=...; //nb de pièce
int I=...; //nb de machine
int T=...; //nb de period

//Parametres :

int cout_prstock=...;
int cout_diss=...;
int cout_pistock=...;

range periodes =1 ..T;
range pieces=1..J;
range produits = 1..I;
range periode_moins =1 .. T-1;

int cout_achat[pieces]=...;
int Retour[produits][periodes]=...;
int Demande[pieces][periodes]=...;
int pi[produits][pieces]=...;
int init_produit [produits]=...;
int init_piece[pieces]=...;

int capa_produit[periodes]=...;
int capa_pieces[periodes]=...;
int demande_piece_garantie[pieces][periodes]=...;
int cout_dess[produits]=...;
// Variables :

dvar int+ nbr_prod_stock[produits][periodes];
dvar int+ nbr_prod_desass[produits][periodes];
dvar int+ nbr_piece_achat[pieces][periodes];
dvar int+ nbr_piece_stock[pieces][periodes];

//Fonction objectif :

minimize sum (i in produits,t in periodes ) nbr_prod_stock [i][t] * cout_prstock +sum (i in produits,t in
periodes) nbr_prod_desass[i][t] *cout_dess[i]+ sum ( j in pieces, t in periodes) nbr_piece_stock[j][t]
*cout_pistock + sum (j in pieces, t in periodes) cout_achat[j] * nbr_piece_achat[j][t];
```

```

// Contraintes :

subject to
{
//contrainte 1 :
forall ( i in produits)

    nbr_prod_stock[i][1]== init_produit[i];
    // contrainte 2 :

forall ( j in pieces)

    nbr_piece_stock[j][1]==init_piece[j];

// contrainte 3 :
    forall( t in periode_moins)
        forall ( j in pieces)

            nbr_piece_stock[j][t+1] == nbr_piece_stock[j][t] +nbr_piece_achet[j][t+1]-Demande[j][t+1]+
sum (i in produits)nbr_prod_desass[i][t+1] * pi [i][j] ;

// contrainte 4:
forall( t in periodes)

    forall ( j in pieces)

        nbr_piece_achet[j][t] >= demande_piece_garantie[j][t];

// contrainte 5 :
forall( t in periode_moins)

    forall ( i in produits)

        nbr_prod_stock[i][t+1]== nbr_prod_stock[i][t] - nbr_prod_desass[i][t+1] + Retour[i][t+1];

// contrainte 6 :

forall( t in periodes)

    sum(i in produits)nbr_prod_stock[i][t] <= capa_produit[t];

// contrainte 7 :

forall ( t in periodes)

    sum(j in pieces) nbr_piece_stock[j][t] <= capa_pieces[t];
}

```

## Code pour l'implémentation des données :

```
I=6;
J=23;
T=13;
cout_prstock=200;
cout_pistock=15;
```

```
// affichage parametres :
```

```
SheetConnection my_sheet("modele.xlsx");
Retour from SheetRead(my_sheet,"Retours");
Demande from SheetRead(my_sheet,"Dj_t");
cout_achat from SheetRead(my_sheet,"c_achat");
pi from SheetRead(my_sheet,"Pi_j");
init_produit from SheetRead(my_sheet,"init_produit");
init_piece from SheetRead(my_sheet,"initiat_piece");
capa_produit from SheetRead(my_sheet,"capa_prod");
capa_pieces from SheetRead(my_sheet,"capa_pieces");
demande_piece_garantie from SheetRead(my_sheet,"demande_piece_garantie");
cout_dess from SheetRead(my_sheet,"cout_dess");
```

```
// affichage variables :
```

```
nbr_prod_stock to SheetWrite(my_sheet,"Xhtt");
nbr_piece_stock to SheetWrite(my_sheet,"Xj_stock");
nbr_piece_achat to SheetWrite(my_sheet,"Xj_achat");
nbr_prod_desass to SheetWrite (my_sheet,"Xi_diss");
```

## Paramètres d'entrée :

Tableau 12 : Demande de pièces neuves par mois

Dj,t(neuve)	Initialisation	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
12	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
15	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
16	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
17	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
19	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 13 : Demande de réparation de pièces détachées par mois

Dj,t	Initialisation	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2	0	0	0
5	0	0	0	1	2	0	1	0	1	0	1	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	1	1
8	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	2	0
9	0	1	3	0	1	1	1	2	1	0	1	0	0
10	0	0	0	0	1	2	1	1	2	0	0	1	1
11	0	2	0	1	1	2	0	1	2	0	2	0	0
12	0	0	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	0	2	2	1	3	2	0	1	2	2
15	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
16	0	0	1	0	1	1	2	0	1	0	1	1	0
17	0	1	2	1	0	2	2	0	0	2	1	0	2
18	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	2	0	0
19	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0
20	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1
21	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Tableau 14: Initialisation des produits en stock en première période

init_produit	i
2	1
5	2
3	3
2	4
1	5
1	6

Tableau 15: Initialisation des pièces en première période

init_piece	j
0	1
0	2
0	3
0	4
0	5
0	6
0	7
0	8
0	9
0	10
0	11
0	12
0	13
0	14
0	15
0	16
0	17
0	18
0	19
0	20
0	21
0	22
0	23

Tableau 16: Retours des produits par mois ( Données confidentielles)

Ri,t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0#		0	0#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2	0	0	0#	#	#	#	0	0	0	0	0	0#	#
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0#	#	#	#
4	0	0	0	0#		0#	#	#	#	#	#	#	#
5	0	0	0#	#		0	0#	#	#	0#	#	#	#
6	0#		0	0#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Tableau 17: Capacité de stockage par période pour les produits et pièces

Xhi(max)	t	Xhj(t)
300	1	120
300	2	120
300	3	120
300	4	120
300	5	120
300	6	120
300	7	120
300	8	120
300	9	120
300	10	120
300	11	120
300	12	120
300	13	120

Tableau 18: Cout d'achat de pièces détachées neuves

cout d'achat piece	j
8000	1
8800	2
7600	3
7200	4
6400	5
8000	6
7200	7
6400	8
7200	9
6000	10
5600	11
6400	12
4800	13
1760	14
1760	15
1760	16
960	17
1200	18
640	19
8000	20
8800	21
9600	22
7200	23

Tableau 19 : Coût de désassemblage produit

i	Coût-désassemblage
1	7100
2	10300
3	10100
4	6300
5	9300
6	9500