



HAL
open science

Contribution à la mise en oeuvre de la traçabilité des chaînes de valeur pour un développement durable de l'industrie de la mode

Joséphine Riemens

► **To cite this version:**

Joséphine Riemens. Contribution à la mise en oeuvre de la traçabilité des chaînes de valeur pour un développement durable de l'industrie de la mode. Génie des procédés. HESAM Université, 2023. Français. NNT : 2023HESAE050 . tel-04562468

HAL Id: tel-04562468

<https://pastel.hal.science/tel-04562468>

Submitted on 29 Apr 2024

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

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

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DES MÉTIERS DE L'INGÉNIEUR
[LAMIH UMR CNRS 8201]

THÈSE

présentée par : **Joséphine RIEMENS**

soutenue le : **13 juillet 2023**

pour obtenir le grade de : **Docteur d'HESAM Université**

préparée à : **École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers**

Spécialité : **Génie industriel**

**Contribution à l'amélioration de la traçabilité des chaînes
de valeur pour un développement durable de l'industrie de la mode**

THÈSE dirigée par :

[Professeur LAMOURI Samir]

et co-encadrée par :

[Professeure LEMIEUX Andrée-Anne]

Jury

Mme Valérie BOTTA-GENOULAZ, Professeure, INSA Lyon	Présidente
M. Samir LAMOURI, Professeur, Arts et Métiers	Examinateur
M. Marc LASSAGNE, Maître de Conférences, Arts et Métiers	Examinateur
Mme Andrée-Anne LEMIEUX, Professeure, IFM	Examinatrice
M. Pascal MORAND, Docteur d'Etat, FHCM	Examinateur
M. Gilles PACHE, Professeur, AMU	Rapporteur
Mme Karine SAMUEL, Professeure, Grenoble INP	Examinatrice
Mme Evren SAHIN, Professeure, CentraleSupélec	Rapporteure

**A Martin et à mes proches pour leur accompagnement et leur soutien
inconditionnels tout au long de cette aventure de la thèse.**

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier les membres de mon jury de thèse pour l'intérêt qu'ils ont porté à celle-ci en acceptant de l'évaluer.

Je tiens ensuite à remercier chaleureusement mes directeurs de thèse, Samir LAMOURI et Andrée-Anne LEMIEUX, pour la confiance qu'ils m'ont accordée en acceptant de la diriger, et ainsi, pour cette opportunité qu'ils m'ont donnée de pouvoir découvrir la recherche. Aussi, je tiens tout particulièrement à les remercier pour leurs conseils, leur patience, leurs encouragements sans relâche durant ces trois dernières années et à tous les niveaux, qui m'ont permis de progresser sur le plan scientifique et plus largement professionnel et personnel.

Je tiens également à remercier notre partenaire, la Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM), et ainsi Pascal MORAND, Frédéric GALINIER et Léonore GARNIER, pour avoir accepté de soutenir ce projet qui me tenait à cœur et qui se voulait également ambitieux du fait de son caractère collectif profondément innovant. A cet égard, je souhaite les remercier pour la grande liberté accordée et encouragée dans la conduite de cette thèse, qui a ainsi permis d'explorer pleinement les différentes problématiques identifiées et les contributions associées.

Je souhaiterais aussi exprimer ma grande reconnaissance envers les porteurs des différents projets expérimentaux, auxquels j'ai eu la chance de pouvoir participer, et l'ensemble de leurs participants, qui ne seront pas mentionnés ici pour des raisons de confidentialité mais qui se reconnaîtront. Je les remercie sincèrement de m'avoir permis d'être pleinement impliquée dans ces initiatives collectives et d'avoir pu y mener mes recherches. Les retours d'expérience, les discussions et réflexions, ainsi que les moments conviviaux et de partage au cours de ces projets ont rendu cette thèse possible et extrêmement enrichissante.

Je tiens plus largement à remercier l'ensemble des personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail. Je remercie ainsi Marc LASSAGNE pour son aide et ses nombreuses relectures dans le cadre de l'élaboration et de la publication du deuxième article de recherche. Je pense aussi particulièrement à toutes les personnes avec qui j'ai pu échanger tout au long de cette thèse à travers les entretiens menés. Leur intérêt pour ces travaux ainsi que le partage de leur expertise et de leurs expériences sur ce sujet complexe, avec beaucoup de transparence et de bienveillance, ont été extrêmement bénéfiques pour faire avancer mes idées et mes recherches.

Enfin, j'ai une pensée toute particulière pour mon compagnon de vie Martin, mes proches et mes amis, et plus particulièrement ma chère amie Juliette, pour leur intérêt constant pour cette thèse, leur enthousiasme dans les instants de réussite et de joie, mais également leur écoute et leur soutien incomparables dans les moments difficiles, m'ayant permis de surmonter les obstacles rencontrés et d'aller au bout de ce défi de longue haleine qu'est la thèse.

Résumé

La traçabilité tout au long des chaînes de valeur a été identifiée comme un prérequis indispensable pour la transition vers un développement durable. Elle connaît ainsi une préoccupation croissante dans l'industrie de la mode et a été reconnue comme une priorité critique à cet égard. En effet, les impacts environnementaux et socio-économiques significatifs résultant de la surproduction et de la consommation de l'industrie et de ses chaînes d'approvisionnement mondialisées, fragmentées et opaques, ont progressivement été mis en lumière ces dernières années. La pression s'est accrue à l'égard des marques de mode pour plus de responsabilité et de transparence et l'industrie a été identifiée comme un secteur prioritaire dans cette transition. Héritée du management de la qualité et de la sécurité, la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable s'avère cependant complexe et difficile à appréhender dans l'industrie au regard de l'ampleur de ses implications. Bien que son rôle clé soit reconnu, sa mise en œuvre soulève également d'importants défis techniques et organisationnels. Face à ces enjeux, une recherche-action a été menée au sein de la Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM) et notamment à travers l'implication dans plusieurs projets collectifs expérimentaux visant à améliorer et accélérer la mise en œuvre de la traçabilité dans l'industrie. Cette recherche a ainsi permis de répondre à plusieurs problèmes identifiés au fur et à mesure du projet pour l'amélioration de la traçabilité : quelles sont les problématiques de traçabilité au regard des enjeux de développement durable de l'industrie de la mode ? Comment appréhender sa mise en œuvre de façon holistique ? Comment les marques peuvent-elles définir une feuille de route en soutien de leurs objectifs stratégiques de développement durable, tout en prenant en compte la maturité de leur entreprise sur ces enjeux ? Cette recherche-action a dans un premier temps conduit à une étude des enjeux de traçabilité dans l'industrie, et plus particulièrement une étude Delphi-Régnier sur les freins au développement du recyclage textile ayant permis de mettre en lumière d'importants enjeux de traçabilité des produits en fin de vie. Au regard du constat de la nécessité d'appréhender la mise en œuvre de la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur et de sa nature multidimensionnelle, un cadre d'analyse a été développé à partir d'une revue systématique de la littérature. Dans la continuité de ces travaux et au regard des défis importants soulevés par la mise en œuvre de la traçabilité, une architecture de modèle de maturité a été développée pour permettre aux marques d'identifier et de prioriser les actions à mettre en place, pour améliorer la traçabilité de leurs chaînes de valeur en soutien d'une stratégie de développement durable. Ces travaux peuvent aider les praticiens dans la compréhension des enjeux de traçabilité et soutenir la définition d'actions et la prise de décisions. Ils contribuent également à la progression de la recherche sur la mise en œuvre de la traçabilité dans les secteurs industriels et des défis associés en réponse aux enjeux de développement durable.

Mots-clés : traçabilité ; chaîne de valeur ; développement durable ; industrie de la mode

Abstract

Improving traceability along value chains has been identified as an essential prerequisite for the transition of industrial sectors towards sustainable development. As such, it has gained attention and has been recently recognized as a critical priority in the fashion industry. Indeed, the significant environmental and socio-economic impacts resulting from overproduction and consumption in the industry, and its global, fragmented, and opaque supply networks have progressively come to light in recent years. Pressure on fashion brands has increased towards more accountability and transparency. The industry has been recognized as a priority sector in this transition towards sustainable development and is ever more targeted with increasing traceability requirements in announced forthcoming policies. Indeed, by allowing to identify and measure impacts, traceability is a necessary prerequisite for the implementation of effective strategies to reduce and improve these impacts. More recently, it has also been recognized as a key lever for improving circularity in the industry. Inherited from the quality management field, improving traceability as part of sustainable development transition appears complex and difficult to apprehend in the fashion industry, given the magnitude of traceability implications. Although its key role is recognized, enhancing traceability also raises significant technical and organizational challenges. Faced with these challenges, an action-research was carried out within the Fédération de la Haute Couture et de la Mode (and in particular through the active involvement in several experimental collective projects aiming at improving and accelerating traceability implementation in the fashion industry. This research-action made it possible to answer several problems identified throughout the project in this regard : what are the challenges of traceability in this transition towards sustainable development in the industry ? How to apprehend its implementation holistically ? How can brands define an integrative and progressive roadmap in support of their strategic sustainability goals, while considering the maturity of their business on these issues ? This research-action first led to a study of traceability challenges in the fashion industry and especially the implementation of a Delphi-Régnier study on the barriers to the development of textile recycling, which made it possible to highlight important traceability issues at the end-of-life of products. In view of the conclusion to the need to apprehend traceability implementation across the entire value chain and its multidimensional nature, an analytical framework was developed based on a systematic review of the literature. As a continuation of these contributions and in view of the significant challenges raised by the traceability implementation, a first version of a self-assessment tool was developed for brands to facilitate the identification and the prioritization of actions to be implemented to improve traceability along their value chains in support of a sustainable development strategy. This research-action can help practitioners understand the challenges of traceability and support the definition of actions and decision-making. They also contribute to the progress of research on the implementation of traceability in industrial sectors and the associated challenges in response to sustainable development issues.

Keywords: traceability; value chain ; sustainable development ; fashion industry

Table des matières

Remerciements	5
Résumé	7
Abstract	8
Listes des tableaux et figures	16
• Liste des tableaux	16
• Liste des figures	16
Introduction	18
Chapitre 1. Démarche et objectifs de recherche	20
1.1. Contexte et objectifs initiaux de ce projet de recherche-action	21
1.1.1. Contexte initial de recherche	21
1.1.1.1. Une industrie de la mode mondialisée, fragmentée et opaque	21
1.1.1.2. Des impacts environnementaux et sociaux significatifs.....	22
1.1.1.3. Une pression croissante à l'égard des marques de mode.....	23
1.1.1.4. La traçabilité identifiée comme une priorité critique	25
1.1.1.5. De multiples défis techniques et organisationnels	25
1.1.1.6. Une recherche scientifique embryonnaire	27
1.1.2. Objectifs initiaux de recherche	27
1.1.3. Recours à une démarche de recherche-action	28
1.1.3.1. Présentation de la démarche de recherche-action	29
1.1.3.2. Principales caractéristiques de la recherche-action	29
1.1.3.3. Processus cyclique et évolutif nécessaire de la recherche-action.....	31
1.1.3.4. Critères essentiels de qualité de la recherche-action	33
1.1.3.5. Pertinence du recours à une démarche de recherche-action	34

1.2. Démarche générale suivie de recherche-action	35
1.2.1. Étapes initiales de recherche formalisées.....	35
1.2.2. Différents terrains de la recherche-action.....	36
1.2.2.1. Participation à des projets collectifs d'expérimentation de solutions technologiques	36
1.2.2.2. Autres terrains concomitants de recherche	39
1.2.2.3. Interactions avec l'écosystème industriel	41
1.2.3. Étapes et contributions de recherche-action de la thèse.....	43
1.2.3.1. Étape 1 : étude des enjeux de traçabilité dans le contexte du développement durable et de l'industrie de la mode	45
1.2.3.2. Étape 2 : développement d'un cadre d'analyse de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables	46
1.2.3.3. Étape 3 : élaboration d'une architecture de modèle de maturité pour soutenir la mise œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables	48
 Chapitre 2. Appréhender la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur : étude Delphi-Régnier sur les défis du recyclage textile.....	52
2.1. Résumé de l'article.....	53
2.2. A Delphi-Régnier study addressing the challenges of textile recycling in Europe for the fashion and apparel industry (article n°1)	54
2.2.1. Introduction.....	54
2.2.2. Literature review.....	56
2.2.2.1. Complexity of textile recycling value chain	60
2.2.2.2. Technological barriers of textile recycling	60
2.2.2.3. Systemic challenges to enhance textile recycling.....	61
2.2.3. Research method.....	62
2.2.3.1. Delphi method and Regnier's abacus technique	63
2.2.3.2. Implementation of the Delphi-Régnier study.....	64
2.2.4. Findings and discussion.....	68
2.2.4.1. Product and material Input.....	68

Lack of eco-design practices	68
Presence of chemical substances	69
2.2.4.2. Information	69
Lack of information on materials content	69
2.2.5.3. Technologies	69
Importance of technologies supporting identification	69
Need for an eased disassembling process	70
Lack of scale-up innovative recycling technologies	70
2.2.4.4. Markets.....	70
Insufficient competitiveness of recycled content	70
Lack of investments and long-term commitment	71
Need for policies to increase market opportunities.....	71
2.2.4.5. Coordination.....	71
Lack of standards on textile recycling	71
Lack of sector-coordinated vision	71
Deficient collective governance	71
2.2.5. Limitations and research perspectives.....	72
2.2.5.1. Limitations.....	72
2.2.5.2. Research perspectives	72
2.2.6. Conclusion.....	73
References	81
Chapitre 3. Cadre d'analyse de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie de la mode.....	86
3.1. Résumé de l'article.....	87
3.2. Apprehending traceability implementation in support of sustainable value chains: a novel analysis framework for the fashion industry (article n°2)	88
3.2.1. Introduction.....	88

3.2.2. Theoretical background.....	90
3.2.3. Research method.....	92
3.2.3.1. Planning the review.....	94
3.2.3.2. Performing the review	94
3.2.3.3. Analyzing the literature.....	96
3.2.4. Analysis framework.....	96
3.2.4.1. Objectives	98
3.2.4.2. Scope	98
3.2.4.3. Action levers	99
3.2.5. Findings.....	99
3.2.5.1. Objectives	99
3.2.5.2. Value chain scope.....	103
3.2.5.3. Action levers	104
3.2.6. Discussion.....	108
3.2.7. Conclusion and perspectives.....	109
References	110
Chapitre 4. Architecture de modèle de maturité pour guider les marques dans la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables.....	114
4.1. Résumé de l'article.....	115
4.2. A novel maturity model architecture to support fashion brands in traceability implementation towards sustainable value chains (article n°3)	116
4.2.1. Introduction	116
4.2.2. Research background.....	117
4.2.2.1. An action-research to explore traceability implementation for a sustainable development of the fashion industry	118
4.2.2.2. A challenging management of traceability implementation towards sustainable value chains	120

4.2.2.3. Relevance of the maturity model research field.....	121
4.2.2.4. Current gap and limitations in existing maturity models.....	123
4.2.3. Research method.....	128
4.2.3.1. Definition of problem and its relevance.....	128
4.2.3.2. Review of existing maturity models and assessment tools.....	128
4.2.3.3. Determination of the design strategy.....	129
4.2.3.4. Action-research based development of the maturity model.....	130
4.2.4. Maturity model.....	135
4.2.4.1. Module n°1 : corporate management of sustainability & traceability implementation.....	135
Transition policy, strategy, and roadmap.....	136
Organization and governance.....	138
Technology architecture and data management.....	140
4.2.4.2. Module n°2 : supply chain traceability towards production impacts reduction and improvement.....	140
Standards and policies.....	140
Supply chain management.....	141
Data and technologies.....	142
Operations and processes.....	143
Organization and governance.....	144
4.2.4.3. Module n°3 : digital product traceability towards enhanced information access and circularity.....	144
Standards and policies.....	145
Stakeholder management.....	145
Operations and processes.....	145
Data and technologies.....	146
4.2.5. Limitations and perspectives.....	148
4.2.6. Conclusion.....	148
References	149

Chapitre 5. Limites & perspectives des recherches	154
5.1. Principales limites des recherches menées.....	155
5.1.1. Limite inhérente au sujet étudié : de nécessaires actions concurrentes à la traçabilité pour un développement durable de l'industrie.....	155
5.1.2. Limites des recherches menées : le phénomène émergent et multidimensionnel de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables	156
5.1.2.1. Un approfondissement essentiel des enjeux de traçabilité	156
5.1.2.2. Des expérimentations complémentaires opportunes du cadre d'analyse	157
5.1.2.3. De nécessaires développements et tests du modèle de maturité	157
5.2. Mise en évidence d'importantes perspectives pratiques et scientifiques.....	158
5.2.1. Expérimentation du cadre d'analyse pour une compréhension claire et partagée de la traçabilité et sa mise en oeuvre tout au long de la chaîne de valeur	158
5.2.2. Définition et formalisation d'une feuille de route commune de transition de développement durable de l'industrie et de la traçabilité des chaînes de valeur.....	159
5.2.3. Développement de standards pour une amélioration uniforme et effective de la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable dans l'industrie.....	159
5.2.4. Formalisation de l'identification des outils, méthodes et solutions pour l'amélioration de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur	159
5.2.5. Réflexion sur la structuration des échanges de données dans l'industrie pour la mise en place d'un écosystème viable de traçabilité	160
5.2.6. Poursuite d'expérimentations collectives, centralisation des retours d'expérience et des bonnes pratiques pour l'amélioration de la traçabilité	160
5.2.7. Finalisation du modèle de maturité et extension à la mise en oeuvre plus largement d'une transition de développement durable	161
Conclusion.....	163
Publications scientifiques.....	164
Références.....	165

Listes des tableaux et figures

- **Liste des tableaux**

Tableau 1. Reported challenges with occurrences in the academic literature

Tableau 2. Steps involved in the implementation of the Delphi-Régnier study

Tableau 3. Panel of the 28 experts established following the selection process

Tableau 4. Breakdown of references per journal

Tableau 5. Overview of maturity models identified and analysed from the scientific literature

- **Liste des figures**

Figure 1. Principales étapes de la chaîne de valeur dans l'industrie

Figure 2. Cycle de mise en œuvre du processus de recherche-action

Figure 3. Présentation du terrain de la recherche-action de la thèse

Figure 4. Étapes de recherche-action de la thèse (2021-2023)

Figure 5. Flowchart of the systematic literature review

Figure 6. Overview of the ColorInsight website used to submit the questionnaires to the experts

Figure 7. First questionnaire statements with their vote's distribution

Figure 8. Second questionnaire statements with their vote's distribution

Figure 9. Items matrix of the first questionnaire (first round)

Figure 10. Items matrix of the second questionnaire (second round)

Figure 11. Flowchart of the proceeded research steps

Figure 12. Breakdown of references per type of sources

Figure 13. Breakdown of references per year

Figure 14. Analysis framework to apprehend traceability implementation in support of sustainable value chains in the fashion sector

Figure 15. "Objectives" dimension of the analysis framework

Figure 16. "*Value chain scope*" dimension of the analysis framework

Figure 17. "*Action Levers*" dimension of the analysis framework

Figure 18. Traceability collective experimental projects of this action-research project field

Figure 19. Research method for the conception & development of the maturity model architecture

Figure 20. Overview of the developed maturity model architecture

Introduction

La présente thèse a été menée dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE) avec pour partenaire industriel la Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM) basée à Paris au sein de laquelle celle-ci a été initiée janvier 2021 et s'est achevée en juillet 2023. La FHCM est à la fois une organisation professionnelle assurant ainsi de façon continue un service à ses membres, et une organisation événementielle avec la coordination de la Paris Fashion Week® et de la Haute Couture Week qu'elle assure. Il s'agit d'une organisation sélective qui réunit plus d'une centaine de maisons de création françaises et internationales, les plus emblématiques et sélectionnées pour leur créativité et leur savoir-faire unique et innovant. En vue d'accompagner et représenter ses membres sur les enjeux actuels de développement durable, la FHCM a initié et mène diverses actions en la matière, et principalement, pour contribuer à l'élaboration et la mise en œuvre de synergies à cet égard à travers des initiatives, méthodes, standards et outils communs, pour participer aux projets législatifs et réglementaires et plus largement collaboratifs dans l'industrie aux niveaux français et européens, pour contribuer au développement de l'expertise avec la mise en place de formations, ainsi que pour assurer une veille permanente et soutenir une réflexion continue sur ces sujets. À cet égard, la FHCM a par exemple développé deux outils pour accompagner ses membres dans l'écoconception des événements de mode ainsi que des collections. Elle a pris part aux discussions aux discussions et aux expérimentations résultant des lois Anti-Gaspillage et Économie Circulaire (AGEC) et Climat et Résilience, et à ce titre, a développé et proposé une méthode d'évaluation et d'affichage de la performance environnementale et sociale des produits du secteur dans le cadre des développements en cours pour l'introduction d'un affichage environnemental obligatoire des produits textiles (ADEME, 2023). Elle a également intégré le secrétariat technique des travaux au niveau européen ayant pour même ambition l'élaboration d'un référentiel sectoriel commun de mesure de la performance environnementale des produits d'habillement et chaussures (PEF Apparel & Footwear, 2023). Aussi, ces diverses activités sont notamment menées dans le cadre d'une Commission Innovation & Développement Durable (IDD) qui fait office, à ce titre, d'instance d'échange et de réflexion entre ses membres et se réunissant régulièrement à cette fin.

Au regard de la reconnaissance du rôle clé de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement pour un développement durable de l'industrie, des difficultés significatives rencontrées par les entreprises compte tenu de leur complexité et du développement de multiples solutions technologiques, ainsi que de la mise place d'un projet expérimental dédié dans l'industrie en France, la FHCM y a vu une opportunité pertinente d'y mener une recherche scientifique. Cette thèse avait ainsi pour ambition initiale de mieux comprendre les défis d'une telle mise en œuvre de la traçabilité et de proposer des solutions concurrentes pour les praticiens pour son amélioration ainsi que la progression de la recherche émergente et embryonnaire sur ces enjeux.

Dès lors, elle a reposé sur une démarche de recherche-action qui a tenté de répondre, au fur et à mesure des problèmes identifiés sur le terrain à cette fin, aux questions suivantes : quels sont les enjeux de traçabilité pour un développement durable de l'industrie de la mode ? Compte tenu du caractère multidimensionnel de la traçabilité pour un développement durable de l'industrie de la mode et de sa nécessaire appréhension au regard de l'ensemble de la chaîne de valeur, comment est-il possible d'avoir une vision holistique de sa mise en œuvre ? Compte tenu des multiples leviers d'amélioration impliqués dans une telle mise en œuvre de la traçabilité des chaînes de valeur ainsi que des défis significatifs soulevés, comment les marques de mode peuvent-elles définir une feuille de route progressive et adaptée, tout en prenant en compte la maturité de leur entreprise sur ces enjeux, en soutien d'objectifs de développement durable ?

Ces principales problématiques identifiées sur le terrain et les questions de recherche ont alors impliqué trois principales étapes de recherche-action qui ont été menées sur chacune des années de la thèse et qui ont donné lieu à des articles scientifiques, présentés successivement dans les différents chapitres de ce manuscrit structuré comme suit :

- Le [chapitre 1](#) retrace la démarche et les objectifs de recherche poursuivis dans le cadre de cette thèse. Dès lors, le contexte et les objectifs initiaux de recherche sont tout d'abord présentés et le choix de recourir à la démarche scientifique de recherche-action est explicité en conséquence, au regard des caractéristiques de cette approche de recherche ainsi que du contexte et des objectifs de ce projet. Les étapes initiales de la thèse qui avaient été formalisées sont ensuite rappelées et les différents terrains de recherche qui ont alimenté ces travaux menés au sein de la FHCM sont présentés. Enfin, les étapes suivies au fur et à mesure de la conduite progressive de cette recherche-action sont expliquées. En effet, à partir d'un dialogue constant entre la littérature et les enseignements générés sur le terrain, cette recherche-action a abouti à une redéfinition progressive des problèmes identifiés et par conséquent des recherches menées. Ce chapitre 1 vise ainsi à donner vision d'ensemble de l'évolution de cette thèse, du projet de recherche initial aux étapes de la recherche-action menée, permettant ainsi de faire le lien entre les chapitres de ce manuscrit et les publications scientifiques correspondantes.
- Le [chapitre 2](#) porte sur la première étape de recherche de cette thèse réalisée au cours de la première année (2021) et qui a consisté en l'appréhension approfondie du contexte et des enjeux de traçabilité au regard d'un développement durable de l'industrie de la mode. Il présente ainsi un article de recherche publié sur une étude spécifique Delphi-Régnier qui a été réalisée sur les enjeux du développement du recyclage textile en Europe, et qui a mis explicitement en évidence la nécessité d'appréhender la mise en œuvre de la traçabilité au regard de l'ensemble de la chaîne de valeur.
- Le [chapitre 3](#) porte sur la deuxième étape de recherche (2022) qui a été menée à la suite du constat tiré de la précédente et qui a abouti au développement d'un cadre d'analyse dédié à partir d'une revue systématique de la littérature scientifique et professionnelle, reprenant ainsi l'article dédié.
- Le [chapitre 4](#) porte sur la dernière étape de recherche (2023) et l'article correspondant qui a consisté, au regard de l'émergence d'une telle traçabilité et des enjeux de transformation soulevés par son amélioration, à l'élaboration d'une architecture de modèle de maturité. Ce modèle vise à soutenir les marques de mode dans la gestion systémique de l'extension de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables, en leur permettant notamment d'évaluer le positionnement de leur entreprise et le contexte dans lequel elles opèrent au regard des capacités, exigences et facteurs clés de succès à cette fin, d'identifier ainsi des étapes préalables à mettre en place, et de faciliter la définition d'une stratégie et d'une feuille de route progressive et holistique prenant en compte en conséquence ces éléments et le niveau d'avancement sur des enjeux.
- Le [chapitre 5](#) donne lieu à une discussion générale sur les principales limites et perspectives pratiques et scientifiques.

Enfin, la conclusion clôture ce manuscrit sur les principales contributions de cette thèse ainsi que les perspectives de recherche dans son prolongement.

Chapitre 1

Démarche et objectifs de recherche

Cette thèse avait pour objectif d'étudier la traçabilité des chaînes d'approvisionnement et ses défis, en réponse aux enjeux de développement durable dans l'industrie de la mode, et de proposer des solutions pour son amélioration, au regard de la pression croissante et des difficultés de sa mise en œuvre face à la complexité et l'opacité des réseaux de production. Au regard de ces enjeux et en l'absence de recherche dédiée, l'ambition initiale était d'élaborer une méthodologie d'évaluation et d'implémentation, à destination des marques de mode, pour la traçabilité totale de leurs chaînes d'approvisionnement, en facilitant la définition et le déploiement d'un plan d'intervention progressif, considérant la maturité de l'entreprise sur ces enjeux et ses spécificités susceptibles d'influencer son amélioration. Dès lors, cette thèse visait à un problème concret rencontré par les entreprises. Le projet reposait également sur une forte logique collaborative, étant le fruit d'une réflexion conjointe avec la FHCM, et ayant pour objectif d'être mené de façon concurrente à la participation à des pilotes de solutions technologiques initiés en France dans le cadre d'un projet national visant à accompagner et accélérer l'amélioration de la traçabilité dans l'industrie. Dès lors, une démarche de recherche-action a été adoptée dans le cadre de cette thèse, qui ont finalement reposé sur l'implication du chercheur dans trois projets collectifs expérimentaux de solutions technologiques pour l'extension de la traçabilité dans les chaînes d'approvisionnement dans l'industrie. Néanmoins, ces recherches ont également été alimentées par d'autres projets menés au sein de la FHCM et au-delà en lien avec la traçabilité, ainsi que par de nombreux échanges et interactions quotidiennes plus largement avec l'écosystème tout au long de la thèse. Dès lors, à partir d'une démarche progressive et d'un dialogue constant entre la littérature et la pratique, cette recherche-action a abouti à une redéfinition des problèmes et objectifs de recherche, et des contributions associées en conséquence, en reposant autant que possible sur une démarche consciente et structurée. Ce chapitre vise alors à donner une vision d'ensemble et claire de l'évolution de cette thèse, du projet initial formalisé, aux différentes étapes de recherche-action et des publications associées, afin de faire le lien entre celles-ci et les chapitres correspondants. À ce titre, la première section (1.1.) présente ainsi le contexte et les objectifs initiaux de recherche, ainsi que le choix de recourir à la recherche-action, au regard de ceux-ci et des caractéristiques de cette approche. La seconde section (1.2.) revient sur les étapes de recherche qui avaient été initialement formalisées et présente en détail le terrain particulier de cette recherche-action menée au sein de la FHCM, notamment les différents projets dans lesquels le chercheur a été impliqué. Enfin, elle explique en détail la démarche progressive suivie, avec ses différentes étapes au fur et à mesure de la précision des problèmes identifiés, ayant conduit à diverses recherches et publications scientifiques, correspondant aux chapitres successifs de ce manuscrit.

1.1. Contexte et objectifs initiaux de ce projet de recherche-action

Cette première section revient sur le contexte initial de ce projet de recherche (1.1.1) et les objectifs préliminaires qui avaient été identifiés (1.1.2). Compte tenu de l'ambition du projet visant à répondre à un problème concret rencontré par les marques de mode et à contribuer à l'amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement dans l'industrie, tout en s'appuyant sur une démarche collaborative, la recherche-action est apparue comme l'approche la plus appropriée pour mener à bien ce projet. Les caractéristiques de la recherche-action sont ainsi expliquées et la pertinence de recourir à cette approche est alors justifiée, par rapport aux spécificités de cette démarche ainsi qu'aux contexte et objectifs poursuivis par ce projet de recherche (1.1.3).

1.1.1. Contexte initial de recherche

Le contexte initial était donc celui, à la suite des transformations structurelles ces dernières années ayant conduit à une mondialisation, fragmentation et opacité de l'industrie de la mode (1.1.1.1), d'une mise en lumière croissante des impacts environnementaux et socio-économiques ayant résulté de ces évolutions (1.1.1.2). L'ampleur de ces conséquences liées à l'augmentation et l'accélération de la production et consommation a conduit à une pression accrue à l'égard des marques pour plus de responsabilité et de transparence quant à ces impacts, et notamment des pouvoirs publics (1.1.1.3). Dès lors, au regard de l'étendue et la multiplicité des impacts dans les chaînes d'approvisionnement, l'amélioration de la traçabilité des conditions de production tout au long de celles-ci a été identifiée parmi les priorités critiques pour un développement durable de l'industrie (1.1.1.4). Pour autant, sa mise en oeuvre soulevait des défis considérables, notamment du fait de la complexité et de l'opacité de ces réseaux de production désormais mondiaux (1.1.1.5). En dépit de ce contexte, la recherche était émergente et n'apportait pas de solutions quant à cette problématique de l'extension de la traçabilité dans les chaînes d'approvisionnement, malgré le constat réitéré de ses nombreuses et considérables implications technologiques et organisationnelles (1.1.1.6). Dès lors, la problématique générale était donc celle de comment les marques peuvent améliorer leur traçabilité, en soutien d'objectifs de développement durable, de façon progressive et adaptée à la maturité de leur entreprise et de leurs chaînes d'approvisionnement sur ces enjeux, ainsi qu'en prenant en compte les spécificités susceptibles d'impacter la mise en oeuvre. Dans ce contexte, la conduite d'un projet de recherche dans cette industrie de la mode, représentant un terrain de recherche pertinent à étudier au regard de ces enjeux, était l'opportunité d'apporter des réponses et des solutions à cette problématique pour les professionnels, tout en faisant progresser la recherche sur celle-ci.

1.1.1.1. Une industrie de la mode mondialisée, fragmentée et opaque

Bien que difficile à délimiter, l'industrie de la mode est entendue dans cette thèse dans un sens large comme « *l'ensemble des activités ayant en commun la parure de la personne et comprenant la fabrication de vêtements, d'articles de maroquinerie, de chaussures ou encore de bijoux* » (Jacomet et Minvielle, 2012).

Dès lors, elle recouvre diverses catégories de produits, bien qu'elle soit systématiquement assimilée à l'industrie textile d'habillement et de la chaussure. Aussi, elle implique divers acteurs tout au long de la chaîne de valeur (Figure 1) et notamment des marques et distributeurs de différents niveaux de gamme et positionnements de marché. Dans le cadre de la production, elle recourt également à de nombreux secteurs industriels pour la fabrication des différents composants et la confection des produits, tels que l'industrie textile ou encore du cuir, mais également en amont, pour l'agriculture, l'extraction ou encore l'élevage des matières premières utilisées (Niinimäki et al., 2020).

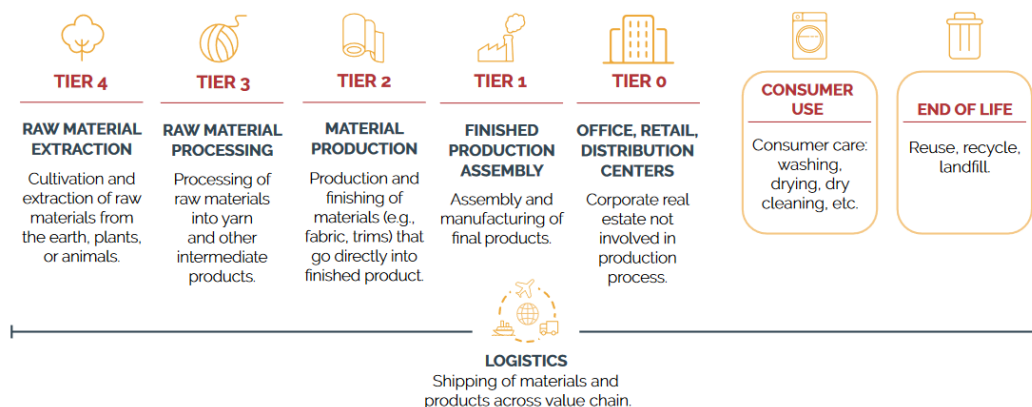


Figure 1. Principales étapes de la chaîne de valeur dans l'industrie (Sadowski et al., 2019).

Ces dernières décennies, l'industrie a connu une croissance importante sous l'effet de profondes transformations structurelles, notamment dans le système de distribution et par la libéralisation des échanges et la mondialisation (Richero & Ferrigno, 2016). Les marques de mode ont émergé et se sont concentrées sur les activités de design, marketing et de distribution avec ainsi un accès direct aux consommateurs. Elles sont restées localisées dans les pays développés, principaux marchés de consommation. En parallèle, la production a progressivement été externalisée et délocalisée vers des pays aux plus faibles coûts de main-d'œuvre, et notamment principalement en Asie (Notten, 2020) avec la levée des quotas internationaux (Richero & Ferrigno, 2016 ; Gereffi & Frederick, 2010). La baisse des coûts et prix de vente et de la qualité des produits, ainsi que l'accélération des tendances de mode et des rythmes de collection (Morlet et al., 2017), qui ont résulté de ces évolutions sous l'effet conjugué également d'autres facteurs, ont entraîné une augmentation et accélération de la production et de la consommation dans l'industrie (Richero & Ferrigno, 2016). Ces transformations se sont traduites par l'émergence du phénomène dit de la « *fast fashion* », avec le développement d'enseignes reposant sur des modèles économiques consistant à offrir aux consommateurs des nouveautés fréquentes, sous la forme de produits à bas prix et à la pointe de la tendance, grâce à des chaînes d'approvisionnement agiles permettant la mise sur le marché rapide et plus fréquente de nouveautés (Anguelov, 2015).

En conséquence, la fréquence d'achat des produits de mode s'est accentuée dans les pays développés, principaux marchés de consommation, mais cette augmentation et accélération se poursuit avec la mondialisation de la demande, du fait du développement des classes moyennes dans les pays en émergence (Niinimäki et al., 2020 ; Morlet et al., 2017 ; Remy et al. 2016 ; Richero & Ferrigno, 2016).

1.1.1.2. Des impacts environnementaux et sociaux significatifs

Sous l'effet de ces transformations, l'industrie s'est ainsi profondément mondialisée. Elle représente désormais un poids indéniable dans l'économie mondiale. Le marché de la mode serait de plusieurs billions de dollars (Ley et al., 2021) et la production est estimée avoir doublé ces quinze dernières années, atteignant 100 milliards de vêtements produits chaque année (UN, 2018 ; BCG & GFA, 2017). L'industrie emploierait plus de 60 millions de personnes dans le monde et principalement des femmes constituant la majorité de la main-d'œuvre dans la production (BCG & GFA, 2017). Son poids est également significatif dans de nombreux pays aux économies émergentes, où l'industrie représente le principal débouché final des exportations de production (Sadowski et al., 2019). Néanmoins, cette

augmentation et accélération de la production et consommation a entraîné des conséquences environnementales et sociales considérables, qui ont progressivement été mises en lumière à travers de nombreux rapports et investigations ces dernières années. Ces impacts sont également la résultante de ces chaînes d'approvisionnement désormais opaques et fragmentées dans l'industrie, qui rendent leur identification et leur maîtrise extrêmement complexe (UNECE, 2020).

Sur le plan social, l'industrie est responsable de la persistance de faibles et dangereuses conditions de travail, ainsi que de pratiques abusives dans les pays de production aux réglementations souvent plus faibles (Notten et al., 2020). Ces préoccupations sont toutefois de longue date (Khurana & Ricchetti, 2016 ; Richero & Ferrigno, 2016). En effet, dès les années 90, des campagnes ont commencé à alerter sur les conditions de travail dans les chaînes d'approvisionnement, à la suite de ces externalisations et délocalisations massives dans l'industrie. Plus particulièrement, Nike avait par exemple fait l'objet d'un scandale retentissant, à la suite de la dénonciation de conditions de travail déplorables et du recours au travail d'enfants dans des usines de production sous-traitantes (Wazir, 2001 ; Cushman, 1998). Par la suite, en avril 2013, le tragique effondrement de l'usine de confection du Rana Plaza à Dhaka au Bangladesh, qui a tué plus de 1128 travailleurs et fait plus de 2500 blessés (Notten, 2020), a marqué un tournant important dans la mise en lumière des conséquences sociales de l'industrie. Ce drame a également contribué à mettre en évidence cette incroyable opacité des chaînes de production, et l'absence de traçabilité en résultant, notamment du fait de l'importante sous-traitance qui y prend place face à l'accroissement du rythme des collections et des faibles délais de production (BoF, 2018). Depuis, de nombreuses investigations ont continué d'alerter sur la persistance des faibles conditions de travail dans l'industrie (Clean Clothes Campaign, 2022 ; Kashyap, 2019 ; ILO, 2014) allant jusqu'à des violations des droits de l'homme et du recours au travail forcé, comme le témoigne le récent exemple de la crise des Ouïghours (Murphy et al., 2021 ; Notten, 2020).

Sur le plan écologique, de nombreuses études ont également progressivement mis en évidence l'ampleur des impacts environnementaux résultants de cette augmentation et accélération de la production et consommation, ainsi que de cette mondialisation (Niinimäki et al., 2020). Au regard du changement climatique, la responsabilité du secteur a été estimée jusqu'à 10 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) chaque année (Berg et al., 2020 ; Chrobot et al., 2018 ; UN, 2018 ; Morlet et al., 2017). Bien que ces études reposent sur des périmètres, des méthodologies d'évaluation et hypothèses variables (Niinimäki et al., 2020), il en ressort toutefois, dans l'ensemble, que les étapes de production et des matières premières représentent la majorité de ces impacts (Sadowski et al., 2019). L'industrie est également responsable de nombreux autres impacts environnementaux, notamment sur les ressources en eau et leur pollution ou encore à travers l'utilisation des sols et les impacts sur la biodiversité et la qualité des écosystèmes (Niinimäki et al., 2020 ; Notten, 2020).

1.1.1.3. Une pression croissante à l'égard des marques de mode

Ces évolutions ont entraîné une pression croissante à l'égard des marques de mode pour plus de responsabilité et de transparence quant à ces impacts (UNECE, 2020 ; UN, 2018 ; Marshall et al., 2016). Tout d'abord, elle s'est traduite par une accélération de la fréquence des campagnes et scandales de la société civile et des médias à l'égard de l'industrie. À ce titre, de nombreuses initiatives de notation se sont par exemple développées pour inciter les marques à la prise d'actions et à plus de transparence. Ces initiatives consistent à attribuer chaque année aux marques, un score au regard du niveau d'informations communiquées quant à leurs politiques et leurs actions en matière de développement durable et dans leurs chaînes d'approvisionnement, à partir d'un référentiel établi. Il s'agit par exemple du Fashion Transparency Index lancé en 2017, à l'initiative de la fondation Fashion Revolution, qui évalue chaque année les 100 marques de mode générant le plus de chiffres d'affaires (Jestratijevic et al., 2020).

Cette pression accrue a également conduit à une attention accrue des pouvoirs publics à l'égard de l'industrie, qui se traduit par une accélération récente et rapide des réglementations. À cet égard, la loi sur le devoir de vigilance

des sociétés mères et des entreprises donneuses d'ordre adoptées en France le 27 mars 2017 a marqué un premier tournant important, avec l'instauration d'une obligation de vigilance à l'égard des grandes entreprises françaises. Cette loi avait tout particulièrement été plébiscitée et adoptée à la suite du drame du Rana Plaza (Duthilleul & De Jouvenel, 2017). Elle oblige ainsi désormais les grandes sociétés françaises (employant au moins 5 000 salariés en France et celles de de 10 000 salariés dans l'Hexagone ayant leur siège social ailleurs dans le monde) à publier un plan de vigilance afin d'identifier les risques et prévenir les atteintes graves envers les droits humains, les libertés fondamentales, la santé et la sécurité des personnes ainsi que l'environnement, dans toute leur sphère d'influence, les filiales comme les sous-traitants avec lesquels la société entretient « *une relation commerciale établie* » (Duthilleul & De Jouvenel, 2017). Cette loi a également rendu possible l'engagement de la responsabilité de ces entreprises en cas de manquement à ces obligations (Duthilleul & De Jouvenel, 2017).

Depuis l'adoption de cette loi, les projets législatifs et réglementaires se multiplient, et ce de façon rapide. Tout d'abord, de nombreuses réglementations ont été adoptées dans d'autres pays et ont également introduit des obligations de vigilance et de publication d'informations à l'égard des entreprises (UNECE, 2021). Plus récemment en France, l'industrie a officiellement été identifiée comme un secteur prioritaire des pouvoirs publics. À ce titre, une loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC) a été adoptée le 10 février 2020. Celle-ci avait notamment pour ambition d'instaurer une meilleure information des consommateurs, et à ce titre, a introduit une obligation d'information sur les qualités et caractéristiques environnementales (article 13) ainsi qu'un dispositif d'affichage environnemental ou environnemental et social volontaire (article 15). Pour ce dernier, il était alors explicitement mentionné dans la loi que ce dispositif serait prioritairement obligatoire pour le secteur du textile d'habillement dans le cas d'une disposition adoptée par l'Union européenne (UE) poursuivant le même objectif. Au cours des recherches, cette dernière disposition a été reprise et réécrite dans le cadre de la loi Climat & Résilience adoptée le 22 août 2022 prévoyant désormais que ce dispositif d'affichage de l'impact environnemental des produits sera obligatoire prioritairement pour le secteur textile d'habillement. Au niveau européen également, la Commission Européenne (CE) a identifié le secteur textile comme prioritaire dans le cadre de son Plan d'Action pour une Economie Circulaire (CE, 2020) et du Pacte Vert pour l'Europe (CE, 2019). Une stratégie globale de l'Union Européenne (UE) pour les textiles a ainsi été annoncée afin de stimuler le marché européen des textiles durables et l'économie circulaire dans l'industrie (CE, 2020). À cet effet, il était notamment prévu l'introduction de mesures d'écoconception des produits et l'amélioration des informations à destination des consommateurs (CE, 2020). À cet égard, une initiative a également été initiée au niveau européen pour l'encadrement de la mesure de l'impact environnemental des produits et des entreprises, à travers le recours à des méthodes de quantification normalisées. Celui-ci vise à rendre les allégations fiables, comparables ainsi que vérifiables dans toute l'UE afin de lutter contre l'« *écoblanchiment* » (défini comme le fait, pour une entreprise, de donner une impression trompeuse de son impact sur l'environnement) au regard de la multiplicité des initiatives source de confusion pour les consommateurs (CE, 2020). À cette fin, le développement d'une méthodologie a été réalisé depuis 2013, pour la mesure standardisée de l'impact environnemental des produits (Product Environmental Footprint ou PEF) et des organisations dite (Organisation Environmental Footprint ou OEF). Dans la continuité de ces travaux, des initiatives de développement de référentiels sectoriels, sur la base de cette méthodologie PEF, ont été initiées en 2019 et notamment pour le secteur de l'habillement et de la chaussure (PEF Apparel and Footwear, 2019), au sein de laquelle la FHCM est membre votant du Secrétariat Technique (TS).

1.1.1.4. La traçabilité identifiée comme une priorité critique

Dans ce contexte, la traçabilité des chaînes d'approvisionnement a été identifiée comme un prérequis indispensable et une priorité critique pour le développement durable de l'industrie (UNECE, 2020 ; BoF, 2018 ; Fashion Pact, 2019 ; BCG & GFA, 2017). En outre, au regard de l'étendue et de la multiplicité des impacts tout au long des chaînes d'approvisionnement, la traçabilité apparaît comme un prérequis indispensable pour la mise en place d'actions afin de remédier et d'améliorer ces impacts. En effet, en permettant de collecter les données nécessaires tout au long des chaînes d'approvisionnement pour évaluer ces impacts, la traçabilité permet ainsi l'identification des plus significatifs, de prioriser des actions ciblées et leur suivi (UNECE, 2020). Aussi, est également une condition sine qua non pour garantir les allégations portées par la suite en matière de réduction et d'amélioration de ces impacts (UNECE, 2020 ; Norton et al., 2014).

1.1.1.5. De multiples défis techniques et organisationnels

Compte tenu de la complexité et de l'opacité des chaînes d'approvisionnement résultant de leur mondialisation et fragmentation, la traçabilité apparaissait toujours extrêmement limitée (UNECE, 2020 ; BoF, 2018 ; Norton et al., 2014). Pour appuyer ce constat, une étude a été menée en 2018 dans le cadre d'un projet international de grande ampleur initié et mené par la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies (UNECE) visant à améliorer et accélérer le développement durable, la traçabilité et la transparence à cette fin dans l'industrie de l'habillement et de la chaussure. Cette étude menée auprès d'une centaine d'entreprises à l'échelle internationale les a interrogées sur le niveau de connaissance de leurs chaînes d'approvisionnement. Les résultats ont mis en évidence que seulement 34 % des entreprises interrogées ont déclaré avoir mis en place une approche pour l'amélioration de cette traçabilité, et la moitié n'avait une visibilité que jusqu'au rang 2. Bien qu'ils ne soient pas standardisés, les différents « *rangs* » sont évoqués pour représenter les principales étapes de production et refléter le niveau de visibilité sur celles-ci.

- Le "*rang 1*" correspond ainsi communément à l'assemblage du produit fini
- Le "*rang 2*" à la fabrication de sous-composants
- Le "*rang 3*" à la transformation des matières premières
- La "*rang 4*" à la culture, à l'élevage ou à l'extraction des matières premières (UNECE, 2020).

Aussi, parmi les principaux freins remontés par les entreprises dans l'amélioration de la traçabilité, la fragmentation et la complexité de ces réseaux de production ressortent comme les principaux (69 %), suivis des préoccupations importantes des fournisseurs et autres intermédiaires dans les chaînes d'approvisionnement quant à la confidentialité et la sécurité des données (55 %) (UNECE, 2020). En conséquence, la traçabilité apparaissait principalement améliorée dans le cas du recours à des certifications et labels, faisant l'objet d'un développement important dans l'industrie, mais apportant toutefois des garanties partielles, car portant principalement sur les matières premières (UN Global Compact, 2014) avec ainsi des exigences seulement sur certains critères et certaines parties de la chaîne (Kumar et al. 2017 ; Khurana et Ricchetti, 2016).

De plus, face à ces défis, le constat était aussi celui d'un développement important d'offres de solutions technologiques visant ainsi à améliorer la traçabilité dans l'industrie. Plus particulièrement de nombreux offreurs de plateformes digitales pour faciliter la collecte, les échanges et la gestion des données dans les chaînes d'approvisionnement se développaient, ainsi que des traceurs physiques pour garantir l'intégrité des matières et des produits et leur origine (UNECE, 2020 ; BoF, 2018). Cependant, cette même étude menée par l'UNECE montrait que les coûts associés aux ressources et technologies nécessaires pour l'extension de la traçabilité, du fait de l'augmentation des quantités de données à collecter et gérer, étaient également des freins importants à sa mise en œuvre (=49 %). En outre, l'étude faisait également ressortir que l'intégration de ces technologies impliquait des

défis importants (=29 %), notamment au regard de leur difficile maîtrise du fait des distances géographiques et des barrières linguistiques entre les marques, fournisseurs et autres intermédiaires. À cet égard, les entreprises ont souligné la coordination importante nécessaire entre ces différents acteurs, pour le déploiement de ces technologies, nécessitant du temps et de la volonté de la part de chacun, et par conséquent une confiance et une collaboration préalable. De plus, au regard de ce développement récent et croissant d'une variété de solutions technologiques, il apparaissait que celles-ci apportaient des réponses complémentaires pour l'amélioration de la traçabilité (UNECE, 2020). De nombreuses expérimentations avaient commencé à être initiées dans l'industrie pour tester leur faisabilité et implémentation (UNECE, 2020 ; Fashion for Good, 2019).

Dès lors, il était évident que l'extension de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement nécessitait l'adoption d'une démarche incrémentale, au regard de ces importants défis technologiques et organisationnels (UNECE, 2020 ; Kumar et al., 2017). Dès lors, diverses difficultés avaient été identifiées comme étant susceptibles d'impacter le déploiement effectif de ces solutions technologiques et plus largement l'amélioration de la traçabilité :

- La **diversité de l'offre** avec de la multiplicité des catégories de produits et références apparaissait comme un premier facteur important complexifiant la mise en œuvre de la traçabilité, du fait des diverses chaînes d'approvisionnement en découlant et des enjeux associés. En effet, les produits de mode sont variés avec les vêtements, les chaussures, la maroquinerie ou encore les bijoux, impliquant des composants divers, avec de nombreuses et différentes étapes de production, ainsi que des impacts environnementaux et sociaux variables tout au long des chaînes d'approvisionnement.
- La **complexité des produits** semblait aussi logiquement rendre plus difficile l'amélioration de la traçabilité, avec la multiplicité des composants et des chaînes d'approvisionnement associées, ou encore du recours à de nombreux procédés impliquant davantage d'étapes, de fournisseurs et autres intermédiaires potentiels.
- Le type de **filière de matières premières** semblait également susceptible d'impacter la mise en œuvre de la traçabilité, du fait de la complexité suggérée plus ou moins importante de certaines filières d'approvisionnement (Karaosman et al., 2020).
- La **diversité des fournisseurs** apparaissait aussi comme un facteur important à prendre en compte, en fonction de leur taille et du type de savoir-faire pouvant être industriel, mais également artisanal. Cela semblait tout particulièrement essentiel dans l'industrie du fait de sa fragmentation caractéristique et de la majorité de petites et moyennes entreprises (PME) dans les chaînes d'approvisionnement (OCDE, 2018).
- Les **stratégies d'approvisionnement** ressortaient enfin comme un ultime facteur pouvant limiter l'amélioration de la traçabilité, selon que la marque prenne en charge l'achat des composants (achats dits « à façon ») ou qu'elle achète un produit fini (achats dits en « produit fini ») (Richero & Ferrigno, 2016). Dans ce dernier cas, l'achat des composants est à la charge du fournisseur ou de l'intermédiaire direct, bien que la marque puisse être plus ou moins impliquée dans le choix d'approvisionnement de ceux-ci.

Dès lors, il semblait ainsi indispensable que les marques prennent en compte, dans l'amélioration de la traçabilité, ces divers facteurs susceptibles d'impacter sa mise en œuvre afin de mettre en place les actions complémentaires nécessaires à cet égard (e.g. comme des actions de réduction et de rationalisation du parc fournisseurs). Aussi, il apparaissait également essentiel qu'elles considèrent la maturité de leur entreprise et de leurs chaînes d'approvisionnement sur ces enjeux, en prenant en compte des aspects tels que les ressources disponibles, le niveau de maturité technologique, le degré d'expertise sur ces problématiques ou encore la portée des partenariats avec les fournisseurs.

1.1.1.6. Une recherche scientifique embryonnaire

Pour autant, en dépit de ces défis significatifs, la recherche scientifique sur la traçabilité portait essentiellement sur le secteur alimentaire à des fins de qualité et sécurité des produits (Karlsen et al., 2013). Son amélioration, et plus largement l'intégration des enjeux de développement durable tout au long des chaînes d'approvisionnement au-delà de la relation directe acheteur-fournisseur, apparaissait, tous secteurs confondus, embryonnaire (Karaosman et al., 2020; Wilhem et al. 2016). Dès lors, la recherche sur ces enjeux et l'industrie de la mode était extrêmement limitée, bien que faisant l'objet d'une attention croissante. Des premiers états de l'art avaient été réalisés mettant en évidence le rôle clé de la traçabilité au regard des trois dimensions économique, environnementale et sociale du développement durable dans l'industrie (Kumar et al., 2017) ou encore sur le processus d'amélioration de la traçabilité, dans la cadre de la gestion des chaînes d'approvisionnement, à travers un cadre d'analyse dédié (Garcia-Torres et al., 2019). De premiers travaux de recherche avaient également été réalisés afin d'identifier et de catégoriser les facteurs moteurs conduisant les entreprises à adopter des systèmes de traçabilité et les informations essentielles à tracer (Agrawal & Pal, 2019). Une attention croissante toute particulière était portée aux technologies, à travers l'élaboration d'architectures techniques de plateformes reposant notamment sur la technologie blockchain (Bullón Pérez et al., 2020; Agrawal et al., 2018) ou encore l'étude de l'adoption et du déploiement de solutions par des entreprises (Macchion et al., 2017).

Quelques études de cas avaient commencé à explorer les démarches d'amélioration de la traçabilité et transparence de marques (Brun et al., 2020; Egels-Zandén et al., 2015; Doorey, 2011) ou plus largement l'intégration du développement durable dans les chaînes d'approvisionnement (Karaosman et al., 2020). Néanmoins, alors même qu'il était suggéré que l'extension de la traçabilité soulevait d'importants défis techniques et organisationnels et qu'elle devait nécessairement reposer sur une démarche incrémentale (Kumar et al., 2017; Egels-Zandén et al., 2015), sa mise en œuvre et l'identification des étapes à suivre pour son amélioration n'étaient pas du tout abordés. De plus, bien que la traçabilité soit présentée comme dépendante du type de chaîne d'approvisionnement (Kumar et al., 2017), la recherche n'apportait pas non plus de réponses quant à la prise en compte des facteurs et du niveau de maturité sur ces enjeux susceptibles d'impacter sa mise en œuvre, en vue de la définition d'actions appropriées.

Ces divers constats ont ainsi mis en évidence l'opportunité de cette thèse sur l'étude de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement et de ses défis, dans le contexte du développement durable et de l'industrie de la mode, et ont conduit à l'identification de nombreux objectifs initiaux de recherche.

1.1.2. Objectifs initiaux de recherche

La problématique initiale identifiée était donc celle de comment les marques peuvent améliorer leur traçabilité, en soutien d'objectifs de développement durable, de façon progressive et adaptée à la maturité de leur entreprise et de leurs chaînes d'approvisionnement sur ces enjeux, en prenant également en compte les facteurs susceptibles d'impacter la mise en œuvre. Dès lors, à partir de cette problématique, les sous-objectifs de recherche suivants avaient été identifiés et formalisés :

- Dans quelle mesure les différentes catégories de produits et spécificités de chaque filière d'approvisionnement peuvent influencer l'amélioration de la traçabilité ?
- Dans quelle mesure les démarches de traçabilité des marques doivent-elles s'adapter face à la diversité des acteurs dans leurs chaînes d'approvisionnement ?

- Dans quelle mesure les stratégies d’approvisionnement et la configuration géographique des réseaux de production qui en résulte, impactent la mise en œuvre de la traçabilité ?
- Au regard de ces aspects susceptibles d’impacter sa mise en œuvre, la multiplicité des solutions technologiques, et des difficultés soulevées par leur implémentation, comment les marques peuvent-elles définir les solutions pertinentes à adopter en prenant en compte le niveau de maturité de l’entreprise et de ses chaînes d’approvisionnement sur ces enjeux ?

L’ambition initiale était ainsi de développer une méthodologie d’évaluation et d’implémentation de la traçabilité totale des chaînes d’approvisionnement, pour permettre aux marques de mode la définition d’un plan d’intervention global qui soit progressif et adapté.

Cette méthodologie devait permettre d’appréhender leurs freins potentiels dans la mise en œuvre de la traçabilité, et d’évaluer la maturité de l’entreprise ainsi que de leurs fournisseurs ou autres intermédiaires directs dans leurs chaînes d’approvisionnement, afin de définir et de prioriser des objectifs réalistes. Enfin, en tant que méthodologie de transformation (Zellner, 2011), celle-ci devait également aboutir à identifier et déployer les outils et techniques à mettre en œuvre, ainsi que les activités, les livrables et les rôles des différents acteurs pour la réalisation de ces objectifs. Cette méthodologie se devait ainsi d’être agile, dans la mesure où elle devait permettre de soutenir l’atteinte des objectifs stratégiques de développement durable, tout en prenant en compte les spécificités et les freins potentiels à la mise en œuvre de la traçabilité. Fruit d’une réflexion conjointe avec la FHCM, ce projet de recherche devait alors être mené sur le terrain auprès des entreprises, à travers la participation à des expérimentations collectives de solutions technologiques, initié dans le cadre d’un projet national en France pour accompagner et accélérer la mise en œuvre de la traçabilité dans l’industrie de la mode et du luxe, au sein duquel la FHCM était partie prenante.

Dès lors, la démarche de recherche-action est apparue la plus appropriée pour mener à bien cette recherche, répondant à des problèmes concrets et émergents rencontrés par les entreprises qui nécessitaient une étude et une recherche de solutions avec celles-ci en action sur le terrain, reposant ainsi sur une forte logique collaborative.

1.1.3. Recours à une démarche de recherche-action

Au regard des enjeux présentés, la FHCM a vu dans la réalisation de cette thèse une circonstance opportune, à travers une démarche de recherche, de mieux cerner les enjeux de traçabilité dans le contexte du développement durable et de l’industrie de la mode, et d’apporter des solutions adaptables à ses membres et plus largement aux entreprises pour faciliter son implémentation. Ce projet reposait ainsi sur une forte logique collaborative, dans la mesure où il devait se dérouler dans le cadre d’un projet national en France dans l’industrie de la mode et du luxe, au sein duquel la FHCM était partie prenante et qui visait notamment à expérimenter des solutions technologiques avec des entreprises volontaires. La participation à ces expérimentations devait ainsi permettre, à partir d’une démarche de recherche et des retours d’expérience sur le terrain, d’apporter des éclairages et des solutions complémentaires pour contribuer à l’amélioration de la traçabilité pour un développement durable de l’industrie. Dès lors, la démarche de recherche-action est apparue la plus pertinente et appropriée pour ce projet de recherche. Cette sous-section présente ainsi la démarche (1.1.3.1.), les caractéristiques (1.1.3.2.) les étapes clés (1.1.3.3.) ainsi que les critères de qualité de la recherche-action (1.1.3.4.) afin de mettre en évidence ses spécificités et d’étayer la pertinence et le choix de recourir à cette approche pour ce projet de recherche (1.1.3.5.).

1.1.3.1. Présentation de la démarche de recherche-action

Souvent désignée comme une méthodologie, la « *recherche-action* » est un terme générique qui désigne davantage une approche ou une orientation de recherche scientifique. La recherche-action a pour caractéristique de s'effectuer, comme son nom l'indique, au cœur de l'action. Elle vise ainsi à produire des connaissances qui seront bénéfiques pour les membres du système étudié faisant l'objet de la recherche-action, en apportant des solutions pertinentes aux problèmes concrets qu'ils rencontrent. De façon simultanée, il s'agit de développer des connaissances qui seront également intéressantes du point de vue de la recherche (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002 ; Eden & Huxham, 1996). Dans leur manuel de recherche-action, Reason & Bradbury définissent ainsi cette approche de recherche comme « *un processus participatif visant à développer des connaissances pratiques dans la poursuite d'objectifs humains valables, cherchant à réunir l'action et la réflexion, la théorie et la pratique, en participation avec d'autres, dans la recherche de solutions pratiques à des questions d'intérêt pressant pour les personnes, et plus généralement l'épanouissement des individus et de leurs communautés* » (Reason & Bradbury, 2008). D'autres définitions ont été proposées et la recherche-action a pu être conceptualisée sous de nombreux autres termes (Allard-Poesi & Perret, 2003 ; Eden & Huxham, 1996). Ces développements théoriques ont toutefois en commun de décrire une approche de recherche qui est toujours ancrée dans un problème pratique (Allard-Poesi & Perret, 2003) et qui consiste à la fois en l'action mise en oeuvre pour résoudre ce problème et la recherche menée à cette fin (Coughlan & Coughlan, 2002). Cette démarche trouve son origine dans les sciences sociales et a été attribuée au psychologue allemand Kurt Lewin (Allard-Poesi & Perret, 2003 ; Coughlan & Coughlan, 2002 ; Baskerville & Harper, 1996) qui avait ainsi avancé l'idée que des avancées théoriques pouvaient être réalisées en même temps que des changements sociaux (Lewin, 1946). La recherche-action s'est développée par la suite dans les organisations, et plus particulièrement à des fins de développement organisationnel (Coughlan & Coughlan, 2002). Dès lors, en impliquant un type de démarche de recherche, la recherche-action recouvre ainsi des formes de recherche orientées vers l'action très variées, en fonction de la discipline de recherche, du système étudié et de la ou les question(s) poursuivie(s) (Reason & Bradbury, 2008 ; Allard-Poesi & Perret, 2003 ; Coughlan & Coughlan, 2002 ; Eden & Huxham, 1996). À ce titre, elle peut porter sur des systèmes divers comme des communautés ou encore des organisations (Reason & Bradbury, 2008). Elle peut viser des changements à petite comme à grande échelle (Reason & Bradbury, 2008). En conséquence, il n'existe pas de méthodologie préétablie de recherche-action et cette démarche n'exclut pas le recours à certaines méthodes pouvant ainsi impliquer des méthodes qualitatives et quantitatives (Gummesson, 2000).

Pour autant, en dépit de cette diversité de formes de la recherche-action, cette démarche présente des traits caractéristiques communs qui font la spécificité de cette approche de recherche.

1.1.3.2. Principales caractéristiques de la recherche-action

Cette démarche de recherche présente des caractéristiques générales communes (Allard-Poesi & Perret, 2003) que Coughlan & Coughlan (2002) ont notamment tenté d'identifier, à partir d'une revue des principales références théoriques. Cette synthèse est apparue comme la plus exhaustive et des précisions ont été apportées sur ces caractéristiques, à la lecture de ces références.

- **La recherche-action est une recherche dans l'action plutôt que sur l'action**

La recherche-action a pour caractéristique de se concentrer sur la connaissance en action (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002). Il s'agit ainsi de recourir à une approche scientifique pour étudier la résolution

d'un ou plusieurs problèmes importants rencontrés(s) par le système étudié, en collaboration avec les membres de celui-ci (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002). Dès lors, la recherche-action pose le changement du système étudié comme objectif à part entière de la recherche. Elle implique pour le chercheur d'intervenir délibérément sur le système étudié (Allard-Poesi & Perret, 2003). Le chercheur-action ne se contente donc pas d'observer, il est immergé dans le contexte de recherche. Il agit comme un agent du changement et travaille activement à la résolution du ou des problème(s) rencontrés(s) par le système étudié (Gummesson, 2000). À ce titre, la recherche-action repose nécessairement sur un processus cyclique et évolutif alternant des phases de réflexion et d'actions (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002) qui sera détaillé par la suite.

- **La recherche-action est une recherche participative**

En étant tournée vers la résolution de problèmes, cette démarche de recherche est intrinsèquement participative (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002 ; Baskerville & Harper, 1996). Les membres du système étudié participent activement au processus de recherche (Coughlan & Coughlan, 2002). Le chercheur agit généralement comme une aide extérieure du système étudié, et son rôle est de faciliter la réflexion et l'action au sein de celui-ci (Coughlan & Coughlan, 2002). Il travaille ainsi avec les membres du système sur leur problème, afin de le résoudre ou de l'améliorer, tout en apportant une contribution à l'ensemble des connaissances scientifiques (Coughlan & Coughlan, 2002 ; Reason, 1999). Dès lors, cette démarche nécessite une coopération étroite entre le chercheur et les membres du système étudié (Gummesson, 2000). À ce titre, la recherche-action est souvent évoquée au même titre que la démarche de recherche-intervention. Ces approches se distinguent toutefois par rapport à la définition ou la conception accordée à la transformation dans le cadre de chacune (Cappelletti, 2010). En effet, dans le cadre de la recherche-intervention, le chercheur est considéré comme un élément primordial dans la détermination de la démarche instaurée, tandis que la recherche-action est pilotée par les membres du système étudié et le chercheur agit généralement en tant qu'élément extérieur à l'objet de recherche.

- **La recherche-action est concomitante à l'action réalisée**

Cette démarche revendique toujours un double objectif. Il s'agit de résoudre le ou les problème(s) rencontrés(s) dans le système étudié, ainsi que de produire un ensemble de connaissance sur celui-ci, pour contribuer de façon simultanée à la progression de la recherche scientifique (Reason & Bradbury, 2008 ; Allard-Poesi & Perret, 2003 ; Coughlan & Coughlan, 2002 ; Gummesson, 2000 ; Reason, 1999 ; Checkland & Holwell, 1997 ; Baskerville & Harper, 1996). Les connaissances sont ainsi toujours acquises dans et par l'action (Reason & Bradbury, 2008). De façon imagée dans la recherche-action, les chercheurs sont décrits comme des « *bricoleurs* » « *faisant la route en marchant* » au fil de la recherche (Reason & Bradbury, 2008). Dès lors, le défi pour le chercheur est de s'engager dans la réalisation de la ou les action(s), tout en prenant du recul pour réfléchir par rapport à celle(s)-ci au fur et à mesure de leur mise en œuvre, afin d'apporter une contribution théorique à l'ensemble des connaissances (Coughlan & Coughlan, 2002).

- **La recherche-action repose sur une approche itérative et de résolution de problèmes**

Enfin, compte tenu du fait que la recherche-action vise la résolution de problèmes, dont l'étude et la recherche de solutions ne peuvent être réalisées que dans l'action avec les membres du système étudié, cette démarche de recherche repose nécessairement sur un processus évolutif et itératif, alternant des cycles de réflexion et d'actions (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002) qui sera présenté par la suite.

1.1.3.3. Processus cyclique et évolutif nécessaire de la recherche-action

La recherche-action ouvre ainsi un large éventail de choix de méthodes (Reason & Bradbury, 2008). Elle peut donc impliquer la collecte de données théoriques ou empiriques et inclure aussi bien des méthodes qualitatives que quantitatives (Gummesson, 2000). Il n'existe donc pas de façon unique de mener une recherche-action (Reason & Bradbury, 2008). Néanmoins, cette démarche est décrite comme reposant nécessairement sur un processus cyclique et évolutif, alternant des phases de réflexion, d'action et d'évaluation et ainsi de suite en fonction des résultats (Coughlan & Coughlan, 2002). Dans les phases d'action, le chercheur et les membres du système étudié testent les actions envisagées pour répondre au problème identifié et recueillent des preuves. Dans les phases de réflexion, ils donnent du sens ensemble aux résultats et planifient d'autres actions à la lumière de ceux-ci (Reason & Bradbury, 2008). Le plus important est que ce processus de recherche-action soit conscient et délibéré (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002 ; Gummesson, 2000). Dès lors, en dépit de cette variété possible de méthodes, de grandes étapes ressortent toutefois dans la mise en œuvre de cette démarche de recherche (Reason & Bradbury, 2008).

- **Le cadrage de la problématique**

En étant tournée vers la résolution de problèmes, la recherche-action débute nécessairement par le cadrage et la sélection de la problématique (Coughlan & Brannick, 2001). Il s'agit donc d'établir le système étudié ou l'environnement de recherche (Baskerville & Harper, 1996). Un problème à résoudre doit être identifié, afin de donner au chercheur un premier cadre (Gummesson, 2000). La recherche-action commence ainsi presque toujours par une question du type « *comment améliorer cette situation ?* » (Reason & Bradbury, 2008). Elle est alors nécessairement évolutive au fur et à mesure des résultats (Baskerville & Harper, 1996) et ainsi décrite comme un processus « *vivant et émergent* » (Reason & Bradbury, 2008). Ce processus ne peut donc être entièrement prédéterminé et planifié en détail (Reason & Bradbury, 2008) et il n'est pas nécessaire que le chercheur ait une idée précise de la nature du résultat au début de la recherche (Eden & Huxham, 1996). Celle-ci émerge et évolue au fur et à mesure que les membres du système étudié sont confrontés au problème désigné et étudié, et qu'ils tentent de le résoudre avec l'aide du chercheur (Coughlan & Coughlan, 2002). Les objectifs initiaux du projet conduisent ainsi à la planification de la première action qui est ensuite évaluée à la lumière des résultats, la seconde action ne peut être planifiée tant que l'évaluation de la première n'a pas eu lieu (Coughlan & Coughlan, 2002).

- **La mise en œuvre de la recherche-action**

Une fois la problématique identifiée, la recherche-action est ainsi initiée et mise en œuvre. À cet égard, Coughlan & Coughlan (2002) ont identifié trois grands types d'étapes (Figure 2).

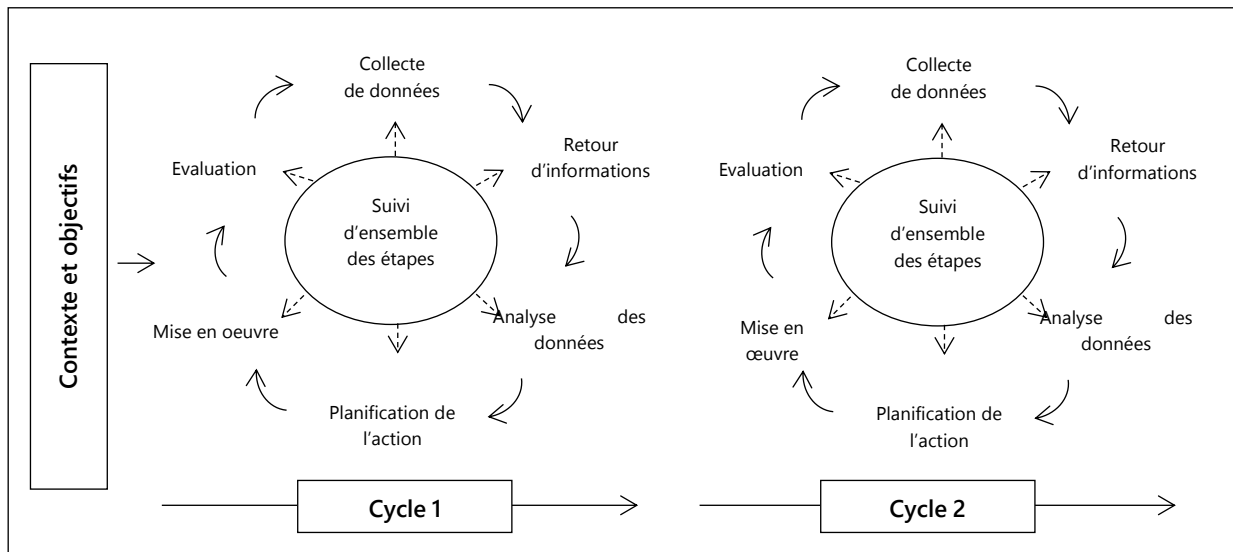


Figure 2. Cycle de mise en œuvre de la recherche-action (adapté de Coughlan & Coughlan, 2022).

- ***L'étape préliminaire : la compréhension du contexte et des objectifs***

L'étape préliminaire vise à établir la raison d'être de l'action et de la recherche associée (Coughlan & Coughlan, 2002). Concernant l'action, il s'agit ainsi de développer une compréhension du contexte du projet, d'établir en quoi celui-ci est nécessaire et désirable, et d'identifier les forces économiques, politiques, sociales ou techniques qui motivent le besoin d'action (Coughlan & Coughlan, 2002). Sur le plan de la recherche, il s'agit de se demander en quoi le projet d'action mérite d'être étudié et dans quelle mesure la recherche-action est une démarche appropriée (Coughlan & Coughlan, 2002).

- ***Les étapes principales : un processus cyclique alternant réflexion et action***

D'une façon générale, les étapes principales consistent ensuite en la collecte de données, le retour de ces informations récoltées auprès des membres du système étudié, leur analyse, la planification de l'action au regard de celle-ci, son implémentation et enfin son évaluation en étroite collaboration avec ceux-ci (Coughlan & Coughlan, 2002).

- ***La collecte des données*** : la collecte de données se fait à travers la participation active aux processus quotidiens en lien avec le projet de recherche-action (Coughlan & Coughlan, 2002). Il peut ainsi s'agir de données collectées à travers la participation et l'observation des membres du système étudié et des décisions prises, ainsi que des actions réalisées pour l'avancement du projet. De nombreuses observations et actions se déroulent souvent dans des cadres informels, qui constituent une source importante de données pour le chercheur (Coughlan & Coughlan, 2002).
- ***Le retour d'informations*** : ces données sont ensuite mises à disposition du système étudié en vue de leur analyse (Coughlan & Coughlan, 2002). Ce retour peut aussi bien être fait par le chercheur, que par les membres du système, le chercheur participant et facilitant le déroulement de ces réunions.

- **L'analyse des données** : la recherche-action étant participative, l'analyse des données est réalisée conjointement par le chercheur et les membres du système étudié (Coughlan & Coughlan, 2002). Cette approche collaborative repose sur l'hypothèse que ce sont eux qui connaissent le mieux leur fonctionnement, qui savent ce qui fonctionnera et qui, en fin de compte, seront ceux qui mettront en œuvre et suivront les mesures qui seront prises.
- **La planification de l'action** : l'action est ensuite planifiée à partir de cette analyse (Coughlan & Coughlan, 2002 ; Baskerville & Harper, 1996). Cette étape se fait à nouveau conjointement avec les membres du système étudié. Au titre de la ou les action(s) planifiée(s), il convient alors de définir ce qui doit être changé et le type de changement, dans quelle(s) partie(s) du système étudié ainsi que l'organisation à mettre en place à cet égard.
- **L'implémentation de l'action** : les actions et changements définis sont ensuite implémentés en collaboration avec les membres du système étudié.
- **L'évaluation de l'action** : l'évaluation implique une réflexion sur les résultats de l'action menée, qu'ils soient intentionnels ou non, et un examen du processus afin que le cycle de suivant de planification et d'action puisse bénéficier de l'expérience du cycle achevé.
- **Une méta étape : le suivi du processus de recherche-action**

Le chercheur assure un suivi dans tous les cycles de ce processus de la recherche-action. Il s'agit ainsi d'une méta étape qui consiste à contrôler chacune de ces étapes, s'interrogeant sur ce qui se passe, sur la manière dont celles-ci sont menées et sur les hypothèses sous-jacentes qui sont à l'œuvre (Coughlan & Coughlan, 2002). En général, les membres du système étudié gérant l'ensemble du projet n'ont pas le temps de s'engager dans un tel travail de suivi introspectif, se concentrant sur les résultats pratiques. Dès lors, à travers cette métaétape, le chercheur va se préoccuper de la manière dont le projet fonctionne dans l'ensemble pour en retirer des éventuels enseignements.

1.1.3.4. Critères essentiels de qualité de la recherche-action

En tant que démarche de recherche, la recherche-action ne peut donc être évaluée au regard de critères préétablis. Dès lors, la dimension principale et essentielle à prendre en compte pour évaluer la qualité de la recherche est la mise en œuvre consciente et délibérée du processus évolutif de recherche précédemment décrit, devant également être clair et transparent (Reason & Bradbury, 2008 ; Coughlan & Coughlan, 2002). À cet égard, Reason & Bradbury (2001) ont proposé la liste de questions suivantes pour faciliter l'évaluation de la qualité d'une recherche-action :

- La recherche-action est-elle explicite quant à son objectif participatif ? Dans quelle mesure reflète-t-elle la coopération entre le chercheur-action et les membres du système étudié ?
- La recherche est-elle guidée par un souci de réflexion sur les résultats pratiques ? Est-ce que le projet est régi par une réflexion constante et itérative dans le cadre d'un processus de changement ou d'amélioration du système étudié ?
- La recherche inclut-elle une pluralité de connaissances, garantissant l'intégrité conceptuelle et théorique, élargissant les modes de connaissances, tout en étant appropriée sur le plan méthodologique ?
- La recherche engage-t-elle un travail significatif (dans la mesure où l'importance du projet est une qualité importante dans la recherche-action) ?
- La recherche débouche-t-elle sur des infrastructures nouvelles et durables ? En d'autres termes, le projet donne-t-il lieu à des changements durables ?

Dès lors, au regard de ces caractéristiques, la recherche-action est apparue la plus pertinente et appropriée pour mener à bien ce projet de recherche.

1.1.3.5. Pertinence du recours à une démarche de recherche-action

Cette démarche est apparue la plus appropriée au regard de ses caractéristiques ainsi que du contexte, de la problématique et des objectifs de recherche. Néanmoins, cette thèse présente des spécificités par rapport aux éléments présents, par rapport à sa réalisation au sein de la FHCM, visant à répondre à des problèmes rencontrés par les marques, tout en ayant un positionnement à l'échelle collective, en vue de contribuer à l'amélioration de la traçabilité au regard des enjeux de développement durable plus largement dans l'industrie.

- **Le projet répondait à ce double objectif d'action et de recherche.**

Cette répondait à un problème concret rencontré par les marques, à savoir la difficile amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement face aux défis technologiques et organisationnels soulevés et était le fruit d'une réflexion conjointe avec la FHCM. À travers l'implication du chercheur au sein de la FHCM et dans les différents projets collectifs expérimentaux évoqués, l'objectif était alors double. Il s'agissait pour le chercheur de prendre part à ces expérimentations pour contribuer, à partir de cette démarche de recherche, à cette transformation visant à améliorer et accélérer la traçabilité dans l'industrie, tout en apportant de façon simultanée des réponses et des solutions complémentaires à cet égard. Sur le plan scientifique, le projet permettait ainsi de contribuer à la progression de la recherche sur les étapes et défis de la mise en œuvre de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement dans le contexte du développement durable, dans une industrie pertinente à étudier au regard des impacts et des enjeux présentés. Bien que contextuelles, les connaissances générées à l'occasion de cette recherche pourraient plus largement être pertinentes pour d'autres secteurs industriels, également confrontés à ces enjeux de traçabilité (Betti et al., 2021).

- **Au regard de l'émergence de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement dans l'industrie de la mode, son étude et la recherche de solutions pour faciliter sa mise en œuvre ne pouvaient être réalisées que dans l'action.**

L'amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement, en réponse aux enjeux de développement durable, était un phénomène dans l'ensemble limité dans l'industrie du fait de leur mondialisation, complexité et opacité (UNECE, 2020). Il s'agissait donc d'un phénomène émergent. De plus, cette amélioration de la traçabilité apparaissait de façon évidente comme un phénomène complexe compte tenu des défis technologiques et organisationnels impliqués, notamment au regard de la multiplicité des étapes et des acteurs dans les chaînes d'approvisionnement (UNECE, 2020 ; Kumar et al., 2017). Dès lors, l'étude de cette problématique et l'élaboration de solutions pour faciliter sa mise en œuvre par les marques nécessitaient de mener la recherche dans l'action, au cœur de ces projets de transformation dans l'industrie.

- **Enfin, le projet reposait sur une forte logique collaborative.**

Ce projet de recherche était issu d'une réflexion conjointe avec la FHCM et devait reposer sur la participation du chercheur à un projet national dans l'industrie de la mode et du luxe en France pour l'expérimentation de solutions technologiques avec des entreprises volontaires. Du fait de cette position du chercheur à l'échelle de l'industrie, celui-ci était potentiellement amené à participer à d'autres projets et initiatives, et plus largement à interagir avec l'écosystème industriel pour la conduite de cette recherche-action. Bien que particulière, cette démarche ne va pas à l'encontre de la logique de la recherche-action.

En effet, en tant que démarche de recherche, elle est ainsi étroitement dépendante du système étudié, de l'environnement de recherche et de la ou les question(s) poursuivie(s). Par conséquent, elle n'implique pas nécessairement la participation à un seul et unique projet (Gummesson, 2000). Elle peut porter sur des systèmes variés (comme des groupes d'individus, des communautés, des organisations...) et ainsi impliquer de petites comme de grandes échelles (Reason & Bradbury, 2008). À cet égard, des projets de recherche-action ont déjà été menés à une échelle industrielle et notamment en vue de l'amélioration de la prise en compte des enjeux de développement durable. Par exemple, McManners (2015) a étudié la prise en compte des enjeux économiques et environnementaux par les acteurs du secteur de l'aviation, afin d'identifier une feuille de route pour l'industrie. Plus récemment, Shahbazi et Jönbrink (2020) ont réalisé une recherche-action pour la définition de lignes directrices génériques pour la conception de produits circulaires. Néanmoins, dans le cadre de ce projet de recherche, la particularité résidait dans le système étudié, étant celui des marques de mode, avec toutefois une perspective à l'échelle de l'industrie et la prise en compte nécessaire de l'ensemble de la chaîne de valeur. La dimension participative intrinsèque de la recherche-action n'était donc pas amenée se faire de façon « classique », à travers l'implication du chercheur dans un projet d'une organisation et l'interaction avec ses membres, en vue de la résolution du problème rencontré et la réalisation de la recherche de façon simultanée sur celui-ci. Cette participation se traduirait par l'interaction du chercheur avec les marques de mode et plus largement l'écosystème industriel. Une telle participation du chercheur à différents projets collectifs et ses interactions avec l'écosystème industriel, du fait de sa position au sein de la FHCM, offraient un terrain de recherche opportun pour mieux comprendre les problèmes rencontrés grâce à cette vision globale. Le chercheur pourrait alors contribuer à leur résolution à travers la participation à ces expérimentations, tout en proposant des solutions complémentaires aux livrables de celles-ci par la recherche. De plus, il était prévu que les enseignements et solutions développés dans le cadre de cette recherche-action soient partagés aux membres de la FHCM et plus largement à l'écosystème industriel.

La deuxième section de ce chapitre présente alors la démarche générale progressive qui a été suivie, au titre de cette approche scientifique, avec ses différentes étapes et recherches-actions menées, ayant fait l'objet de plusieurs publications scientifiques.

1.2. Démarche générale suivie de recherche-action

Cette thèse CIFRE a débuté en janvier 2021 au sein de la FHCM. Comme évoqué, l'objectif initial était de développer une méthodologie d'évaluation et d'implémentation de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement à destination des marques de mode. À cette fin, des étapes de recherche avaient été formalisées qui seront dans un premier temps rappelées (1.2.1). De plus, la thèse devait initialement et principalement reposer sur la participation aux expérimentations dans le cadre du projet national mentionné en France dans l'industrie de la mode et du luxe, au sein duquel la FHCM était partie prenante. D'autres projets collectifs ont été initiés à la suite du lancement de la thèse et ont été rejoints au cours de celle-ci. Dès lors, au regard du contexte particulier de cette recherche-action, le terrain de recherche est présenté plus en détail afin d'en donner une vision d'ensemble plus claire (1.2.2). Enfin, l'évolution progressive de la thèse avec ses différentes étapes est retracée, ayant conduit à une redéfinition progressive des problèmes, objectifs, ainsi que des recherches-actions menées, en s'appuyant sur un dialogue permanent entre la littérature et la pratique avec les retours d'expérience générés sur le terrain (1.2.3).

1.2.1. Étapes initiales de recherche formalisées

La méthodologie initialement envisagée dans le cadre de cette recherche devait être développée à travers la participation aux expérimentations évoquées et à partir des défis et leviers observés dans la mise en œuvre de la traçabilité et le déploiement des solutions technologiques testées à cet effet. Dès lors, bien que conscients du caractère intrinsèquement évolutif de la recherche-action, les différentes étapes de recherche ci-après avaient été formalisées :

- La **première année (2021)** devait consister en l'élaboration d'un cadre d'analyse des critères essentiels de la traçabilité à partir d'une revue systématique de la littérature. Ce cadre d'analyse devait permettre de réaliser un état de l'art des outils et des méthodes existants pour l'amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement.
- La **deuxième année (2022)** devait donner lieu à l'élaboration d'une version initiale de la méthodologie à partir des défis et des leviers observés dans l'amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement, à la suite des retours d'expérience des expérimentations. L'objectif était également de réaliser de premiers tests de cette version initiale avec un panel de marques, notamment celles ayant pris part à ces expérimentations afin d'améliorer la méthodologie grâce à leurs retours.
- La **troisième année (2023)** devait aboutir à la formalisation de la méthodologie finale et son déploiement avec des marques, au-delà de celles ayant participé à ces expérimentations, afin de tester sa mise en œuvre opérationnelle au sein d'entreprises plus grande échelle.

La recherche-action menée a toutefois connu une évolution progressive. Tout d'abord, au regard du terrain de recherche, le chercheur a été amené à participer, au-delà de ce projet national, à d'autres expérimentations collectives et projets en lien avec la mise en œuvre de la traçabilité.

1.2.2. Différents terrains de la recherche-action

Dans le cadre de cette thèse, le chercheur a principalement été impliqué dans trois projets collectifs qui visaient, à des échelles différentes, l'amélioration de la traçabilité dans l'industrie notamment à travers des expérimentations de solutions technologiques avec des entreprises volontaires (1.2.2.1). Le chercheur a également participé à d'autres projets en lien avec la thématique de recherche et notamment au sein de la FHCM (1.2.2.2). Plus largement, il a interagi tout au long de la thèse avec l'écosystème industriel (1.2.2.3). Ce terrain de recherche particulier a permis au chercheur de bénéficier d'une vision d'ensemble des enjeux de traçabilité dans l'industrie, tout en prenant part à la transformation au sein des marques à travers les différents projets expérimentaux. Afin de donner une vision d'ensemble et claire de ce terrain de recherche, celui-ci est représenté visuellement dans la [Figure 3](#) à la fin de cette sous-section.

1.2.2.1. Participation à des projets collectifs de traçabilité pour l'expérimentation de solutions technologiques

Pour des raisons de confidentialité, l'ensemble de ces projets ont été anonymisés et sont présentés et mentionnés respectivement dans ce manuscrit comme ci-après.

- **Projet traçabilité n°1**

Le premier projet était une initiative internationale multipartite, initiée en 2019 par une organisation gouvernementale internationale qui avait pour ambition générale la progression du développement durable, de la traçabilité et de la transparence à cette fin, dans l'industrie de l'habillement et de la chaussure. À ce titre, le projet poursuivait différents livrables. Il s'agissait tout d'abord d'élaborer des recommandations politiques pour l'amélioration de la traçabilité et la transparence des chaînes d'approvisionnement dans l'industrie. À cet égard, le projet visait également le développement de standards pour faciliter les échanges de données. Aussi, un autre livrable consistant en la mise en place d'expérimentations sur différentes filières d'approvisionnement d'une

plateforme digitale reposant sur la technologie blockchain qui avait été développée avec un partenaire universitaire pour l'élaboration et l'expérimentation de ces standards. Enfin, le dernier livrable consistait en la dissémination des enseignements ainsi que l'engagement de l'industrie sur ces enjeux. Dans l'ensemble, plus de trois cents participants représentant diverses parties prenantes dans l'industrie et à l'échelle mondiale ont pris part à cette initiative (allant des institutions gouvernementales, des industriels, des acteurs de la société civile, des fédérations professionnelles, des associations de consommateurs, des organisations internationales, à l'académique).

Ce projet international était organisé en sous-groupes de travail, qui correspondaient chacun à ces différents livrables :

- Le chercheur a ainsi pris part à l'expérimentation de la plateforme digitale développée sur la filière cuir, de juin à novembre 2021, à travers l'accompagnement d'un partenaire industriel privé dans cette expérimentation. Dans le cadre de ce pilote, des offreurs de solutions de traceurs physiques des cuirs ont également été auditionnés et expérimentés par certaines entreprises pour assurer l'intégrité de la provenance. Ce pilote a impliqué cinq tanneries, trois marques ainsi que deux groupes de mode, un agent, un fabricant et une confédération professionnelle.
- En parallèle de ces sous-groupes, des réunions en plénière étaient organisées pour informer les participants de l'avancement des différents livrables du projet. À cette fin, un évènement de trois jours a été organisé pour présenter les livrables et les retours d'expérience. Le chercheur a participé à l'ensemble de ces réunions et évènements.

- **Projet traçabilité n°2**

Le deuxième projet s'inscrivait dans le cadre d'une initiative nationale en France dans l'industrie de la mode de luxe, rassemblant des professionnels de l'industrie, les pouvoirs publics, ainsi que les organisations professionnelles représentant les différentes filières, dont la FHCM. Cette initiative avait pour objectif d'assurer la compétitivité de l'industrie à travers la mise en place de projets collectifs sur les principaux enjeux prioritaires à cet égard dont la formation, la capacité industrielle ainsi que le développement durable. Ainsi, traçabilité et la transparence des chaînes d'approvisionnement avaient été identifiés comme un axe prioritaire, au regard des demandes des consommateurs et des exigences réglementaires croissantes. Cet axe prioritaire avait également été identifié en réponse aux difficultés importantes exprimées par les entreprises dans la mise en œuvre de la traçabilité et notamment face à la multiplicité des solutions technologiques existantes. Dès lors, un projet dédié sur la traçabilité avait été initié dans le cadre de cette initiative nationale.

- ***Étude du marché des offreurs de solutions technologiques (2019-2020)***

La première étape du projet a consisté en la réalisation d'une étude de marché des différents offreurs de solutions technologiques pour l'amélioration de la traçabilité en vue d'identifier les plus pertinents. Elle a été réalisée à travers un groupe de travail avec 19 organisations représentant différentes parties prenantes dans l'industrie (e.g. marques et groupes, académiques, fédérations professionnelles, organismes professionnels). Au total, 18 offreurs de solutions technologiques ont été identifiés et analysés à partir d'une grille d'évaluation de critères clés d'un système de traçabilité définis formalisés de façon collective. Cette première étape a abouti à la présélection de 5 solutions offreurs de solutions technologiques, qui sont ressorties comme les plus pertinents au regard de ces critères.

Néanmoins, ce groupe de travail a abouti au constat d'une diversité de typologies de solutions concurrentes et complémentaires pour l'amélioration de la traçabilité. À cet égard, compte tenu du développement récent de ces différentes solutions, cette analyse a mis tout particulièrement en évidence concernant les offreurs de plateformes

digitales, des approches variées pour la collecte de données, des fonctionnalités très diverses, ainsi que des offres commerciales très variables nécessitant leur expérimentation opérationnelle.

○ **Lancement de pilotes de traçabilité (2021-2023)**

Cette étape a ainsi abouti à la nécessité de mener des pilotes avec des entreprises volontaires pour l'expérimentation de ces plateformes digitales présélectionnées visant à améliorer la traçabilité des chaînes d'approvisionnement. Ces pilotes visaient ainsi à tester leur déploiement opérationnel et leur robustesse, les adapter éventuellement aux besoins communs de la filière, et plus largement, à retirer des enseignements collectifs sur les freins et leviers dans leur mise en œuvre en vue de mettre en place les actions adéquates au niveau des différentes filières et de l'industrie, pour faciliter leur déploiement par la suite à l'échelle industrielle. Aussi, la diffusion des enseignements collectifs de ces pilotes avait pour ambition de contribuer à faciliter la mise en place par les entreprises de démarches de traçabilité à moyen et long termes. Dès lors, cette seconde étape du projet s'est traduite par le lancement de 4 pilotes pour chaque filière représentée et portés par les fédérations et organismes professionnels correspondants : l'habillement, le textile, la chaussure et le lin.

Le chercheur a ainsi pris part au comité de pilotage du projet et de ces quatre pilotes pour cette seconde étape initiée en 2021, jusqu'à la fin de la thèse. Ce comité était composé de représentants des fédérations et organismes professionnels des différentes filières de ces pilotes. Il visait à assurer une coordination entre ces pilotes et la mise en place de synergies entre ceux-ci, à travers des partages de retours d'expériences et la définition d'actions communes. Pour trois des quatre pilotes, le chercheur a participé aux premières réunions de définition des besoins des entreprises communs en matière de traçabilité. Pour deux des quatre pilotes, le chercheur a pris part aux auditions des offreurs de plateformes digitales de traçabilité. Par la suite, il a été essentiellement impliqué dans la mise en œuvre opérationnelle du pilote habillement, ainsi que de son comité de pilotage dédié avec les représentants de l'organisme professionnel porteur du projet et des différentes fédérations.

Ce pilote s'est déroulé de septembre 2021 à janvier 2023 à travers les différentes phases suivantes :

- **Appel à candidatures** : tout d'abord un appel à candidatures a été réalisé qui a abouti à la participation de 13 marques représentant différentes tailles d'entreprises, chiffres d'affaires et positionnements de marché allant de la grande distribution au luxe, et comprenant des membres de la FHCM.
- **Définition du besoin** : le pilote a ensuite débuté par une phase de définition des besoins minimums partagés des entreprises de traçabilité de leurs chaînes d'approvisionnement en vue de la formalisation d'un cahier des charges commun, pour l'appel d'offre auprès des offreurs de plateformes digitales présélectionnés lors de la première étape du projet.
- **Audition des solutions** : les offreurs de solutions digitales pré-identifiés, ainsi que d'autres à la demande collective des participants, témoignant ainsi de la forte évolution du marché et de sa difficile appréhension par les entreprises, ont été auditionnés et évalués sur la base du cahier des charges commun formalisé.
- **Sélection des solutions** : à l'issue de ces auditions, deux plateformes digitales de traçabilité ont été sélectionnées par les entreprises, sur la base de ce cahier des charges.
- **Expérimentation opérationnelle** : chaque entreprise a ensuite expérimenté une de ces deux plateformes sélectionnées sur 5 commandes de références de produits. Cette sélection a été réfléchie avec l'ensemble des entreprises en vue d'être la plus représentative possible en termes de catégories de produits (qui étaient tous des produits d'habillement), de filières de matières premières (coton, viscose,

etc.), de l'existence ou non de certifications, de zones (grand import vs proche import) et de type d'approvisionnement (selon que l'entreprise achète le produit fini ou à façon comme expliqué précédemment). En effet, celle-ci était essentielle pour expérimenter la solution sur un échantillon suffisamment représentatif de ces éléments susceptibles d'impacter la mise en œuvre de la traçabilité, afin de pouvoir en retirer des enseignements pertinents.

- **Bilan** : ce pilote s'est enfin terminé par un bilan global ayant mis en lumière les résultats en atteints de traçabilité des chaînes d'approvisionnement notamment au regard de ces différents éléments, des limites identifiées de ces plateformes, ainsi que des divers freins et leviers observés à l'occasion de leur expérimentation, et notamment pour ces derniers, ceux potentiels qui pourraient être mis en place à l'échelle collective pour faciliter et accélérer la mise à l'échelle industrielle du déploiement de ces plateformes à l'avenir dans l'industrie.

- **Projet traçabilité n°3**

Enfin, le troisième projet était un think tank privé initié sur la traçabilité en France par un acteur spécialisé dans l'industrie 4.0 proposant des solutions connectées et intelligentes, à travers l'offre d'une combinaison de logiciels, d'équipements, d'outils analytiques et de services, notamment pour l'industrie de la mode. Ce think tank avait été également mis en place au regard de la pression croissante de traçabilité et de transparence des chaînes d'approvisionnement à l'égard du secteur, ainsi que du développement accru d'offres de solutions technologiques sur le marché. Reposant sur une logique d'innovation ouverte, ce think tank a notamment impliqué 10 marques représentant des positionnements de marché différents, allant du luxe à la grande distribution. L'objectif était d'établir clairement et précisément les problèmes rencontrés par les marques et le dénominateur commun dans leurs besoins. À la suite d'une étude de marché, plusieurs offres de plateformes digitales ont ainsi été auditionnées et une solution a fait l'objet d'une expérimentation avec les différentes marques du think tank.

Dans le cadre ces différents projets collectifs expérimentaux, le chercheur a adopté une méthode qualitative d'observation participante, impliquant comme son nom l'indique une posture à la fois de participant et d'observateur dans les activités, les interactions et les événements avec les membres du système étudié (Musante and DeWalt, 2010), étant ainsi une méthode pertinente dans le cadre d'une recherche-action (Gavard-Perret et al., 2018). Elle implique l'utilisation des données obtenues par la participation et l'observation, à travers leur collecte et leur analyse (Gavard-Perret et al., 2018 ; Musante et DeWalt, 2010). Dès lors, au-delà de sa participation active à ces différents projets, le chercheur a retranscrit autant que possible l'ensemble des échanges de chaque réunion et de ses observations durant celles-ci dans des documents Word dédiés, avec les participants associés à ces propos. Une analyse de leur contenu et des documents de travail de ces projets a été réalisée par la suite après chaque réunion, en vue plus particulièrement de l'identification des dimensions clés identifiées dans la mise en œuvre de la traçabilité à travers une démarche de codification émergente (Gavard-Perret et al., 2018) pour le développement du modèle de maturité, qui seront présentés plus en détail dans le chapitre du manuscrit dédié. Au total, ces différents projets ont représenté plus de 300 heures de réunions dédiées, sans compter le temps consacré à ces analyses consécutives entreprises.

1.2.2.2. Autres terrains concomitants de recherche

En parallèle de ces expérimentations, le chercheur a été amené à participer à d'autres projets au sein de la FHCM et notamment au cours de la première année de la thèse. À ce titre, le chercheur a été impliqué dans différents projets connexes à la mise en œuvre de la traçabilité.

Plus largement, l'objectif était d'acquiescer une vision d'ensemble des problématiques de l'industrie et des politiques à venir, ainsi que des initiatives collectives sur le développement durable au sein desquelles la FHCM était impliquée.

À cet égard, le chercheur a ainsi pris part aux travaux de standardisation de la mesure et de l'affichage de l'impact environnemental des produits au niveau français (ADEME, 2023) et européen (PEF Apparel & Footwear, 2023), au sein desquels la FHCM est impliquée. L'étude de ces référentiels et la participation du chercheur à de nombreuses réunions avec les parties prenantes lui ont ainsi permis d'appréhender les enjeux de traçabilité pour la mise en place d'un tel affichage environnemental. De façon complémentaire, le chercheur a été impliqué dans des travaux de standardisation de la mesure de la durabilité des produits textiles au niveau français, qui bien que ne traitant pas directement de la traçabilité, ont également permis de prendre conscience de la diversité des données et sources, pour l'évaluation et l'affichage de l'impact et de qualités environnementales des produits, comme la durabilité, ainsi que leur communication.

- D'autre part, le chercheur a contribué au développement de l'outil d'écoconception des collections de la FHCM avec le cabinet de conseil PWC, en liaison avec l'Institut Français de la Mode, et avec le soutien financier du DEFI¹. Cet outil vise ainsi à une solution accessible pour l'accompagnement des démarches d'écoconception, en permettant aux entreprises la mesure de l'impact environnemental et social de leurs collections, et en leur donnant ainsi une vision d'ensemble sur leur niveau de performance et d'engagement au fur et à mesure des saisons (FHCM, 2019). La participation à ce développement, ainsi qu'à certaines réunions pour son expérimentation initiale a permis de bénéficier de retours d'expérience utiles, notamment pour la meilleure compréhension des difficultés de collecte et de gestion des données rencontrées par les entreprises par rapport à leurs chaînes d'approvisionnement et des étapes suivies et envisagées dans la mise en place de démarches d'écoconception.
- Enfin, le chercheur a pris part à un projet initié au sein de la FHCM à la demande de ses membres pour la cartographie des solutions de recyclage en Europe. Outre l'objectif de recenser les différents acteurs existants et de mettre à disposition cette base de données à ses membres, cette cartographie visait également à identifier d'éventuelles opportunités de synergies au niveau de la FHCM sur le recyclage. La participation à cette étude a ainsi été l'opportunité pour le chercheur d'alimenter sa vision globale des enjeux de développement durable et de traçabilité dans l'industrie, et plus particulièrement concernant la fin de vie des produits. À cet égard, cette cartographie a impliqué de nombreux entretiens avec certaines solutions de recyclage identifiées qui ont notamment fait ressortir d'importants enjeux de traçabilité des produits en fin de vie, ce qui a donné lieu au premier article de recherche du chapitre 1 de ce manuscrit, sur l'étude Delphi-Régnier menée sur les défis du développement du recyclage textile en Europe (Riemens et al., 2021).

De façon continue, le chercheur a par la suite pris part au suivi de ces différents projets et activités sur le développement durable, ainsi que de l'évolution des projets législatifs et réglementaires et des exigences de traçabilité associées, à travers les réunions régulières de la Commission Innovation & Développement Durable de la FHCM jusqu'à la fin de la thèse.

¹ Le DEFI est une plateforme d'accélération et de la transformation des entreprises de la mode et de l'habillement françaises qui collecte à cette fin une taxe affectée grâce à laquelle elle finance, anime et encourage des actions concrètes déclinées autour de cinq axes stratégiques : accélérer la croissance des entreprises de la filière, encourager l'émergence d'une mode responsable, stimuler l'innovation numérique et technologique, promouvoir le savoir-faire français et la fabrication locale et enfin, renforcer et développer l'image de la mode française. Le budget et les plans d'action du DEFI sont établis au sein de commissions dédiées et votés par son Conseil d'Administration où siègent fédérations professionnelles et personnalités qualifiées dont la FHCM.

D'autre part, le chercheur a également été impliqué dans d'autres projets qui ont permis d'alimenter cette recherche-action, notamment au sein d'une marque pour l'analyse du niveau d'informations disponibles sur une sélection de références de produits, en vue de la mise en place de la mesure de l'impact environnemental et social, qui a permis de comprendre l'organisation de la collecte et de la gestion de données entre les équipes, et de mettre en évidence des dysfonctionnements ainsi que des difficultés pour l'amélioration de la traçabilité. Enfin, à la lumière du constat des problématiques significatives de traçabilité en fin de vie, à la suite de l'étude Delphi-Régnier menée (Riemens et al., 2021), le chercheur a également été impliqué dans un projet de recherche et développement menés par un laboratoire dédié d'une entreprise. Ce projet a consisté en l'expérimentation d'une solution technologique innovante en vue de l'amélioration de l'identification de la composition des produits textiles dans les centres de tri en fin de vie pour leur recyclage, ayant permis au chercheur de mieux comprendre les défis techniques associés.

1.2.2.3. Interactions avec l'écosystème industriel

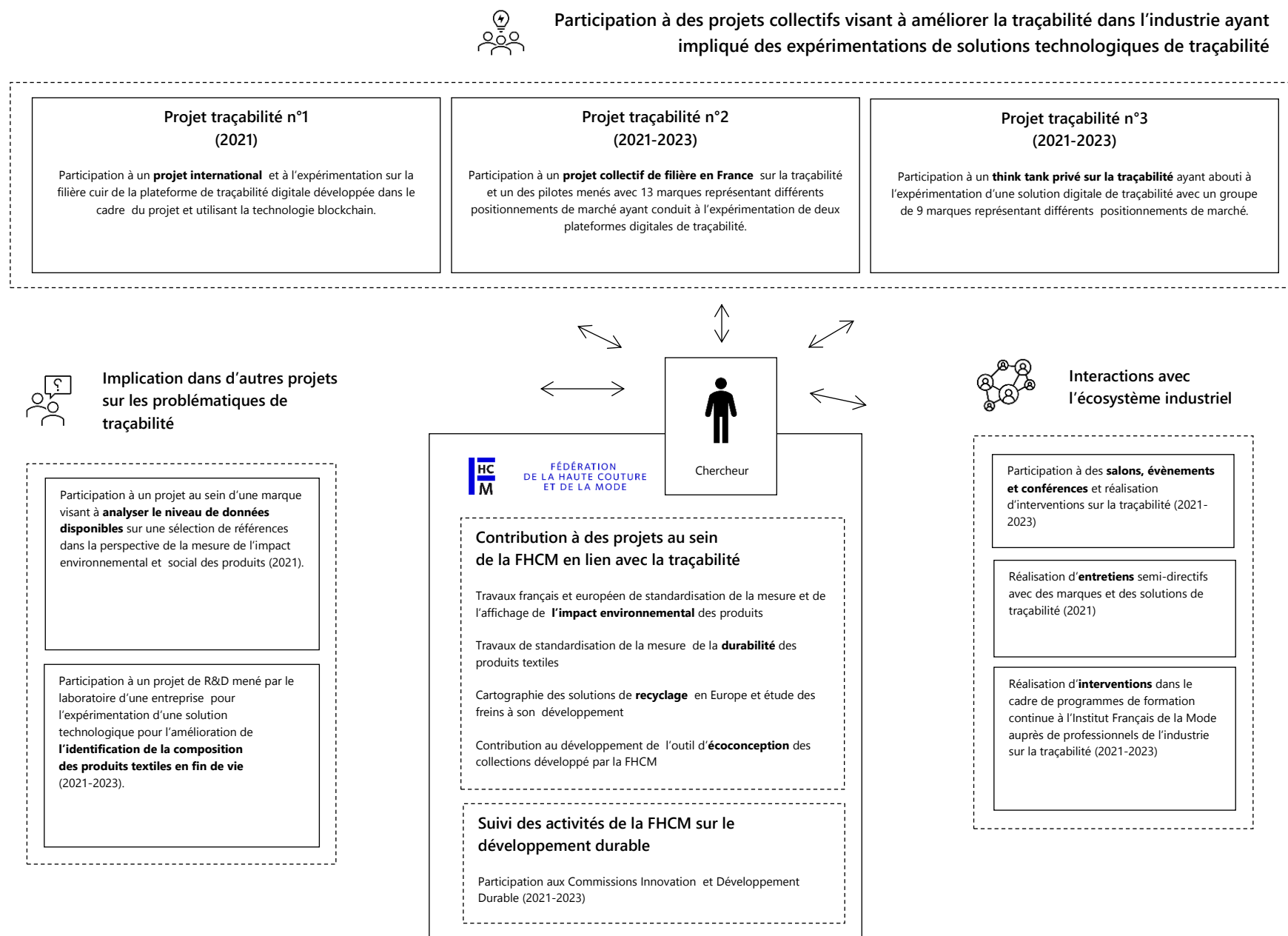
Enfin, le chercheur a été amené plus largement à interagir avec l'écosystème industriel tout au long de la thèse grâce à sa position au sein de la FHCM et la Chaire Sustainability IFM-KERING à l'institut Français de la Mode à travers :

- Des échanges individuels sous la forme d'entretiens semi-directifs qui ont été menés avec des marques (=18) et des offreurs de solutions technologiques (=23) tout au long de la thèse en vue d'approfondir la compréhension des défis dans l'amélioration de la traçabilité et d'alimenter l'élaboration du modèle de maturité par la suite (+ de 50 heures d'entretiens), qui seront ainsi présentés davantage en détail dans le chapitre dédié.
- La participation à des salons, évènements, conférences sur le développement durable tout au long de la thèse, et le chercheur également a pu partager les enseignements de ses recherches à l'occasion de certains.
- La réalisation d'interventions sur la traçabilité dans le cadre du programme de formation continue et des sessions dédiées sur le développement durable à l'Institut Français de la Mode, à destination des cadres et dirigeants des univers de la mode, du luxe, du parfum et des cosmétiques, du design, de l'art de vivre et plus largement des industries créatives.

Ces interactions ont ainsi donné lieu à des rencontres, discussions et retours d'expériences qui ont également permis d'alimenter ces travaux de recherche et de partager certains enseignements et contributions avec l'écosystème.

Dès lors, la [Figure 3](#) ci-après représente visuellement les différents terrains dans le cadre de cette recherche-action menée au sein de la FHCM afin d'en donner une vision d'ensemble et claire.

Figure 3. Terrains de recherche-action de la thèse



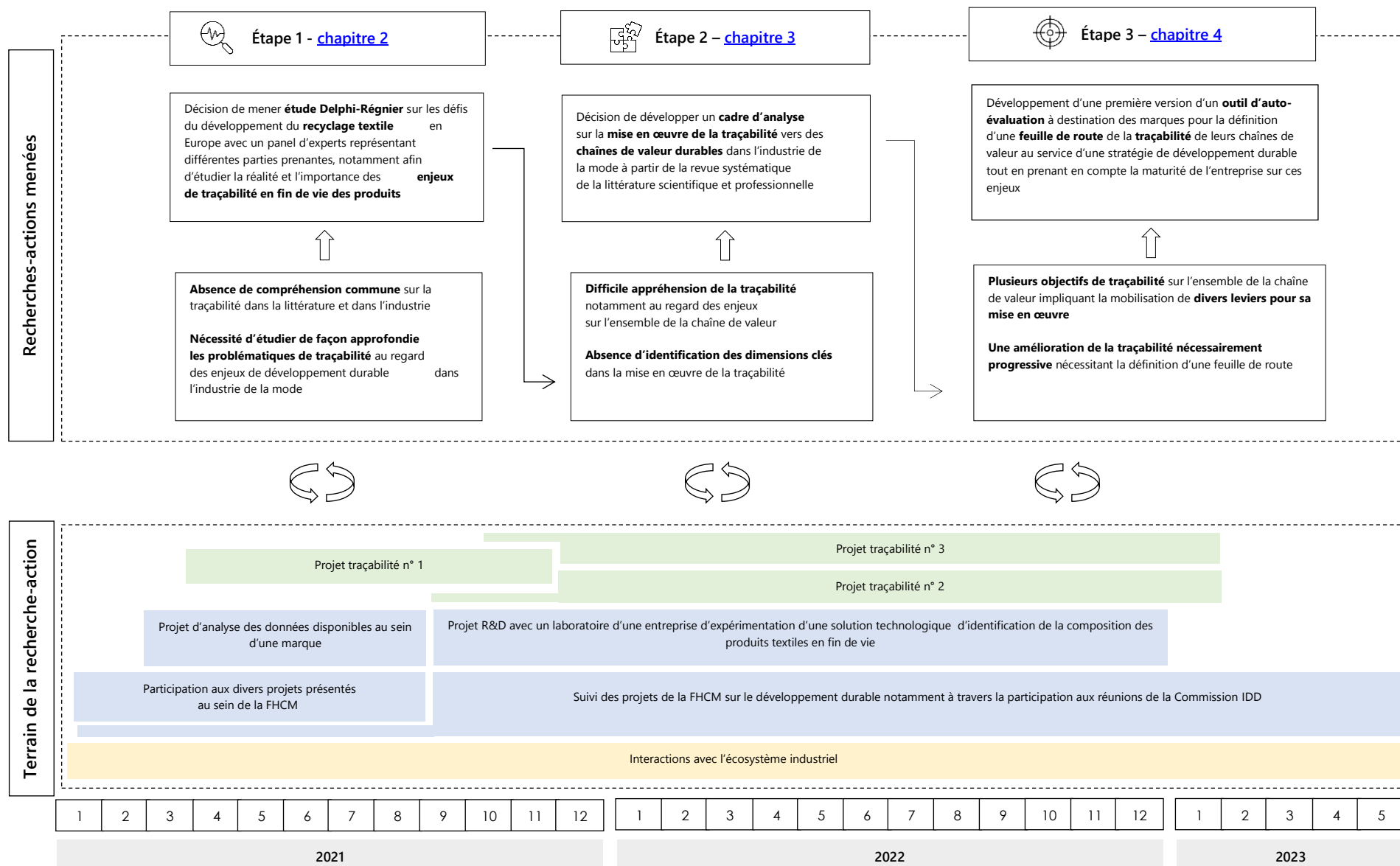
1.2.3. Étapes et contributions de recherche-action de la thèse

Cette section clôture ce chapitre en retraçant l'évolution de cette recherche-action menée sur les différentes années de la thèse. En effet, les enseignements au fur et à mesure de cette recherche ont conduit à une redéfinition des problèmes et des objectifs initialement formalisés, des actions menées pour y répondre et des contributions de recherche associées. Dès lors, suivant une démarche progressive et cyclique, cette thèse a donné lieu à trois principales étapes de recherche-action, en réponse aux problèmes identifiés sur le terrain pour l'amélioration de la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable dans l'industrie :

- **Étape 1 (2021)** : Appréhension des enjeux de traçabilité et sur l'ensemble de la chaîne de valeur dans le contexte du développement durable et de l'industrie de la mode ([1.2.3.1](#))
- **Étape 2 (2022)** : Développement d'un cadre d'analyse de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables pour l'industrie de la mode ([1.2.3.2](#))
- **Étape 3 (2023)** : Élaboration d'une architecture de modèle de maturité à destination de marques de mode pour guider leur gestion de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables ([1.2.3.3](#))

Dès lors, la [Figure 4](#) ci-après représente visuellement la démarche progressive mobilisée de la cadre de la recherche-action et chacune de ces étapes est détaillée dans les sous-sections suivantes.

Figure 4. Étapes de recherche-action de la thèse (2021-2023)



1.2.3.1. Étape 1 : étude des enjeux de traçabilité dans le contexte du développement durable et de l'industrie de la mode

Pour rappel, la première année de cette thèse avait initialement pour objectif l'élaboration d'un cadre d'analyse des critères essentiels de la traçabilité. Celui-ci devait permettre la revue des outils et des méthodes pour l'amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement et dans la perspective du développement ultérieur de la méthodologie. Néanmoins, l'analyse de la littérature ainsi que les observations sur le terrain à travers la participation aux différents projets présentés lors de la première année, ont conduit au d'un problème dont la mesure n'avait pas été suffisamment prise lors de l'élaboration de ce projet de recherche.

- **Ce constat était celui de l'absence de définition commune de la traçabilité.**

Dans la littérature, l'absence problématique de définition commune de la traçabilité avait été mise en évidence dans plusieurs recherches scientifiques, soulignant alors la difficulté d'appréhender son implémentation en conséquence tant dans la recherche que dans la pratique (Islam & Cullen, 2021 ; Karlsen et al., 2013; Olsen & Borit, 2013). En effet, de nombreuses définitions de la traçabilité ont été proposées et existent dans la littérature scientifique et professionnelle, ainsi que dans les normes et réglementations qui seront présentées plus en détail dans le troisième chapitre du manuscrit. À cet égard, la définition la plus communément retenue est celle de la norme ISO 9001 :2015 relative aux Systèmes de management de la qualité et décrivant la traçabilité comme « *l'aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement d'un objet* » précisant dans le cas d'un produit « *qu'elle peut alors être liée à l'origine des matériaux et composants, l'historique de réalisation, la distribution et l'emplacement du produit après livraison* » (ISO 9001 :2015, 2015). Dès lors, le constat était que ces définitions ont principalement été proposées par rapport au secteur alimentaire, ou la traçabilité a initialement été implémentée à des fins de gestion de la qualité et de la sécurité et désormais réglementée depuis plusieurs années (Islam & Cullen, 2021 ; Karlsen et al., 2013; Olsen & Borit, 2013).

- **En dépit de cette absence de compréhension commune, ces nombreuses définitions avaient toutefois en commun que la traçabilité était essentiellement appréhendée sous l'angle du système de traçabilité.**

Par système de traçabilité, on entend ainsi « *l'ensemble des processus, procédures et échanges d'informations permettant la mise en application de la traçabilité* » (UNECE, 2023). Aussi, bien que le système de traçabilité constitue une dimension clé dans sa mise en œuvre, il semblait que considérer uniquement la traçabilité à travers celui-ci ne permettait pas d'appréhender sa mise en œuvre de façon holistique et progressive, pour la prise en compte des enjeux de développement durable dans l'industrie de la mode. En effet, au regard de la complexité et de l'opacité des chaînes d'approvisionnement, son amélioration nécessitait logiquement des actions complémentaires et éventuellement préalables, au déploiement d'un système de traçabilité, de communication et de collaboration avec les fournisseurs par exemple. Cette amélioration de la traçabilité semblait aussi nécessiter impérativement des changements des politiques d'approvisionnement des marques. De telles différentes implications pour la mise en œuvre de la traçabilité, en réponse aux enjeux de développement durable, n'étaient toutefois pas du tout reflétées dans ces définitions héritées du champ du management de la qualité et de la sécurité.

- **Du fait de cet héritage du management de la qualité et de la sécurité, la traçabilité était systématiquement assimilée à l'origine des étapes de production.**

Cette assimilation était observée tant dans la littérature que dans la pratique. Or, la mise en œuvre de la traçabilité, en vue de la réduction et de l'amélioration des impacts environnementaux et socio-économiques tout au long des chaînes d'approvisionnement, implique la collecte et la gestion de multiples données à cette fin.

- **Enfin, la traçabilité était également systématiquement appréhendée jusqu'à la distribution, occultant ainsi sa mise en œuvre au-delà et jusqu'à la fin de vie des produits.**

Or, les projets auxquels le chercheur avait été amené à participer durant la première année de thèse, et plus particulièrement le travail de cartographie des solutions de recyclage textile, avaient fait ressortir des enjeux importants de traçabilité des produits en fin de vie, à l'occasion des étapes de tri pour le développement du recyclage textile dans l'industrie.

- **Il est alors apparu essentiel d'appréhender les enjeux de traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur dans le contexte du développement durable et de l'industrie de la mode.**

À cet égard, la chaîne de valeur s'entend comme "*toutes les activités qui fournissent ou reçoivent de la valeur de la conception, de la fabrication, de la distribution, de la vente au détail et de la consommation d'un produit ou de la fourniture du service que le produit rend*" (Notten, 2020). Ces enjeux de traçabilité ont alors été étudiés à l'occasion de la première année et afin de corroborer cette nécessité d'appréhender la traçabilité au regard de l'ensemble de la chaîne de valeur et jusqu'à la fin de vie des produits, il a été décidé de réaliser une recherche spécifique Delphi-Régnier sur les défis du développement du recyclage textile en Europe.

Le [chapitre 2](#) est ainsi consacré au premier article de recherche publié sur cette étude (Riemens et al., 2021) et ayant permis de mettre en évidence cette importante problématique de traçabilité de la composition des composants des produits en fin de vie comme un des freins principaux au développement du recyclage textile. Aussi, l'ensemble des enjeux de traçabilité sur la chaîne de valeur n'est donc pas présenté dans ce second chapitre. En effet, celui-ci vise essentiellement à étayer, dans le cadre du cheminement qui a été réalisé dans le cadre de cette recherche-action, la nécessité d'appréhender la traçabilité au regard de l'ensemble de la chaîne de valeur. Une vision d'ensemble de ces enjeux est toutefois apportée par la suite dans le [chapitre 3](#) du manuscrit, à travers le cadre d'analyse et les enseignements de la revue de littérature réalisée à partir de celui-ci.

1.2.3.2. Étape 2 : développement d'un cadre d'analyse de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables

Cette première étape a ainsi mis clairement en évidence la nécessité d'appréhender la mise en œuvre de la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Cette nécessité a été plusieurs fois suggérée, par la suite, à l'occasion des projets sur le terrain à travers les retours d'expérience. Elle a également été prise en compte dans le cadre des évolutions réglementaires, notamment au niveau européen, au cours de la thèse. En effet, dans le cadre du Pacte Vert pour l'Europe et le Plan d'Action Européen sur l'Economie Circulaire, la CE a publié le 30 mars 2022 une proposition de nouveau règlement sur l'écoconception pour des produits durables (CE, 2022). Ce règlement européen prévoit notamment la mise en place d'un passeport numérique des produits qui vise à accroître les informations disponibles et faciliter leur accès aux différents acteurs tout au long de la chaîne de valeur, afin d'améliorer la traçabilité des produits de bout en bout (CE, 2022).

À travers ce passeport, l'objectif est ainsi d'améliorer l'accès des consommateurs aux informations nécessaires pour leur permettre de faire des choix éclairés, et de donner la possibilité aux opérateurs économiques et à d'autres acteurs tout au long de la chaîne de valeur d'accéder aux informations pertinentes, tels que les réparateurs ou encore les recycleurs.

- **La traçabilité apparaissait plus complexe à appréhender compte tenu de la multiplicité des enjeux tout au long de la chaîne de valeur et face à l'absence de définition adaptée.**

À cet égard, faisant le même constat de cette difficile compréhension de la traçabilité par rapport à la transparence et au développement durable dans l'industrie de la mode, une recherche avait alors été publiée au cours de la thèse proposant des définitions adaptées et opérationnelles de ces termes et clarifiant leurs relations pour le secteur (Garcia-Torres et al., 2021). Cette recherche consistait en une étude Delphi menée avec un panel de 14 experts dans l'industrie de la mode. L'étude a alors abouti, à partir des éléments de la littérature et à la suite de cette enquête auprès des experts, à une définition renouvelée de la traçabilité interprétée comme « *la capacité d'une organisation à identifier et à contrôler la trajectoire ainsi que les conditions de chaque composant, matière, processus et ressources humaines en lien avec les produits, de leur conception initiale jusqu'à la fin de leur cycle de vie* » (Garcia-Torres et al., 2021). Ajoutant les mentions explicites des ressources humaines et de l'ensemble de la chaîne de valeur, cette nouvelle définition apportait alors une importante clarification de la traçabilité, au regard du développement durable, pour son appréhension dans l'industrie de la mode. Pour autant, elle demeurait générale et ne permettait pas d'appréhender les implications de la mise en œuvre d'une telle traçabilité.

- **En parallèle, il avait également été constaté, un développement significatif de la littérature notamment professionnelle, depuis le début de la thèse sur la traçabilité et au regard des défis de développement durable de l'industrie.**

Néanmoins, aucune revue holistique de cette littérature n'avait été réalisée compte tenu de l'émergence du phénomène. Les précédents états de l'art publiés étaient limités, explorant la contribution de la traçabilité au regard des trois dimensions économique, environnementale et sociale du développement durable (Kumar et al., 2017) ou sa mise en œuvre exclusivement quant aux chaînes d'approvisionnement dans l'industrie (Garcia-Torres et al., 2019). De plus, en l'absence de cadre d'analyse, cette littérature s'avérait difficile à appréhender, car extrêmement fragmentée, au regard de la diversité des sources scientifiques et professionnelles, ainsi que des disciplines de recherche et des diverses terminologies utilisées. D'autre part, les premiers retours d'expérience des projets expérimentaux dans lesquels le chercheur était impliqué, ainsi que les interactions avec l'écosystème, confirmaient la multiplicité des dimensions à prendre en compte dans l'amélioration de la traçabilité.

- **Dès lors, au regard des enseignements de la première étape et de ces nouveaux constats, il est apparu opportun de tenter d'élaborer un cadre d'analyse pour mieux appréhender la traçabilité, à partir d'une revue systématique de la littérature sur l'industrie de la mode.**

Cette étape suivante correspond à la deuxième année de la thèse (2022). Une revue systématique de la littérature a alors été réalisée et un cadre d'analyse a été développé, à partir de l'analyse inductive et itérative des références pertinentes sélectionnées et des dimensions clés identifiées en conséquence dans la littérature. Cette deuxième étape de recherche a ainsi donné lieu à un premier article de conférence (Riemens et al., 2022), suivi par un article étendu et révisé dans la revue *Journal of Cleaner Production* (Riemens et al., 2023). Toujours dans cette logique participative, ce cadre d'analyse a été partagé dans le cadre d'une intervention réalisée à l'occasion d'un salon professionnel textile (Première Vision, 2022), au cours des échanges sur le terrain, ainsi que dans le cadre des formations réalisées à l'Institut Français de la Mode, qui ont donné lieu à des retours positifs des praticiens.

Le [chapitre 3](#) est ainsi consacré à ce deuxième article de recherche présentant le cadre d'analyse et les enseignements de la littérature (Riemens et al., 2023). Sur le plan pratique, ce cadre d'analyse contribue à remédier à la difficile appréhension de la traçabilité rencontrée par les praticiens. À ce titre, il peut servir de grille de lecture en vue de l'étude des initiatives de traçabilité dans l'industrie ou comme outil de planification pour la définition d'actions pour son amélioration. Il peut également être utilisé comme outil à des fins pédagogiques dans le cadre de formations sur ces enjeux. Sur le plan théorique, ce cadre contribue à l'amélioration de la compréhension de la mise en œuvre de la traçabilité, au regard du développement durable dans l'industrie et offre ainsi une structure pour la conduite de futures revues de la littérature. De plus, en l'absence d'état de l'art holistique dans la recherche sur une telle mise en œuvre de la traçabilité dans l'industrie, la revue de littérature réalisée et les enseignements mis en évidence à partir de ce cadre d'analyse apportent de premières connaissances utiles pour la progression de la recherche et de la pratique sur ces enjeux.

1.2.3.3. Étape 3 : élaboration d'une architecture de modèle de maturité pour soutenir la mise œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables

Cette seconde étape de recherche a ainsi permis d'identifier et de mettre en évidence les multiples objectifs d'amélioration de la mise en œuvre de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur, en soutien d'un développement durable, et par conséquent, les multiples applications associées. En outre, elle a contribué à préciser les transformations significatives requises pour une telle mise en œuvre, nécessitant de nombreuses et diverses actions de transformation sur les différents leviers impliqués (e.g. gestion des données, déploiement de technologies, mises en place de nouvelles formes d'organisations nécessaires à la fois en interne et en externe avec les parties prenantes, développement de nouveaux processus...).

- **Cette première étape a ainsi confirmé la nécessité pour les marques de mode d'adopter une démarche holistique et progressive considérant ces différents leviers de transformation.**

Cette mise en œuvre nécessitait donc pour les marques de mode, la formalisation d'une stratégie et d'une feuille de route dédiée à la mise en œuvre de la traçabilité, tout en prenant en compte la maturité de l'entreprise et de sa chaîne de valeur. Ces conclusions étaient notamment confirmées par un important rapport qui venait d'être publié par le World Economic Forum (Betti et al., 2021) soulignant ces enjeux de traçabilité et cette nécessité de l'aborder comme une capacité stratégique tous secteurs confondus. À cet égard, le rapport mettait en évidence, à partir d'une enquête menée auprès d'un panel de 153 entreprises, que la plupart des entreprises ne seraient qu'au début de l'implémentation d'une telle traçabilité nécessaire de bout en bout, avec seulement 15 % ayant commencé à investir dans des technologies dédiées et 22% étant encore au début de leurs démarches et bloquées à la phase épineuse de définition d'une stratégie dédiée. Par ailleurs, ces constats ont été confirmés et précisés en parallèle sur le terrain et plus particulièrement à travers la participation aux différents projets collectifs expérimentaux présentés (section [1.2.2.1](#)).

- **Le chercheur a pu observer une générale difficile définition des objectifs de traçabilité par les entreprises et corrélation avec les objectifs de développement durable poursuivis.**

En effet, à travers les différents projets expérimentaux, le chercheur a noté l'établissement difficile d'objectifs en matière de traçabilité et de besoins communs en termes d'applications pour la mise en place de plateformes digitales en vue d'améliorer la collecte, l'échange et la gestion de données dans les chaînes d'approvisionnement, ce qui a donné lieu d'une façon générale à des échanges et processus longs et complexes. Le chercheur a également pu remarquer que la traçabilité et son amélioration étaient abordées essentiellement comme un projet parmi les autres initiatives pour la progression du développement durable des entreprises, soulevant alors d'importantes

barrières à sa mise en œuvre au regard de son appréhension nécessaire au niveau stratégique de l'entreprise (Betti et al., 2021).

- **Les projets ont aussi permis de confirmer et prendre la mesure de l'ampleur des difficultés soulevées par l'extension de la traçabilité tout au long des chaînes d'approvisionnement.**

L'amélioration de la traçabilité à travers les expérimentations associées de plateformes digitales, a permis de faire ressortir les nombreuses actions de transformations à mettre en place pour le déploiement de celles-ci à grande échelle, et plus largement, pour permettre une mise en œuvre effective de la traçabilité à long terme tout au long des chaînes d'approvisionnement. À cet égard, une des principales difficultés soulevées lors de l'expérimentation de ces plateformes a été celle de l'engagement difficile des fournisseurs et autres intermédiaires. Aussi, il a notamment été mis en évidence les difficultés significatives rencontrées par les fournisseurs, faisant désormais l'objet de multiples demandes de collecte de données par les marques, face à cette pression pour plus de transparence, à travers l'expérimentation de nombreuses différentes plateformes de traçabilité au regard de leur multiplicité, faisant peser le risque de l'accroissement d'une duplication des collectes de données et de la surcharge de travail associée pour ces derniers. Dès lors, il apparaissait évident que la sélection et le déploiement de ces plateformes nécessitait une étroite communication et collaboration avec les fournisseurs et autres intermédiaires dans ces chaînes pour leur engagement et ainsi leur déploiement viable sur le long terme pour tous les acteurs (Betti et al., 2021). En outre, l'extension de la traçabilité s'est également confirmée comme intrinsèquement liée aux stratégies et pratiques d'approvisionnement et d'achat des marques, nécessitant ainsi leur alignement sur les objectifs de traçabilité envisagés et la mise en place de transformations dédiées. De plus, l'absence ou l'insuffisance d'intégration des départements et des équipes associées exerçant une influence sur l'extension de la traçabilité, a été identifiée comme une importante limite dans les conclusions de certaines de ces expérimentations, et par conséquent, un obstacle potentiel majeur pour le déploiement industriel par la suite de ces plateformes. Par conséquent, l'approche inter fonctionnelle nécessaire pour la mise en œuvre d'une telle traçabilité a été explicitement reconnue, aboutissant à la conclusion de plusieurs entreprises que les équipes de développement durable ne peuvent gérer entièrement son déploiement, faisant alors écho au rapport précédemment cité (Betti et al., 2021).

- **Au regard de l'émergence de l'extension de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement dans l'industrie, il était observé un manque général de vision stratégique globale, explicite, et à long terme et sa difficile définition.**

À nouveau, cette problématique a été soulevée à l'occasion de ces différents projets expérimentaux et notamment à travers la reconnaissance explicite des entreprises du prérequis indispensable de la formalisation d'une telle vision et d'objectifs clairs et partagés de traçabilité et de sa mise en œuvre avec leurs fournisseurs, au-delà des exigences réglementaires, pour engager les différents acteurs tout au long de la chaîne dans son extension.

- **Le chercheur a concomitamment observé une traçabilité émergente des produits à travers l'introduction de passeports digitaux, en vue d'améliorer l'accessibilité aux informations et accroître la circularité, soulevant également des enjeux significatifs de transformation.**

Bien qu'émergente, de nombreux pilotes récemment initiés en vue de son expérimentation et de son déploiement industriel par la suite et notamment au regard des évolutions réglementaires en ce sens (Trace4Value, 2023 ; CIRPASS, 2022 ; BoF, 2021 ; Haegblom & Palmer, 2019). Bien que n'ayant pas pris part à des projets et pilotes dédiés, le chercheur a suivi quotidiennement ces évolutions, ce qui a permis de confirmer et préciser les enjeux de

transformation associés à l'introduction de tels passeports digitaux des produits et la nécessité, à nouveau, de prendre en compte la maturité dans le déploiement d'une telle traçabilité. En effet, il a par exemple pu être constaté que les applications associées à sa mise en œuvre (i.e. meilleurs accessibilité aux informations et interactions avec les consommateurs, mise en place de services de retour, de revente, de réparation des produits, amélioration du tri en fin de vie pour le développement industriel du recyclage textile) impliquent également de nombreuses et diverses solutions technologiques, et par conséquent, d'offres de solutions sur le marché (CIRPASS, 2022 ; Riemens et al., 2023 ; Franck et al., 2022). Aussi, dans le cadre du projet pilote CIRPASS financé par l'Union Européenne (CIRPASS, 2022) et récemment initié en vue de l'introduction obligatoire de passeport produit digital sur le marché européen pour certains produits dont textiles (CE, 2022), les études préliminaires réalisées suggèrent que, bien que les pilotes se multiplient et vont permettre aux entreprises de progresser en la matière, la maturité et notamment technologique va nécessairement impliquer un accompagnement pour leur déploiement à l'échelle industrielle (CIRPASS, 2023). Par conséquent, il est explicitement mentionné dans ces études initiales l'ambition de recueillir, dans le cadre de ce projet pilote européen, les meilleures bonnes pratiques pour soutenir la progression des acteurs et leur conformité aux réglementations, en vue de stimuler la maturité de l'écosystème et permettre le déploiement effectif futur de tels passeports produits digitaux (CIRPASS, 2023).

- **Ces différents constats ont convergé vers la nécessité et l'opportunité d'élaborer dans un premier temps, un modèle de maturité pour soutenir les marques de mode dans la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables.**

À cet égard, ces constats s'avèrent ainsi cohérents avec les conclusions initialement formalisées lors de la définition de ce projet de recherche et précédemment présentées. Néanmoins, la conduite de cette recherche-action progressive sur le terrain a abouti, au regard de l'émergence et de la complexité de la mise en œuvre de la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable dans l'industrie, et ainsi sa nécessaire appréhension préalable approfondie, au développement prématuré à ce stade d'une méthodologie complète d'évaluation et d'implémentation. Par ailleurs, l'élaboration d'une telle méthodologie s'est également avérée impossible dans le cadre exclusif de cette thèse, compte tenu de l'ampleur de l'appréhension nécessaire de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur nécessitant une approche pluridisciplinaire qui sera évoquée dans la suite de ce manuscrit dans les perspectives de cette thèse.

Dès lors, la dernière étape de cette recherche-action a été recentrée sur le développement d'un modèle de maturité, comme première brique nécessaire, pour soutenir la mise en œuvre d'une telle traçabilité. Cette étape s'est ainsi déroulée en parallèle, dans le courant de la deuxième année de la thèse, et a abouti à la formalisation d'une architecture de modèle sur la troisième année (2023). La conception et le développement de celle-ci ont impliqué, en amont, une analyse de la littérature sur les modèles de maturité pour confirmer la pertinence d'une telle solution et identifier les principales caractéristiques et lignes directrices méthodologiques. De plus, une revue des modèles existants et plus largement des outils d'évaluation professionnels, en lien avec l'extension de la traçabilité en soutien d'un développement durable tout au long des chaînes de valeur, a également été réalisée pour identifier les développements existants. Cette revue a permis de mettre clairement en évidence l'absence de modèle ou outil dédié ainsi que l'insuffisance de ceux existants pour leur combinaison dans un nouveau développement. Une telle analyse préliminaire était également nécessaire pour approfondir la compréhension des modèles de maturité très variables, et permettre la formalisation de premiers éléments du modèle (e.g. objectif, bénéfices attendus, audience, approche d'évaluation de la maturité, visualisation de la maturité...) en vue de la définition d'une stratégie éclairée pour sa conception et son élaboration. Le développement de ce modèle a alors par la suite été initié dans le cadre de cette recherche-action, en s'appuyant tout particulièrement sur l'observation participante à travers les différents projets collectifs expérimentaux et les retours d'expérience associés, ainsi que

la poursuite d'échanges individuels avec des marques et des offreurs de solutions technologiques sous forme d'entretiens semi-directifs, et plus largement, les enseignements concurrents générés à l'occasion des interactions quotidiennes avec l'écosystème industriel. D'autre part, des recherches complémentaires ont également été menées, avec l'analyse de rapports développement durable d'entreprises du secteur, ainsi que des standards et lignes directrices sur le développement durable et la traçabilité tout au long des chaînes de valeur, afin d'incorporer ces connaissances et normes existantes et considérées ainsi comme indispensables dans ce modèle. Son développement a ainsi reposé sur une démarche itérative de codification ouverte ou dite émergente (Gavard-Perret et al., 2018), à partir de l'analyse thématique du contenu de ces sources de données et leur triangulation, en vue de l'identification et de la formalisation des dimensions clés impliquées dans la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie. Ce processus itératif et multi méthodologique a abouti à l'élaboration d'une première architecture d'un modèle structuré autour de trois principaux modules, incluant chacun les dimensions et sous-dimensions essentielles associées et identifiées que les entreprises doivent considérer, ainsi qu'autant que possible, les indicateurs et niveaux pertinents pour évaluer la maturité correspondante. À nouveau, compte tenu de l'émergence et de la multidisciplinarité d'une telle mise en œuvre de la traçabilité, un modèle complet n'a pas pu être finalisé et expérimenté opérationnellement en condition sur le terrain. Pour autant, toujours dans cette logique participative inhérente à la recherche-action et afin d'assurer la validité de ces développements, l'élaboration de cette architecture de modèle avec ses différentes dimensions et sous-dimensions a été réalisée en constante interaction avec le terrain. A l'occasion des échanges dans le cadre des projets et des entretiens menés, le chercheur a progressivement pu faire part de ces différents éléments identifiés pour les confronter aux avis des praticiens.

Dès lors, cette architecture initiale de modèle de maturité apporte la structure de base étayée et qui étant indispensable pour sa finalisation, son expérimentation et son déploiement opérationnel par la suite. Il offre d'ores et déjà un premier cadre utile, avec l'agrégation des connaissances empiriques générées à travers les différents terrains de cette recherche-action ainsi que celles déjà formalisées dans la littérature scientifique sur le secteur et professionnelle sur ces enjeux de développement durable et de traçabilité, pour guider les praticiens dans sa mise en œuvre et faire progresser la recherche scientifique en la matière.

Cette ultime étape a ainsi donné lieu à un dernier article qui a été soumis dans la revue internationale *International Journal of Production Economics* et qui fait l'objet du [chapitre 4](#) de ce manuscrit.

Chapitre 2

Appréhender la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur : étude Delphi-Régnier sur les défis du recyclage textile

Ce deuxième chapitre de la thèse correspond à la première étape de cette recherche-action qui s'est déroulée lors de la première année de la thèse (2021). Au cours de cette première année, le constat a ainsi été celui de l'absence de définition commune et globale de la traçabilité permettant d'appréhender sa mise en œuvre de façon holistique dans le contexte du développement durable dans l'industrie. En effet, initialement implémentée à des fins exclusives de gestion de la qualité et de la sécurité, la traçabilité s'avérait systématiquement assimilée à la seule connaissance de l'origine des étapes de production jusqu'à la distribution. Or, les enseignements sur le terrain ont également permis de mettre en évidence des enjeux importants de traçabilité, au-delà et jusqu'à la fin de vie des produits pour le recyclage de leurs composants. Dès lors, cette première étape de l'appréhension approfondie des enjeux de traçabilité dans le contexte du développement durable et de l'industrie de la mode, a notamment donné lieu à un chapitre d'ouvrage ([annexe n°1](#)). D'autre part, en vue de corroborer cette nécessité d'appréhender la mise en œuvre d'une telle traçabilité de bout en bout, une étude spécifique Delphi-Régnier a été menée avec un panel de 28 experts afin d'identifier les principaux défis du développement du recyclage textile en Europe. Cette étude a alors permis de mettre explicitement en évidence à partir d'une démarche scientifique, les enjeux significatifs de traçabilité de la composition des composants des produits lors des processus de tri en fin de vie, parmi les principaux freins au développement du recyclage textile.

Cette étude a fait l'objet d'un premier article qui a été publié dans la revue *Sustainability* dans le cadre du Special Issue [Sustainable Fashion and Textile Recycling](#). Cet article de recherche a reçu le prix du meilleur article en supply chain durable dans le cadre de l'[édition 2022](#) de ce prix organisé par France Supply Chain et l'Association Internationale de Recherche en Logistique et Supply Chain Management (AIRL-SCM).

Dès lors, la première section ([2.1.](#)) propose un résumé en français de cet article, qui est ensuite repris dans la seconde section ([2.2.](#)) de ce chapitre.

2.1. Résumé de l'article

- **Résumé (français)**

La pression croissante sur les ressources et l'augmentation de la quantité de déchets textiles ont fait du recyclage une priorité critique dans l'industrie de la mode. Cependant, le recyclage des textiles reste limité et constitue donc un sujet prioritaire dans les prochaines politiques à venir. L'industrie reposant sur des chaînes de valeur complexes, l'amélioration du recyclage des textiles passe, ainsi nécessairement par une compréhension globale des défis associés. Néanmoins, l'analyse de la littérature révèle que peu d'études empiriques ont été menées dans le secteur et qu'il n'existe toujours pas d'état de l'art exhaustif en la matière. Pour combler cette lacune dans la recherche, une étude Delphi a été menée, complétée par la technique de l'Abaque de Regnier. Dans le cadre d'un processus itératif, anonyme et contrôlé, les freins au recyclage textile ont été recensés dans la littérature et ont fait l'objet d'une discussion collective avec un panel représentatif de 28 experts, au regard de la situation en Europe. Après deux tours, le manque de pratiques d'écoconception, l'absence de politiques publiques incitatives et le manque d'informations disponibles et précises sur les composants des produits sont ressortis comme les freins au développement du recyclage textile les plus consensuels. Dès lors, en faisant dialoguer la littérature et la pratique, cet article contribue à améliorer la compréhension de l'état actuel du recyclage des textiles en Europe, en dressant un aperçu global de l'opinion des experts sur les défis prioritaires pour son développement.

- **Résumé (anglais)**

The increasing resource pressure and the expanding amount of textile waste have been rising recycling as a clear priority for the fashion and apparel industry. However, textile recycling remains limited and is therefore a targeted issue in the forthcoming EU policies. As the fashion industry is embedded in complex value chains, enhancing textile recycling entails a comprehensive understanding of the existing challenges. Yet, the literature review suggests only limited empirical studies in the sector, and a dedicated state-of-the-art is still lacking. Filling this gap, a Delphi study was conducted supplemented by the Regnier's Abacus technique. Through an iterative, anonymous, and controlled feedback process, the obstacles collected from the extant literature were collectively discussed with a representative panel of 28 experts, compared to the situation in Europe. After two rounds, the lack of eco-design practices, the absence of incentive policies, and the lack of available and accurate information on the product components emerged as the most consensual statements. Linking theory to practice, this paper aims to improve consistency in the understanding of the current state of textile recycling in Europe, while providing an encompassing outline of the current experts' opinion on the priority challenges for the sector.

2.2. A Delphi-Régnier study addressing the challenges of textile recycling in Europe for the fashion and apparel industry (article n°1)

Reference : Riemens, J.; Lemieux, A-A.; Lamouri, S.; Garnier, L. (2021). A Delphi-Régnier Study Addressing the Challenges of Textile Recycling in Europe for the Fashion and Apparel Industry. *Sustainability*, 13(21), 11700. <https://doi.org/10.3390/su132111700>

2.2.1. Introduction

With the rise of the globalization, the fashion industry has become a significant world-wide business (the global apparel market has been estimated in value to USD 1.5 trillion in 2020 [1]) based upon lengthy and geographically fragmented value chains [2,3]. Production has shifted to southern countries, mainly in Asia, while design, marketing, and distribution activities have remained located in advanced countries [4], with Europe representing an important apparel net importer (over EUR 80 billion of imported goods, mainly from China, Bangladesh, and Turkey, in 2019 [5]). Characterized by a constant growth and driven by the so-called "fast fashion" phenomenon [3], the industry has resulted in tremendous environmental and social repercussions over the last decades [3,6]. Steadily scrutinized as a substantial impactful sector, a range of estimates have successively evaluated, depending on assumptions, the fashion industry to account for 4% [7], 8% [8], and up to 10% of global CO₂ emissions [3] with the main environmental impacts imputed to the raw materials and manufacturing activities [8,10,11]. Correlatively, this accelerated fashion consumption has led to the perception of clothes as disposable items, decreasing the garment's lifetime [9,12–16]. Such a completely linear or "take make waste" model has resulted in an expanding amount of discarded textiles in Europe [3,12,14,16]. While assessing used textile flows remains challenging [17], the amount of clothes bought in the EU has been estimated to have increased by 40% over the last decades [18,19]; Europeans consuming on average 26 kg and discarding 11 kg of textiles per person per year [20]. Considering the alarming climate state [21], decreasing the resource pressure is crucial to reduce the environmental footprint of the sector while ensuring viable business models in the long term to face up to forthcoming scarcity [14,22]. Therefore, enhancing recycling has been standing as a critical priority in this wider transition towards a "circular economy" [9,14]. The concept of "circular economy" has raised interest since the late 1970s [14, 23] and derives from connected background concepts such as the famed cradle-to-cradle design philosophy [23, 24]. The most renowned definition has been framed by the Ellen MacArthur Foundation, where the economy is "restorative and regenerative by design, and aims to keep products, components, and materials at their highest utility and value at all times" [25]. Binding economic performance, social inclusiveness, and environmental resilience [26], this new industrial paradigm promotes material flows systems in which resources are optimized, thus enabling "sustainability" covering a broader framing [23]. Indeed, by promoting the reduction of resources extraction, the extension of the product lifecycle, and the minimization of waste production [27,28], the transition to circular business models has the potential to decrease the environmental impact of the industry [2,6,9,29,30].

However, the review suggests that companies are selectively implementing circular actions in their supply chains, rather than disrupting the entire business model [9] and addressing the main environmental impacts of their activities [12]. In fact, by bridging production and consumption activities [12,15,25], "circular economy" involves the implementation of several strategies usually suggested through the "R framework" and requiring radical systemic changes in how products and materials are manufactured, used, and disposed of [29 – 31]. A varying level of detail exist in the literature [32] and up to "10R principles" can be found namely refuse, rethink, reduce, reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, recycle, and recover [27,32,33]. Ordered by level of circularity, recycling rationally comes into play among the final options once the materials can no longer be reused, following the existing EU waste hierarchy of optimal treatment solutions [34]. However, it is estimated that only 12% of global material flows for clothing are recycled, mainly into "open loop" applications [9] (such as insulation material, wiping cloths,

or mattress stuffing), also referred to as "cascaded recycling" [35] or "downcycling" [36,37] because of their lesser economic value [38], while much higher rates are noticed in other industries [39]. Only less than 1% of clothing textile material would be recycled into new clothes, referred as "closed-loop recycling" or "textile-to-textile recycling", the 87% remainder ending up mainly in landfill or being incinerated [9]. Therefore, lifecycle-extending practices are not sufficient in themselves and must be enhanced, along with improving recycling practices [14]. Within this context, the sector is particularly targeted in the up-coming Green Deal strategy [40] aiming to achieve climate neutrality in Europe by 2050, as shown by the foreseeing EU Strategy for Textiles [41] ambitioning to boost the EU market for sustainable and circular textiles. The public consultations launched recently by the European Commission [41,42] reveal a wide range of dedicated policies to enhance textile recycling (i.e., separate collection mandatory by 2025, incorporation of recycled content, digital passport...). However, despite increasing interest in the industry, textile recycling is still a limited research area [14], which has mostly been explored from a technical perspective, to improve textile recycling processes towards value-added products [36]. An increasing body of research has been also dedicated to the study of the environmental benefits of textile recycling [35]. However, while its improvement is consistently pointed out as requiring a "system-level change" with extensive stakeholders' collaboration [25], very few comprehensive studies have been conducted. The literature on the topic is fragmented, and empirical studies remain limited, which impedes an explicit evidence-based state-of-the-art on the current challenges in the sector. Although a flourishing literature on textile-specific barriers to the implementation of the "circular economy" has advanced knowledge in the industry [12,29,32], these studies do not provide a systematic analysis of the existing issues related to the textile recycling value chain.

Subsequently, this paper aims to answer the following research questions: What are the current impediments in the textile recycling value chain? What are the priority challenges to address in order to enhance textile recycling in the sector? To achieve these research objectives, a systematic review was conducted to identify the recurring challenges acknowledged in the existing literature on textile recycling.

Then, a purposely designed qualitative study using the Delphi method [43] and applying the Abaque de Régnier technique (Regnier's Abacus) [44] was implemented, referred to as "Delphi-Régnier" in the remainder of the paper. With an unprecedented panel of 28 experts in the field representing the different stakeholders of the recycling value chain, the reported challenges in the extant literature were translated into statements and iteratively discussed through this group communication technique, using a colour grid to collect experts' opinions. The study is not strictly limited to textile-to-textile recycling but instead aims to explore the overall challenges related to the optimization of textile recycling, to better comprehend the current collection, sorting, and recycling system. With regard to previous exhaustive research on the topic [14], the originality of the study resides both in the representativeness of the panel and in the Delphi-Régnier method used. This method differs from a simple interview and helps to advance empirical knowledge on textile recycling with the confrontation of the experts' opinions between the iterative rounds. Moreover, while barriers of textile recycling have started to be explored in the industry [12,14, 29, 32], this Delphi-Régnier study provides a holistic analysis of the contextual challenges and addresses the priority concerns in the sector, by allowing consensus and dissensus on the topic to arise. The research focuses on the European situation but still provides general findings advancing the literature on sustainability in the fashion and apparel industry. If the method has inherent limitations, the findings can support relevant initiatives for practitioners or policymakers and research opportunities to advance textile recycling in the sector. The paper is structured as follows: [Section 2.2.2](#) introduces the systematic literature review conducted. [Section 2.2.3](#) describes the Delphi method and the Regnier's Abacus technique, together with the associated research steps. [Section 2.2.4](#) is devoted to the presentation and discussion of the results. [Section 2.2.5](#) introduces the limitations and research perspectives. At last, [Section 2.2.6](#) concludes on the main findings.

2.2.2. Literature review

A prior systematic review [45] was developed on the research problem, to explore the challenges of textile recycling with regards to the fashion and apparel sector. It was done using the databases Scopus, Science Direct, and Web of Science to guarantee an extensive coverage. As a relatively new and transdisciplinary area, we decided not to limit the scope of the review and include empirical studies, review papers, conference proceedings, and book chapters as long as they served the research objective. An additional search was done through Google Scholar to make sure that on-topic publications, unavailable on specific databases, were not omitted. Preliminary research suggested a limited academic literature, corroborated by Sandvik et al. [14]. Following the review protocol from preceding reviews on textile recycling [46], white papers and public reports from well-established organizations or institutions were also considered, after an extensive search on Google. By contrast, we noticed an extensive grey literature, especially several studies that have been published by practitioners for public institutions to improve resource management. However, the priority was given to peer-reviewed journals, and only the most relevant publications were cautiously included. Even if no limitation on the publication date was pre-established, research has significantly increased since 2005 with a clear rise in publications starting from 2018, and only the most recent papers were selected to ensure a contemporary state-of-the-art.

Keyword identification was challenging as in primary enquiries, engineering, material, environmental sciences, and chemistry fields prevailed, confirmed by the review of Shirvanimoghaddam et al. [36]. Initial extensive research was conducted using the combination (textile OR apparel OR garment) AND (recycling) AND (challenge OR obstacle OR limit OR complex OR barrier). Numerous papers on wastewater treatment were raised while our research focused on the narrowed understanding of textile recycling as the "breakdown and reclaiming of textile raw materials to new ones" [38]. Following an inductive and flexible process [45], the research protocol was progressively revised based on subsequent findings. We replaced ("recycling") with the keywords and Boolean connector ("*circular*" AND "*waste*") in the research string to broaden the scope and target papers on textile flows management that were relevant to the research problem. A total number of 1414 articles resulted from those two keyword equations, which were applied to titles, abstracts, and keywords for Scopus and Science Direct, and to "*all fields category*" for Web of Science. The filtering process was another obstacle due to the fragmented literature. It was initiated by checking titles and abstracts, firstly excluding publications unrelated (1) to the aforementioned delineation of textile recycling and (2) to the textile and apparel industry.

After removing the duplicates, this process resulted into 98 references. Then, full reading was performed to successively define inclusion and exclusion criteria. As a lot of papers were related to the aforementioned technical fields, we first only included articles providing overarching discussions on textile recycling, and we started classifying the reported challenges. Based on the initial findings, a second round of reading was carried out, and only publications either providing empirical knowledge or further supporting some of the challenges identified were incorporated, diminishing the sample to 20 publications. A flowchart of the literature review process is shown in [Figure 5](#).

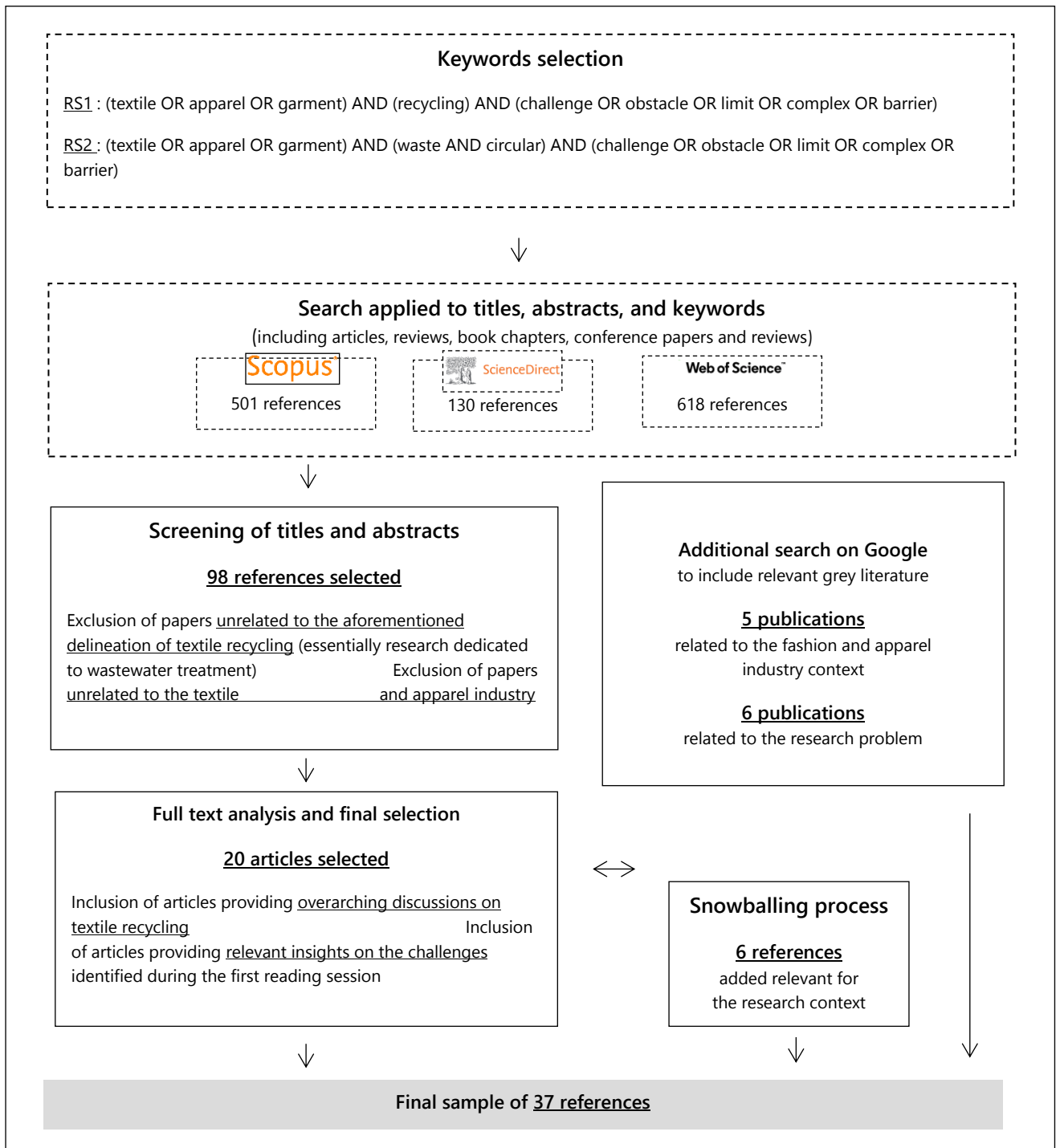


Figure 5. Flowchart of the systematic literature review.

The review starts with a general discussion on the key findings, supported by a mapping eliciting the outlined challenges and their recurrence rate in the academic literature, presented in below Table 1.

Chapitre 2. Appréhender la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur

	Document type	Source	Year	Collection infrastructures	Inadequate sorting	Information on material and chemical content	Ease of disassembly	Innovative recycling technologies	Profusion of material blends	Yarn and fabric construction	New materials introduction	Use of chemical substances	Use conditions	Recycled output quality	Output recyclability	Connection between supply and demand	High costs associated to recycling	Research and investment costs	Market opportunities	Awareness and education	Collaboration between stakeholders	Guidelines, regulations and supporting policies	Environmental performance assessment	
Towards A Conceptual Framework of Sustainable Practices of Post-consumer Textile Waste at Garment End of Lifecycle: A Systematic Literature Review Approach [47]	Review	Sustainability	2021		X				X													X		
Textile Recognition and Sorting for Recycling at an Automated Line Using Near Infrared Spectroscopy [48]	Article	Recycling	2021		X				X															
Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability [49]	Review	Environmental Sciences Europe	2021	X	X			X	X				X	X							X		X	
Closing the loop on take, make, waste: Investigating circular economy practices in the Swedish fashion industry [12]	Article	Journal of Cleaner Production	2021					X	X														X	
Apply DEMATEL to Analyzing Key Barriers to Implementing the Circular Economy: An Application for the Textile Sector [29]	Article	Applied Sciences	2021			X		X	X					X				X			X		X	
Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy [50]	Article	Journal of Cleaner Production	2020	X	X				X								X							
Death by waste: Fashion and textile circular economy case [36]	Review	Science of the Total Environment	2020					X	X			X	X	X	X					X			X	
Close the loop: Evidence on the implementation of the circular economy from the Italian fashion industry [26]	Article	Business Strategy and the Environment	2020					X	X					X				X			X			
A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry [32]	Article	Sustainable Development	2020	X	X		X	X	X			X		X									X	
The circular economy in the textile and apparel industry: A systematic literature review [51]	Review	Journal of Cleaner Production	2020			X		X	X					X							X		X	
Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling [14]	Article	Journal of Fashion Marketing and Management	2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A review of the socio-economic advantages of textile recycling [46]	Review	Journal of Cleaner Production	2019	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Improving recycling of textiles based on lessons from policies for other recyclable materials: A minireview [39]	Review	Journal of Cleaner Production	2019	X					X			X					X			X			X	
Textile recycling processes, state of the art and current developments: A mini review [52]	Review	Waste Management & Research	2019	X	X			X	X					X										

2.2.2.1. Complexity of textile recycling value chain

Consistent with the definition from the EU Waste Framework Directive [56], textile recycling is essentially designated from a technical perspective as the “breakdown and reclaiming of textile raw materials to new ones” [25,35,36] involving a degree of deconstruction [49]. However, textile recycling is actually embedded in a broader and complex textile flow management system involving several preceding stages. Starting with the collection, textiles are usually classified depending on their collection point along the value chain: textile flows are either designated upon “*pre-consumer*” if collected at the industrial level or “*post-consumer*” if collected after use [25,32,57]. “*Pre-consumer*” usually comprises all types of waste from companies resulting from manufacturing and distribution activities, from textile offcuts to unsold products, whereas “*post-consumer*” refers to used articles discarded by consumers once no longer wanted. Upstream, some also distinguish between the “*post-industrial*” (side-effect of clothing manufacture) and the “*pre-consumer*” (inferior quality garments or unsold product at the retail stage) feedstocks depending on the source in the value chain [16,58]. Nevertheless, while the “*pre-consumer*” fraction in general is underreported [59], the post-consumer part entails the major challenges for the sector. Overall, 15%–20% of clothes have been estimated to be collected for reuse and recycling practices within Europe [35,46], and important disparities of collection schemes are addressed [9,46]. Attempting mappings on textile flows highlights collection rates varying from 22% (Sweden) [60], 39% (France) [61], and 45% (Denmark) [60], up to 75% in Germany [9] of overall textiles put on the market. Once collected, items undergo thorough manual sorting, which is resting upon a business model towards the second-hand market [46,54] and the quest for high-quality clothing [46], also referred as “*diamonds*” [57] or “*cream*” [17,61]. While oversimplified, the reusable feedstock is separated from the nonreusable stock. A significant fraction is exported abroad, while the most valuable part is directed to fine sorting for nearby markets [11, 40, 41, 54]. Still, for the majority being sold in global markets, the question of their subsequent treatment is left untackled, which explains the current low estimates of textile recycling [9]. Moreover, some exports markets are becoming saturated [54,62], and the quality of reusable textiles appears to have fallen [54,61], a situation further exacerbating the primary issue of textile recycling for the coming years in the sector. Following reuse, the nonreusable fraction is directed across different recovery avenues (recycling, energy recovery, or incineration) or landfilled with varying rates depending on the countries. In preparation for recycling, textiles are further sorted manually based on their composition [61] and colour [54], vis-à-vis recyclers’ specifications requirements. In addition, external components (i.e., metallic parts, buttons, zippers) are disassembled prior to recycling mostly through a manual process [38,46]. To put this into perspective, in France, where an Extended Producer Responsibility (ERP) has been in place since 2007 for clothing, linen, and shoes [55], 56.5% of the items sorted in facilities under contract are reused, mainly overseas (95%), 33.3% is recycled, 9.1% is recovered for solid fuel, 0.7% is incinerated for energy recovery, and only 0.4% is disposed, either through incineration or landfill [61]. The ERP is a policy tool for encouraging and enabling recycling by giving financial and/or physical responsibility to producers for treating and disposing of post-consumer products [17], which is particularly considered in the upcoming EU strategy for the textile sector [41]. Even when nonreusable textiles are recycled, the main destinations remain “*open loop*” applications such as wipers, nonwoven, or insulation felts towards other industries [9,14,63].

Therefore, a technological barrier is commonly outlined, and a strong technical emphasis has been featured in the literature on textile recycling.

2.2.2.2. Technological barriers of textile recycling

The lack of technologies to support the development of textile-to-textile recycling is identified as a crucial persisting barrier, as attested by the recurrence rate documented in Table 1. Indeed, textile recycling is predominantly based on established mechanical recycling [9, 26]. As regards to the existing processing routes, a typical classification is made between mechanical and chemical recycling [38,58]. Mechanical recycling implies cutting the fabric into smaller pieces and then progressively shredding them through a rotating drum until reaching a fibrous state, suitable for re-spinning into new yarn or for other manufacturing products. Less common, “*thermal recycling*” is

occasionally specified [36] to recycle synthetic fibers by melt extrusion, regularly mentioned under "mechanical recycling" as implying prior mechanical processing [35]. The process can be used to recycle fabrics made from natural fibers as well as synthetic fibers [38]. However, the shredding of the fabric during the mechanical process shortens the fiber length and thus, reduces the quality output [37, 51, 53]. In "*fiber recycling*" [9], recycled fibers need to be blended with virgin fibers to reach a satisfactory quality level for yarn spinning [38,46]. Therefore, pre-consumer flows are considered more suitable than post-consumer waste for textile-to-textile recycling, as they are more consistent in quality and colour [35, 38], with exceptions such as wool, made up of long fibers [58]. Polyester and other thermoplastics can be recycled through thermal recycling, also referred as "*mechanical polymer recycling*" [9], during which the garments are cut and granulated into PET pellets by applying heat [49] with a certain loss of quality [49, 64]. Despite being technologically feasible, this process is however not yet applied at scale [9]. Moreover, apparel textiles are often composed of fiber blends, thereby introducing the challenge of separation [14,58,65] and limiting the range of recycled commodities [51]. Consequently, the main destinations remain shredding the textiles to fiber for applications such as nonwoven or insulations, explaining the negligible "textile-to-textile" recycling share previously mentioned [38]. As such, the distinction between "open-loop" and "closed-loop" aims to reflect the outcome level of refinement [35]: "*closed-loop recycling*" designates "*material recycling for a more or less identical product*" [17,38] while "*open-loop recycling*" appoints processes in which the material is used in another product [17,38], typically towards other industries. In this perspective, a body of scientific research has explored potential applications via mechanical recycling, including composites, sound absorber, or thermal insulation [36]. By contrast, "*chemical recycling*" implies a higher degree of processing through depolymerization (process of breaking polymeric bonds, for synthetic fibers only) or dissolution (for natural or synthetic cellulosic fibers) [35]. However, chemical recycling is still limited [9,62]. Several innovative processes have been developed [52], especially towards pure cotton and cotton-polyester blends [9]. However, the current technological state is ambiguous, the review suggesting a lack of technological maturity, [9] a deficient economic viability, [9] or the need for investment in research and development [46]. Consequently, the market share of recycled fibers was estimated in 2020 at 8.1% of global fiber production, but such incorporation of recycled fibers mainly derives from the recycling of PET bottles [66] established since the 1970s [38,67]. In addition, it must be noted that this typology appears oversimplified, as recycling operations often comprise a mix of mechanical, chemical, and thermal processes [35]. Therefore, further classifications have been proposed according to the level of disassembly [9,35] and more recently to the polymer structure of the fibers [27] to promote a clearer communication on the technological progress of textile recycling. Another technological barrier resulting from the sorting stage is reported in the literature [9,17,47,48,50,68]. As previously outlined, sorting is a manual and costly phase, and therefore, there is a need for an economically viable and effective way to recognize and sort textile materials, to further advance textile-to-textile recycling as requiring homogenous feedstocks [48,50]. This current manual sorting is lacking reliability to recognize and sort the items according to their material content, jeopardizing the subsequent recycling process [48]. The item's composition is often varying over its lifetime, and the care labels are often cut-off or inaccurate. According to a study conducted by Circle Economy, up to 41% of labels on blended materials contain incorrect information [68].

2.2.2.3. Systemic challenges to enhance textile recycling

As part of this complex textile flow management system, textile recycling involves a myriad of other stakeholders [9,35,47,57] such as charities, municipal waste-collection services, or resell organizations. Only a few mappings of textile flows can be found in the academic literature [16,57], and empirical studies investigating textile flows in these sorting facilities are lacking [54]. However, changes are required throughout the whole value chain, as the performance of this eco-system determines the amount of collected textiles that can be further reused and recycled [54]. Therefore, beyond technical matters [14], numerous obstacles are encountered in the optimization of textile recycling, entailing it as a systemic challenge [14,38]. Several studies, both theoretical [16,51] and empirical [26,29,32], have started to explore the textile-specific barriers related to the implementation of circular economy.

While some studies provide in-depth analysis [29,32], they investigate the impediments related to the circular economy as a whole and therefore do not enable a holistic and systematic analysis of the recycling value chain. To the best of our knowledge, the most recent extensive research was carried out by Sandvik et al. in 2019 [14]. The study took a qualitative approach through semi structured interviews with 11 stakeholders and investigated the drivers, inhibitors, and enablers of creating a textile-to-textile recycling system in the Scandinavian fashion industry. The main inhibitors found were the limited recycling technology to separate materials, high costs of research and development, supporting logistics, and complexity of supply chains including multiple stakeholders. However, while extending knowledge on the types of systemic and technological changes required, the study does not allow to leverage the amplitude of opinions and the sample's lack of representativity. Moreover, the study only focuses on textile-to-textile recycling, while both closed-loop and open-loop applications have their importance to reintegrate the increasing nonreusable feedstock [38]. The remainder of the research remains theoretical and only looks over some challenges, without further investigation. Therefore, the literature is scattered, as shown by the fluctuated attendance rate in [Table 1](#).

Although some challenges stand out more than others, the current analysis is unable to provide a clear vision on the research problem. Among the most comprehensive articles, Filho et al. [46] investigated the socio-economic advantages of textile recycling and provided the most systematic review we found on textile recycling. The review explored the socio-economic advantages of textile recycling and pinpointed barriers to the optimization of textile recycling without specifying if they were arranged by importance: (1) economic viability, (2) composition of textile products, (3) non availability of recyclable textile materials, (4) technological limitations, (5) lack of information and limited public participation, and (6) poor coordination, and weak policies and standards.

In comparison, Holes and Holes investigated effective policies and incentives worldwide for increased recycling from other sectors to reveal opportunities for extrapolation to the textile sector. A brief overview over the challenges identified is exposed, respectively: (1) the lack of incentives to motivate consumers for recycling; (2) informational and educational programs; (3) collection options of textile waste; (4) absence of policies and regulations concerning textile recycling; (5) variety of textile fibers and chemicals. Conversely, several reports and white papers on textile recycling [9,17,62] have been published over the years, providing flourishing grey literature on the topic. Especially, the Ellen MacArthur Foundation identified four priorities to improve textile-to-textile recycling [9]: align clothing design and recycling processes, pursue technological innovation to improve the economics and quality of recycling, stimulate demand for recycled materials, and implement clothing collection at scale. Several other publications have addressed the challenges of textile recycling. For instance, Elander and Ljungkvist investigated through in-depth interviews with fashion companies, textile sorters, and recyclers 43 critical aspects for increasing textile-to-textile recycling [63]. Roos et al. [17] compiled a state-of-the-art on existing technologies while outlining the important factors for the future of textile recycling.

Based on the reported challenges in the academic literature, a thorough mapping was framed, as shown in [Table 1](#). The mapping essentially emphasizes the academic literature to outline the studies conducted so far while highlighting the fragmented state of the research. This literature review supported the implementation of our Delphi-Régnier study, and the challenges are further elaborated together with the findings in the dedicated section.

2.2.3. Research method

Considering the purpose of the research, the combination of the Delphi method and the Régnier's Abacus technique emerged as the most relevant approach. By allowing consensus and dissensus on a topic to arise, this research approach helps to advance empirical knowledge on textile recycling while outlining the priority challenges to address in the sector with regards to previous research [14,39,46]. It also appeared as the most viable approach to evaluate a series of wide-range assumptions on the topic with a wide panel of experts and generate valid results in

a timely manner [43]. The appropriateness of the method was also evaluated within the surrounding industry context [43]. As a spotlighted issue within the sector, anonymity was essential to ensure participation and minimize the risk of bias.

In addition, confronting opinions on the topic was decisive to achieve the research objectives, but direct communication between the different experts could have blocked open reflection, due to distinct business interests and unaccustomed exchange of views of the different stakeholders involved. Hereinafter, the Delphi method and the Regnier's Abacus technique are introduced, followed by a dedicated focus on the sequential research process of the study.

2.2.3.1. Delphi method and Regnier's abacus technique

- **Delphi method**

The so-called "*Delphi*" is a well-acknowledged and widely used method for consensus-building on specific topics, solicited from experts through an iterative multistage process [43]. Named in reference to the Greek oracle, this method was pioneered by the Air-Force-sponsored Rand Corporation in the 1950s and later developed by Dalkey and Helmer [69] to forecast the potential of military technology [70]. At the time, quantitative simulation was primitive and conventional face-to-face experts' consultations were unable to provide reliable results [70]. Structured around an anonymous and controlled feedback process, this method was designed to minimize the typical group interaction shortcomings (e.g., influences of dominant individuals, group pressure for conformity, standing within a profession) and ensure independent expert's judgments [43]. While inherently flexible, the Delphi method consists of the following sequential procedure [43]:

- A questionnaire is submitted anonymously to the panel of experts (also referred as "*participants*", "*respondents*", or "*panelists*").
- Responses are counted and processed (also referred as "*round*" or "*iteration*" with the submission of the questionnaire).
- Based on these responses, a refined questionnaire is elaborated and submitted to the same participants, along with a summarized report of the prior iteration. Through this controlled feedback process, experts can reassess their initial judgments and additional insights can be provided, allowing the information collected to be thoroughly clarified as the rounds progress.
- This process is iterated until common trends are achieved and are precise (consensus and dissensus).

By facilitating exchanges of opinions, the Delphi process has been progressively used beyond forecasting in diverse application areas such as program planning, needs assessment, policy determination, and resource utilization [43]. With respect to the fashion industry, the methodology has recently received interest in research on sustainability challenges [71] and the underlying issue of traceability [72,73]. Especially, the method appears suitable to investigate complex and multidisciplinary problems [72] by allowing to correlate informed judgements on a topic spanning a wide range of disciplines, to explore or expose underlying assumptions or information leading to differing judgements, and to seek out information that may generate a consensus [74]. The Delphi method being conditioned by its use; different analysis techniques can be used to interpret the data [43] and thus, various forms of Delphi have been applied in the literature. As part of our study, the information investigated is essentially qualitative.

Therefore, in coherence with our research objectives, we decided to use the Regnier's Abacus formalized technique, particularly suitable for collecting and processing qualitative information [75].

- **Regnier's abacus technique**

The Regnier's Abacus was developed in the 1970s by P. François Régnier in the medical field, to offset the usual drawbacks of working groups. By using a colour panel to collect and share opinions on a topic, this visual communication technique was designed to promote constructive debates and facilitate decision-making. Initially assembled with coloured cubes representing the decision scale [44], the available digital tools have further enhanced the possibilities associated with this method by allowing to collect and process data instantly. Thus, the abacus continues to attract interest and is used for many applications, ranging from forecasting research to simple projects evaluation [76]. The modalities are very simple as they are based on the "traffic signals" logic. Statements, also referred to as "items", are previously defined on the topic investigated to provide an opening framework for reflection, though in precise, concrete, and relevant terms [75]. Experts are invited to react on each item, by selecting one of the following seven colours reflecting the hierarchy of possible opinions :

- **Green:** the expert strongly agrees with the statement.
- **Light green:** the expert agrees with the statement.
- **Orange:** the opinion of the expert is mixed.
- **Light red:** the expert disagrees with the statement.
- **Red:** the expert strongly disagrees with the statement.
- **White:** the expert cannot answer.
- **Black:** the expert does not want to answer.

The light colour indicates a transparency in answers, while white and black reflect opacity [75]. Therefore, in contrast to other data-gathering or analysis techniques, the colourful matrix produced enables a comprehensive and immediate perception of opinion. To complete this study, the open-source solution Color Insight (<http://colorinsight.fr/>, accessed on 5 February 2021) was used to generate the questionnaires, collect answers, and process information. An overview of the Color Insight voting platform is provided in the [Figure 6 \(Appendix A\)](#). The respective steps involved in conducting the study are described in the following subsection.

2.2.3.2. Implementation of the Delphi-Régnier study

Considering proper planning management and motivation are key when conducting a Delphi study [43], particular attention has been paid to the distinctive research steps, due to the wide variety of stakeholders involved in the panel. To give an insight of the study's implementation, Table 2 illustrates the different steps involved in the research process, while the formulation of the initial statements, the selection of experts, and the rounds procedure are further explained successively.

Step 1	Literature review on textile recycling challenges from a fashion and apparel perspective Identification and codification of the challenges reported in the literature Formulation of the initial statements
Step 2	Identification and selection of the experts: to ensure a representative panel of the whole value chain, the panel was formed on the following stakeholder groups: <ul style="list-style-type: none"> • G1: Fashion and apparel companies • G2: Textile manufacturing companies • G3: Collecting and sorting companies • G4: Recycling companies • G5: Professional associations and organizations

	• G6: Research and innovation institutions and academia
Step 3	Submission of the first questionnaire to the experts panel for consultation
Step 4	Results review and development of the refined and additional statements
Step 5	Second round of statements presented to the experts panel for consultation
Step 6	Final comments review

Table 2. Steps involved in the implementation of the Delphi-Régnier study.

- **Phase 1: building the opening questionnaire**

The first key step was building the initial questionnaire submitted to the experts in the first round, as it significantly guides the areas in which the Delphi-Régnier study will generate ideas [75]. We decided to establish the questionnaire beforehand, in order to target the most competent experts, based on the pre-established statements. During the literature review, a coding process was performed identifying and grouping by coherent themes the challenges reported. Based on this matrix, presented in [Table 1](#), a set of 23 statements, also referred to as "*items*" in this paper, was formulated, as shown in [Appendix B](#). All statements were carefully examined iteratively by the authors to reduce the risk of misinterpretation.

- **Phase 2: constitution of the experts' panel**

The constitution of the panel was the second key step. While no standard number of experts is defined in the literature, it is considered that a Delphi study can generate results from 11 experts [75,77]. Moreover, it likely depends on the research purpose and the reference groups involved [43]. If the sample size is too small, the pooling of judgments will not be representative enough, while if the sample is too large, the completion of the study may be infringed by potential low response rates, due to the inherent time-consuming feedback process [43]. Within our research context, this step was particularly challenging because of the fragmented nature of the textile and fashion value chain, all the way to the recycling stage. Although recruiting experts from homogeneous background entails the risk of producing biased results [43], the involvement of the different stakeholder groups was essential to confront their views on this system-level matter.

Given this unprecedented representativeness, we assumed that consensus observed would rather provide substantial results for the sector.

To select the most appropriate individuals, authors recommend proceeding through a rigorous nomination process without further specifications [78]. Therefore, we initially defined relevant stakeholder groups reflecting the different actors involved in the recycling value chain. We also considered it relevant to include academia, confederations, and other active institutions specialized in the field of textile recycling. Based on these stakeholder groups, we progressively built a database of experts by soliciting professional recommendations and by conducting a review process, using a number of sources, including media articles, available reports, web searches, or industry association membership. We anticipated that motivation would be key to the successful implementation of the study [43] and thus, we decided to initially send an email to each nominated expert with a summary document explaining the research objective, the method, and the timeframe, to gauge interest and availability to participate in the study. As we received responses or not from the experts, we continued this process reiteratively until reaching a sufficiently representative panel that would allow the convergence of ideas on the topic. In total, we contacted 39 experts, and we obtained the confirmation of 28 experts, as shown in [Table 3](#). To ensure the most competent experts within the specialized area of knowledge and ensure the quality of the results [43], we mainly selected senior skill-level profiles. The panel is evenly split between women (61%) and men (39%), as well as between the stakeholder groups:

Chapitre 2. Appréhender la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur

- **Group 1:** Fashion and apparel companies (18%)
- **Group 2:** Textile manufacturing companies (11%)
- **Group 3:** Collecting, sorting, and trading organizations and companies (25%)
- **Group 4:** Recycling companies (14%)
- **Group 5:** Institutions and policymakers (14%)
- **Group 6:** Research, support, and innovation organizations (18%)

Stakeholder group	Type of stakeholder	Experts' position
G1 Fashion and apparel companies	High-end segment High end segment Mid-range segment Sportswear Workwear	Head of Circularity Head of Recycling Activities Head Quality and R&D Textile Recycling leader Owner
G2 Textile and spinning manufacturing companies	Spinning mill (mechanical recycling wool, cotton/polyester, polyamide) Textile company (silk) Textile company (wool)	Sales Manager Textile Designer Head of R&D Head of Innovation and Sustainability
G3 Collecting, sorting, and trading organizations and companies	Charity organization Social integration company Industrial group (comprising recycling activities) Solution for brands for reuse, recovery, and recycling Solution for brands for reuse, recovery, and recycling Solution for brands for reuse, recovery, and recycling Trading and tracking platform for industrial textile waste	Head of Textile Mission Textile Recycling Project Manager Head of Collection Program Chief Executive Officer (CEO) Chief Executive Officer (CEO) Chief Executive Officer (CEO) Sales and Marketing Lead
G4 Recycling companies	Chemical recycling company Chemical recycling company Mechanical recycling company Mechanical recycling company	Process Technician Chief Marketing Officer & Head of Investor Relations Chief Executive Officer (CEO) Chief Sustainability & Marketing Officers
G5 Institutions and policy officers	Professional Confederation Professional Confederation Professional Confederation Organization managing end-of-life products	Policy Officer Sustainable Business Senior Policy Officer Recycling Project Manager Head of Innovation and Recycling
G6 Research, support, and innovation organizations	Non-Profit Organization promoting Circular Economy Non-Profit Organization promoting Circular Economy University Innovation Research Centre Industrial Cluster	Senior Policy Officer Research Analyst Circular Textiles Program Manager for Sustainable Textiles Business Manager Circular Economy Business Manager

Table 3. Panel of the 28 experts established following the selection process.

- **Phase 3: round's procedure**

The initial questionnaire of 23 statements was sent to the experts through a dedicated voting link via Color insight, on which they were required to provide their opinion based on the Régnier Abacus colour grid, as shown in [Figure 6 \(Appendix A\)](#). To avoid any interpretation during the analysis, participants were also asked to justify each of their answers with a short comment. Moreover, at the end of the questionnaire, experts have the opportunity to submit additional statements if some were missing, thereby strongly enriching the study. As suggested in the literature [43], the timeframe was a challenging aspect to maintain the subject motivation during the completion of the study, notably with the high number of participants. To prevent non-response and avoid a discontinuity in the answers between the rounds, experts were given two weeks to reply, and the same period was planned for the questionnaire review.

Resulting from the colour votes proposed by the experts on each statement submitted in this first questionnaire, an item matrix was generated, as shown in [Figure 9 \(Appendix D\)](#). The items matrix enables to overview, from top to bottom, the most favourable statements to the most unfavourable, with dissensus in the middle of the picture. The matrix was generated according to the "classic mode" proposed by Color Insight: the colour weights are 5 for dark green, 4 for light green, 3 for orange, 2 for light red, and 1 for dark red. Throughout a review process, the authors examined and synthesized the votes and comments from this first round. As there is no standard threshold in the literature, it was decided that a consensus was reached once 60% of answers in favour (green) or against (red) was observed. Based on the comments, 3 statements were added and removed respectively, and all the other items were carefully reworded accordingly. Such modifications were clearly indicated in the second questionnaire, by the respective mentions of "new item" and "edited item" in front of each statement.

The second round was launched with the same participants and included the following:

- The refined questionnaire of 21 items provided in [Appendix C](#).
- A summary document presenting the first-round results, to give the occasion to the experts to confront and reassess their previous answers.
- A full report with the breakdown of votes and the anonymized comments for each item was added to minimize the distortion risk, commonly described in the literature [43].

No new comments emerged during the second round, and the major opinion trends among the experts were confirmed. Therefore, we considered that the majority of convergence was reached, and we decided to end the study. Only positive consensus was reached following both questionnaires, the remaining statements being subject to dissensus among experts. As shown by the respective matrix [Figure 9 \(Appendix D\)](#) and [Figure 10 \(Appendix E\)](#), the results are not highly pronounced, which complicated the analysis. Therefore, the examination of votes and comments was performed through iterative reviews by the steering committee to limit as much as possible the subjective bias in the interpretation. Nevertheless, favourable consensus and disagreement stand out to a greater extent in the second round.

As a result, 10 statements reached positive consensus, out of the 21 submitted, despite the heterogeneity of the panel, and the supporting comments provided further insights, described in the findings. It should be noticed that 23 of the 28 experts from the first round responded to the revised questionnaire in the second round. While this drop in participation is one of the shortcomings of the research method [43], the representativeness of the panel was maintained, and thus, the findings remained coherent with the preceding results.

2.2.4. Findings and discussion

Following the Delphi-Régnier study, the steering committee synthesized the answers provided by the experts. Considering the refinement and addition of statements, based on received comments in the second round, we attempted to group the opinions by coherent themes. Derived from the study conducted by Elander et al. [63] in 2016, the following five categories were identified as the most relevant for aggregating the statements while ensuring a sufficient level of detail. Although closely connected, the categories encompass critical aspects of textile recycling, thereby allowing to evaluate the reviewed challenges in relation to the value chain described in the first section of the paper. In addition, a significant "*organizational*" issue emerged during the completion of the study, which resulted in the inclusion of a fifth distinctive category entitled "*coordination*".

- **Product and material input**
- **Information**
- **Technologies**
- **Markets**
- **Coordination**

The key findings are discussed accordingly, using the subsequent formula to reference the items: (RY-IX)—Y referring to the round's number and X to the statement's position in the items' matrix provided in [Appendix D](#) and the [Appendix E](#).

2.2.4.1. Product and material Input

- **Lack of eco-design practices**

The lack of eco-design practices in the sector is highlighted as a major challenge (R2-I1). While addressed through several design features in the first questionnaire, it was distinctively mentioned in a number of comments, and it emerged as the highest positive consensus of the study (82%). Fashion companies currently do not integrate recycling in the design process, while the end-of-life of the product should be strategically integrated in the design process [12,15,51]. Moreover, eco-design must be addressed as a thought-confronting process including all the value chain, considering both durability and recyclability, which can be conflicting in practice. Several authors highlighted such an issue [14,63], and Sandvik et al. advanced the notion of "*conditional design*" [14] requiring further understanding of the use context of clothes.

Among the most impactful design features, the profusion of material blends reached the strongest favourable consensus (75%), consistent with the findings from the literature review, while it was slightly mitigated in the second round (R1-I1 and R2-I8). Textile materials can mostly be recycled with current mechanical recycling technologies, but material blends restrain recycling applications mainly to very low value applications. Yet not all blends are problematic, and some are necessary to provide long-lasting products, raising the potential contradiction between durability and recyclability. Moreover, it is likely to be overcome with adapted and efficient technologies, partly explaining the nuanced opinions observed. The presence of external accessories, also referred to in practice as "*hard points*" (such as buttons, zippers, rivets...), emerged as an important disruptor of textile recycling (75%), particularly in the first round (R1-I4). Certain external elements (i.e., care labels) are problematic in certain recycling pathways, and especially for closed-loop recycling by contaminating the process, depending on their composition. This is equivalent to the preceding statement relating to material blends. In addition, the presence of external accessories is causing cost inefficiencies due to the manual dismantling process. Yet, other obstacles seem more critical, and the statement received less favourable votes (57%) in the second round (R2-I14). The other design features enquired about, which are less prevalent in the literature, do not stand out. Yarn and fabric construction can influence the

appropriate recycling route, especially for closed-loop applications, but to a lesser extent than material blends (R1-I19). The introduction of new materials is not considered as a potential inhibiting factor (R1-I21). There is rarely an introduction of new materials, and it likely depends on which materials. Even new materials form part of a wider fiber family and can be grouped with similar fiber types, as highlighted by one expert. Finally, the initial fiber quality is more decisive than the use conditions (i.e., wearing and washing), especially to enable spinnability in closed-loop applications through mechanical recycling, but not with chemical recycling (R1-I13).

- **Presence of chemical substances**

Almost reaching positive agreement (57%) in the first round (R1-I8), the impact related to the use of chemical substances appears confusing (R2-I18). Expressly addressed in the comments by some experts, this lack of clarification is endorsed by the significant share of white votes ("I don't know") observed in the second round. Chemical substances hamper some recycling routes by decreasing the output value or by limiting end markets. Yet, it is not clear which exact chemical substances disrupt the process and to what extent. Classifications must be provided linking chemical substances to each specific technology, to advance alternatives in practice. Refashion accordingly believes that the priority is to focus resources and effort on industrializing the recycling of non-reusable waste, before going all out into raising the collection rate.

2.2.4.2. Information

- **Lack of information on materials content**

Essentially addressed from a technological perspective in the first round (R1-2 and R1-I5) the aspect was submitted distinctively in the second round to unravel opinions on current obstacles and became further explicit (R2-I3). Information availability on the product components is essential in directing to appropriate recycling routes. The current lack of information is considered as one of the critical challenges (65% positive votes and few votes against) in the sector (R2-I3) as labels are cut-off, inaccurate, or variations occur compared to the initial composition following the use phase (as highlighted by Wilting and Van Duijn in 2020 [27]). Therefore, improving identification of non-reusable textile flows is necessary to ensure homogeneous feedstock and enhance recycling applications.

2.2.5.3. Technologies

- **Importance of technologies supporting identification**

Overall, the current sorting process emerges as one of the major bottlenecks in the value chain (R1-I2, R1-I5, and R2-I6). The pre-sorting for quality aiming to differentiate reusable items from non-reusable ones will necessarily remain manual, but automated sorting is key to enhance material composition sorting and thus, recycling applications. However, the business model of the current sorting system is based on reuse categories towards second-hand markets and is not set up for composition sortation. Automated sorting machines supported by optical and artificial intelligence technologies are available (i.e., FIBERSORT, CETIA platform, SIPTex, or IMEC were mentioned), but the implementation is trivial to scale-up. Those technological infrastructures involve high investment costs, requiring enough demand for this sorted material and adaptation of the business model, which still needs to be resolved at this stage.

On the other hand, the lack of tracking technologies to convey information up to the end of life is usually identified as a critical challenge [13]. Still, the second round emphasizes a strong dissident among the experts (R2-I17). Quite a few consider the use of product-tracking technologies unrealistic, at least in the short term for mitigated experts,

with regards to the fragmentation of the industry hindering data exchange across the value chain. It would not prevent inaccurate information or handle existing variations of content resulting from the use phase. Moreover, it would require the use of the same standards and would risk further impeding the process. Thus, some experts explicitly acknowledge optical sorting technologies as more promising. Opinions are very divided, and there is still a lack of evidence on the ability of tracking systems to overcome the consumer phase until the recycling stage in the sector. This contradicts previous research highlighting the requirement of such technologies to advance recycling (i.e., RFID et blockchain, notably) [9,14,32,46,62].

- **Need for an eased disassembling process**

The manual dismantling stage prior to recycling is also recognized as a significant obstacle in Europe due to cost inefficiencies (R1-I6 and R2-I7). The iteration process between the two rounds enabled explicit opinions to be identified. While the deficiency of automated disassembling technologies still reaches positive consensus (65%) a persistent share of disagreement is discernible (R2-I7). Yet again, technologies are available (i.e., Picker from Laroche or CETIA platform mentioned) but technological improvement is needed. Some experts are divided on the potential leverage of these technologies, and instead address a design issue related to eco-design strategies.

In contrast, the use of innovative manufacturing technologies (i.e., dissoluble yarns...) to smooth the dismantling process is prompting dubiousness (R1-I16/R2-I15).

- **Lack of scale-up innovative recycling technologies**

The statements associated with the current state of recycling technologies nudged disagreements and raised several comments until the end of the study (R1-I17, R1-I18, and R2-I20). By decreasing the fiber length during the process, mechanical recycling limits closed-loop applications necessitating to mix short fibers with virgin ones to reach sufficient quality (as shown by the favourable consensus of 64% in the first round—R1-I17). The constraints associated with the process must be understood to make the best use of the technology. Still, it can provide diverse open-loop applications, and different markets must be considered to absorb all heterogenous feedstock (as reflected by the increasing share of mixed opinions in the second round—R2-I10). Progress for thermal and chemical recycling is underway to improve closed-loop opportunities. Several technologies are available for most material streams, but it is rather a challenge of investment and support to reach industrial scale (R1-I18 and R2-I12), which entails several critical aspects according to the comments (as shown by the disagreement in the second round—R2-I20). While addressed in the literature [14] the lack of environmental performance assessment of recycling technologies raised disagreement among the experts.

2.2.4.4. Markets

- **Insufficient competitiveness of recycled content**

The statements related to demand and economic viability of textile recycling stirred up strong disagreements among experts. The current state of demand for recycled textile materials is inconclusive. Still, a market shift is advanced with an increasing demand for textile-to-textile recycled products from brands. Several costs inefficiencies are resulting from the recycling pipeline, but opinion is divided between the low price of virgin materials and the lesser quality resulting from current mechanical recycling to explain the negligible share of closed-loop recycling (R2-I13).

- **Lack of investments and long-term commitment**

High investment costs and lack of long-term engagement are currently hindering the development of thermal and chemical recycling and the development of closed-loop recycling at this stage (R2-I12). One expert suggests a lack of economic, environmental, and technical scale-up vision, which discourages future investments. Overall, comments concur with the need for policies and collective actions to increase demand for recycled content.

- **Need for policies to increase market opportunities**

The absence of incentive policies to incorporate recycled content arises as the second most consensual statement in the second round (R2-I2) following several comments (R1-I3) and corroborates previous research addressing the need for regulations for the implementation of circular economy in the sector [12,51]. Public policies are needed to increase competitiveness of recycled content and support investments towards recycling technologies. More than incentives, the use of recycled content should be enforced by regulations according to some experts, and the recent Anti-Wastage and Circular Economy Law adopted in February 2020 in France was put forward.

2.2.4.5. Coordination

- **Lack of standards on textile recycling**

At sector level, the lack of standards on notions such as "*recyclability*", "*recycled content*", or "*disrupting factors*" is failing to promote eco-design practices (R2-I4). More widely, further clarifications are needed to foster common understanding on textile recycling and disentangle impediments resulting from some disruptors in relation to existing recycling pathways. Yet, a few experts advised that rigid standards could hamper the constant innovation needed on textile recycling.

- **Lack of sector-coordinated vision**

The lack of coordinated vision at the EU level fails to support the improvement of textile recycling (R2-I5), and a harmonized EU Textiles Strategy from the European Commission is expected. Throughout the study, several measures were mentioned to address either labelling issues or trade barriers, requiring defining up front priorities to enhance textile recycling.

- **Deficient collective governance**

The lack of collaboration and governance between the stakeholders along the value chain is sustained by a steady consensus (R1-I7 and R2-I9). Given the fragmentation of the industry and the correlated shortcomings along the value chain, a decisive organizational challenge is apparent.

Comments range from the failure in governance with scattered initiatives, the lack of collaboration and specific actions, to the lack of communication. Altogether, coordination between the actors is crucial, and a few initiatives are mentioned, such as the Telaketju eco-system in Finland or the recent multi-stakeholder ReHubs project launched by EURATEX, aiming to set up an integrated system on five recycling hubs within Europe.

2.2.5. Limitations and research perspectives

2.2.5.1. Limitations

The first limitation of the study derives from the composition of the panel. Despite applying rigorous procedure rules, the selection inevitably entails shortcomings. Due to the wide range of statements and stakeholder groups, expertise was unevenly distributed among the experts, and it likely influenced the results. However, the panel was coherent with regards to the research objective, which did not aim to provide an in-depth exposition of the topic. Moreover, the study did not aim to explore the consumer's perspective. This limitation inevitably narrows the analysis of some barriers, such as the lack of awareness or the lack of demand for recycled content, requiring further investigations on consumer behaviors [79]. To generate valid results, the study required us to involve high-skilled experts with a substantial experience in the field. However, the opinion of younger generations of professionals should be considered in future research [80] specially to explore enablers to unravel these textile recycling challenges. Inherent to the Delphi method used, the second limitation is the design of the first questionnaire. Although experts had the possibility to submit comments and propose other statements later on, the orientation of the first questionnaire from the start probably created a subjective bias.

Another limitation results from a diverging interpretation observed on certain terms. We noticed that "*textile recycling*" was sometimes comprehended as equivalent to "*textile-to-textile recycling*". Although the wording of the sentence was carefully reviewed to limit the risk of misinterpretation, it certainly influenced the results. Still, experts were asked to provide comments in support of their votes, which enabled us to limit this shortcoming through a cautious review process.

Finally, a last shortcoming resides in the research approach applied. While the Delphi-Régnier method allowed us to gather empirical data and visualize expert's opinions to identify the priority challenges of textile recycling, further statistical analysis should be conducted to corroborate the results and to define precise roadmaps for the sector.

2.2.5.2. Research perspectives

Following this research, several perspectives have emerged. From a theoretical perspective, only a few comprehensive frameworks on textile recycling were found in the extant literature. These frameworks mainly consist in mappings of the different stages of the value chain. Consequently, a significant obstacle was encountered when attempting to delimit the scope of the review. The paper highlighted a lack of empirical knowledge in the literature. Based on the findings, several case studies could be conducted, allowing deeper level of observation and in-depth results. Case studies could investigate the implementation of traceability solutions in the textile value chain up to the recycling stage, as the technical, economic, and organizational viability of such solutions is still unascertained. Especially, in view of the apparent dissidence, it could advance research on circularity in the industry by investigating the leverage of these technologies in closing the textile loop. Case studies exploring stakeholder projects, such as the Rehubs initiative launched by EURATEX, could provide valuable insights on the governance and collaborative challenges necessitating by such innovative and large-scale management of material streams. Further case studies could research innovative business models to explore the implementation of circular strategies in the industry, especially with regards to the tensions between durability and recyclability. Given the lack of consensus on the demand for recycled products, more research should also be conducted with consumers to explore their perception regarding recycled products [79]. Finally, our study is qualitative and thus only elicits the main consensus among the experts on the existing challenges in the sector. It does not enable to prioritize the obstacles towards a fine roadmap or to suggest interconnections between the different critical aspects. Nevertheless, the findings show evident opportunities for extra research. Other methodologies could be used, such as the multiple-criteria decision analysis (MCDA) or the econometric analysis, to corroborate, invalidate, and further clarify the findings of the study.

2.2.6. Conclusion

This paper aimed to deepen understanding of the current challenges of textile recycling and the priority concerns to address in the fashion and apparel sector. To achieve these research objectives, a systematic literature review supplemented by a Delphi-Régnier study was performed.

Regarding the first research question, the coding process applied during the literature review allowed us to discern a set of challenges in the recycling value chain. Through the iterative process of the Delphi-Régnier study, those challenges were discussed and revised, based on experts' comments between the two rounds, advancing empirical knowledge on the topic. Based on the findings, the lack of eco-design practices emerges consensually as the major barrier preventing the enhancement of textile recycling. Innovative recycling technologies are crucial to develop textile-to-textile recycling and are now available for the main material streams. At this stage, industrialization is rather problematic and is interrelated with several other critical aspects. Beyond requiring substantial investments, recycling technologies entail abundant and suitable textile flows input to scale-up. Yet, the current manual sorting system arises as a significant bottleneck in the value chain, due to discrepancies with the paramount separation for material composition towards recycling applications.

The lack of information availability and accuracy on products components hinders directing textile feedstocks to appropriate recycling routes. Hence, improving textile recycling is closely related to the identification of technologies. As one of the main original findings, a strong dissidence prevails on the potential of product-tracking technologies to convey information up to downstream in the value chain, and experts are more inclined to automated sorting technologies. Still, the business case needs to be resolved as the entire management system of used textiles flows is rationally structured around reusability, in accordance with the waste hierarchy. Consequently, more than a technical issue, the study instead suggests an essential restructuring of this complex value chain to support the improvement of this resource management system, highlighted by the strong focus on challenges at the sector level.

Through the emergence of consensus and dissensus on the topic, we were able to answer the second research question. The lack of eco-design practices, the absence of incentive policies, and the lack of available and accurate information on the product components emerge as the most consensual statements in the second round. Based on the results obtained from this iterative process, three dominant challenges distinctively stand out, without specific order of importance: (1) The need to advance eco-design practices consistently with respect to reusability and recyclability strategies; (2) The strong requisite of policies and governance to advance textile recycling; (3) The necessity to unravel the deficiencies related to the current manual sorting system. Based on a European perspective, the study significantly emphasizes the critical impact of public policies and provides support for several recommendations to enhance textile recycling in the sector. Especially, in the perspective of the mandatory separate collection [41], the findings call for measures endorsing the optimization and industrialization of the recycling value chain, rather than an increased collection of used textiles in Europe. Finally, by refining some general assertions on the topic and providing extensive empirical knowledge on the topic, this paper can help practitioners to advance relevant initiatives. The study also highlights several research opportunities, especially on the leverage of traceability technologies to enhance textile recycling in the industry. However, the method used has inherent limitations, and further statistical analysis should be conducted to further explore the priorities or interrelations between such challenges in the sector.

Appendix A

Figure 6. Overview of the ColorInsight website used to submit the questionnaires to the experts.

The screenshot displays the ColorInsight website interface for a questionnaire. At the top, the logo 'ColorInsight collective intelligence sensor' is visible, along with a page number 'P 14'. The main heading is 'Vote Second-round questionnaire'. Below this, there is a progress bar showing '0% progression'. A legend for the color grid is provided:
■ I totally agree (dark green) ■ I agree (light green) ■ I have mixed feelings (yellow) ■ I don't agree (orange) ■ I totally disagree (red) □ I don't know (white) ■ I don't want to answer (black)
The questionnaire consists of several statements, each followed by a color grid and a comment box. A callout box points to the color grid, stating: 'For each statement, experts were asked to provide their opinion by using the color grid and to provide comments to justify their answers, thereby allowing to enhance our analysis.'
The statements include:
1. 'No separation at collection points (e.g. mix of textiles with different compositions...) is a barrier to recycling value chain efficiency'
2. 'The lack of a access to appropriate recycling technologies'
3. 'The lack of an artificial intelligence technologies'
4. 'The use of product tracking technologies (e.g. digital passports) by fashion companies seems unrealistic to ensure information traceability on composition and chemical substances until end-of-life'
5. 'The lack of innovative manufacturing solutions prevents performant disassembling (e.g. use of disoluble yarns by fashion companies etc...)'
6. 'The deficiency of automated disassembling technologies (meaning separation technologies prior to recycling) hinders recycling cost-efficiency'
At the bottom, there is a section for 'Additional informations' with a 'Main Comment' field. A callout box points to this field, stating: 'At the end of the questionnaire, experts also had the opportunity to suggest other additional barriers non-identified in the questionnaire.'
The page concludes with a 'VOTE' button and a checkbox for data usage: 'J'autorise Futuribles à utiliser mes données personnelles à des fins d'études statistiques. Voir la politique de confidentialité.'

Appendix B

Figure 7. First questionnaire statements with their vote's distribution.



The lack of dedicated and separate collection infrastructures in several countries for textile waste prevents the development of textile recycling.



The lack of efficient and cost-effective automated sorting technologies, able to provide well-defined and homogeneous feedstock (composition, quality and color) is a major barrier to enhance textile recycling.



Enhancing recycling further requires advanced information systems to exchange data across the value chain on the precise composition and chemical inputs of discarded textiles.



The lack of innovative manufacturing technologies prevents eased disassembly of the product at the end-of-life.



The absence of technologies enabling an eased disassembling process hinders the development of textile recycling.



The current limited recycling technologies prevent the development of textile recycling towards high-value applications.



The development of textile recycling is restrained by the insufficient maturity of new recycling technologies



The insufficient connection between demand and supply of textile waste inhibits resource availability and effective trading of recycled materials.



The large variety of blended materials in the industry is a major barrier as reducing opportunities for textile recycling.



The construction of the yarn or the fabric is an important potential disruptor to the recycling process.



The increasing introduction of new materials in the industry is a potential inhibiting factor by creating challenges with recycling streams.

Chapitre 2. Appréhender la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur



The use of chemical substances contribute to disrupt the recycling process by decreasing the value of the output.



The presence of external accessories (such as buttons, zipper, carelabels..) is another important disruptor of the recycling process.



The washing and wearing conditions degrade the fibers and hampers the sorting and recycling process affecting the recycled feedstock quality.



The available mechanical recycling technologies shortens the fibers during the process, preventing to provide a wide range of qualitative recycled output.



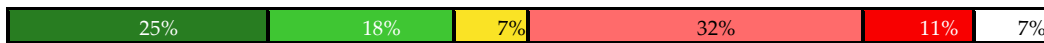
The available mechanical recycling technologies only provides outputs with limited recyclability.



The limited profitability of textile recycling is a significant bottleneck in textile recycling, preventing recycled materials to compete with virgin ones.



The high costs of research and development associated with the development of new recycling technologies discourages prospective investments.



The development of textile recycling is restrained by the uncertain end-market opportunities.



The development of textile recycling is restrained by a limited public awareness, implying low collection rates.



The lack of collaboration and alignment between all the stakeholders (collectors, sorters, recyclors, manufacturers, brands, policy-makers, consumers) curbs the improvement of textile recycling.



The missing clear regulatory framework from policy-makers fails to support the improvement of textile recycling.



The lack of accurate demonstration of environmental performance for innovative recycling technologies and the overall end-of-life treatment is a challenge in textile recycling.

Appendix C

Figure 8. Second questionnaire statements with their vote's distribution.



EDITED: No separation at collection points (e.g. mix of textiles with different compositions...) is a barrier to recycling value chain efficiency



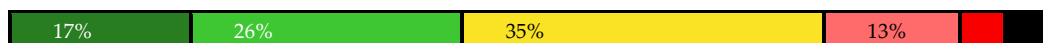
EDITED : The lack of available and accurate information on material and chemical content prevents access to appropriate recycling channels



EDITED: The lack of automated identification and sorting technologies (such as optical sorting and artificial intelligence technologies) is a barrier to recycling value chain efficiency



EDITED: The use of product tracking technologies (e.g. digital passports) by fashion companies seems unrealistic to ensure information traceability on composition and chemical substances until end-of-life



EDITED: The lack of innovative manufacturing solutions prevents performant disassembling (e.g. use of disoluble yarns by fashion companies etc...)



EDITED : The deficiency of automated disassembling technologies (meaning separation technologies prior to recycling) hinders recycling cost-efficiency



EDITED : Failure to identify appropriate feedstocks through digital platforms is limiting open-loop recycling opportunities



EDITED : The current profusion of material mix and fiber blends in the industry reduces the market opportunities



EDITED : The presence of external accessories (e.g. buttons, zippers...) is a major barrier to recycling value chain efficiency



EDITED : The current presence of chemical substances in textiles limits market applications, specifically by hampering chemical recycling process



EDITED : The low quality of post-consumer feedstock impede closed-loop recovery

Chapitre 2. Appréhender la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur



NEW ITEM : The lack of eco-design practices on product recyclability by fashion companies is a major obstacle to develop textile recycling



EDITED: The reduction of fiber length during the mechanical recycling process brings limitation to end-market opportunities



EDITED: The scarcity of available recycled products is due to the lack of scaled-up thermal and chemical recycling technologies



EDITED: Recycled content is not competitive enough compared to low priced virgin materials for garment applications



EDITED : The high costs of investment and difficulties to commit long-term for scale-up hinders the development of thermal and chemical recycling technologies



EDITED : The lack of communication and governance between all the value chain actors obstructs the improvement of textile recycling



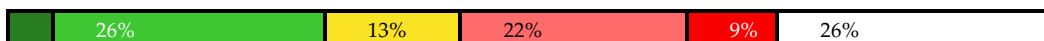
EDITED : The lack of a coordinated vision at the EU level fails to support the improvement of textile recycling



NEW ITEM : The absence of textile recycling standards (such as : recyclability, recycled content, disruptors to recycling...) fails to promote eco-design practices



NEW ITEM: Absence of incentive policies to incorporate recycled content is limiting the demand for recycled materials



EDITED: The lack of efficient way to compare the recycling process between them does not promote the use of recycled materials

References

1. Statista. Global Apparel Market - Statistics & Facts Statista. Available online: [access link](#) (accessed on 25 August 2021).
2. Gereffi, G.; Frederick, S. The Global Apparel Value Chain, Trade, and the Crisis: Challenges and Opportunities for Developing Countries; Policy Research Working Paper 5281; World Bank: Washington, DC, USA, 2010. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
3. Niinimäki, K.; Peters, G.; Dahlbo, H.; Perry, P.; Rissanen, T.; Gwilt, A. The Environmental Price of Fast Fashion. *Nat. Rev. Earth Environ.* 2020, 2, 189–200.
- Jacomet, D.; Minvielle, G. De-Industrialisation Re-Industrialisation in the Fashion Industry. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
5. European Commission. International Trade | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Available online: [access link](#) (accessed on 25 August 2021).
6. Kumar, V.; Agrawal, T.K.; Wang, L.; Chen, Y. Contribution of Traceability towards Attaining Sustainability in the Textile Sector. *Text. Cloth. Sustain.* 2017, 2, 5.
7. McKinsey & Company; Global Fashion Agenda. Fashion on Climate: How the Industry Can Urgently Act to Reduce Its Greenhouse Emissions. 2020. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
8. Quantis. Measuring Fashion Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries. 2018. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
9. Ellen MacArthur Foundation. A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future. 2017. Available online: [access link](#) (accessed on 4 October 2021).
10. Quantis. Draft Product Environmental Footprint—Representative Product (PEF-RP) Study Report Apparel and Footwear, Version 1.2. PEFCR for Apparel and Footwear—Stakeholder Workspace—EU Environmental Footprint—EC Extranet Wiki. 2021. Available online: [access link](#) (accessed on 7 July 2021).
11. United Nations Environment Programme. Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain. 2020. Available online: [access link](#) (accessed on 10 March 2021).
12. Brydges, T. Closing the Loop on Take, Make, Waste: Investigating Circular Economy Practices in the Swedish Fashion Industry. *J. Clean. Prod.* 2021, 293, 126245.
13. Sandvik, I.M.; Stubbs, W. Circular Fashion Supply Chain through Textile-to-Textile Recycling. *J. Fash. Mark. Manag. Int. J.* 2019, 2, 366–381.
14. Allwood, J.M. Well Dressed? The Present and Future Sustainability of Clothing and Textiles in the United Kingdom; University of Cambridge Institute for Manufacturing: Cambridge, UK, 2006. Available online: [access link](#) (accessed on 29 September 2021).
15. D'Adamo, I.; Lupi, G. Sustainability and Resilience after COVID-19: A Circular Premium in the Fashion Industry. *Sustainability* 2021, 2, 1861.
16. Koszewska, M. Circular Economy—Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Res. J.* 2018, 2, 337–347.
17. Roos, S.; Sandin, G.; Peters, G.; Spak, B.; Schwarz Bour, L.; Perzon, E.; Jönsson, C. White Paper on Textile Recycling; Mistra Future Fashion: Stockholm, Sweden, 2019.
18. Dahlbo, H.; Aalto, K.; Eskelinen, H.; Salmenperä, H. Increasing Textile Circulation—Consequences and Requirements. *Sustain. Prod. Consum.* 2017, 9, 44–57.
19. Sajn, N. Environmental Impact of the Textile and Clothing Industry: What Consumers Need to Know; European Parliament: Brussels, Belgium, 2019. Available online: [access link](#) (accessed on 7 July 2021).
20. European Environment Agency. Textiles in Europe's Circular Economy. 2019. Available online: [access link](#) (accessed on 7 July 2021).

21. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021 the Physical Science Basis: Summary for Policymakers. 2021. Available online: [access link](#) (accessed on 7 July 2021).
22. Bell, J.E.; Autry, C.W.; Mollenkopf, D.A.; Thornton, L.M. A Natural Resource Scarcity Typology: Theoretical Foundations and Strategic Implications for Supply Chain Management. *J. Bus. Logist.* 2012, 2, 158–166.
23. Geissdoerfer, M.; Savaget, P.; Bocken, N.M.P.; Hultink, E.J. The Circular Economy—A New Sustainability Paradigm? *J. Clean. Prod.* 2017, 143, 757–768.
24. McDonough, W.; Braungart, M. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*; North Point Press: New York, NY, USA, 2010.
25. Ellen MacArthur Foundation. *Towards the Circular Economy: Opportunities for the Goods Sector*. 2013. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
26. Colucci, M.; Vecchi, A. Close the Loop: Evidence on the Implementation of the Circular Economy from the Italian Fashion Industry. *Bus. Strategy Environ.* 2021, 2, 856–873.
27. Harmsen, P.; Scheffer, M.; Bos, H. Textiles for Circular Fashion: The Logic behind Recycling Options. *Sustainability* 2021, 2, 9714.
28. Rosa, P.; Sassanelli, C.; Terzi, S. Towards Circular Business Models: A Systematic Literature Review on Classification Frameworks and Archetypes. *J. Clean. Prod.* 2019, 236, 117696.
29. Chen, W.-K.; Nalluri, V.; Hung, H.-C.; Chang, M.-C.; Lin, C.-T. Apply DEMATEL to Analyzing Key Barriers to Implementing the Circular Economy: An Application for the Textile Sector. *Appl. Sci.* 2021, 2, 3335.
30. Niinimäki, K. Sustainable Fashion in a Circular Economy; Niinimäki, K., Ed.; Aalto University School of Arts, Design and Architecture: Espoo, Finland, 2019; pp. 1–249. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
31. Bressanelli, G.; Sacconi, N.; Perona, M.; Baccanelli, I. Towards Circular Economy in the Household Appliance Industry: An Overview of Cases. *Resources* 2020, 2, 128.
32. Kazancoglu, I.; Kazancoglu, Y.; Yarimoglu, E.; Kahraman, A. A Conceptual Framework for Barriers of Circular Supply Chains for Sustainability in the Textile Industry. *Sustain. Dev.* 2020, 2, 1477–1492. [CrossRef]
33. Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E.; Hanemaaijer, A. *Circular Economy: Measuring Innovation in The Product Chain*; PBL Publishers: The Hague, The Netherlands, 2017. Available online: [access link](#) (accessed on 28 January 2021).
34. European Commission. *Waste Framework Directive*. Available online: [access link](#) (accessed on 3 August 2021).
35. Sandin, G.; Peters, G.M. Environmental Impact of Textile Reuse and Recycling—A Review. *J. Clean. Prod.* 2018, 184, 353–365.
36. Shirvanimoghaddam, K.; Motamed, B.; Ramakrishna, S.; Naebe, M. Death by Waste: Fashion and Textile Circular Economy Case. *Sci. Total Environ.* 2020, 718, 137317.
37. Peters, G.M.; Sandin, G.; Spak, B. Environmental Prospects for Mixed Textile Recycling in Sweden. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2019, 2, 11682–11690.
38. Payne, A. Open- and Closed-Loop Recycling of Textile and Apparel Products. In *Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2015; pp. 103–123.
39. Hole, G.; Hole, A.S. Improving Recycling of Textiles Based on Lessons from Policies for Other Recyclable Materials: A Minireview. *Sustain. Prod. Consum.* 2020, 23, 42–51.
40. European Commission. *Green Deal. Un Pacte Vert pour l'Europe | Commission Européenne*. Available online : [access link](#) (accessed on 5 August 2021).
41. European Commission. *EU Strategy for Sustainable Textiles*. Available online: [access link](#) (accessed on 5 August 2021).
42. European Commission. *Sustainable Products Initiative*. Available online: [access link](#) (accessed on 5 August 2021).
43. Hsu, C.-C.; Sandford, B.A. The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. *Pract. Assess. Res. Eval.* 2007, 2, 1–8.
44. Régnier, F. *L'Abaque de Régnier : Pour une lecture musicale de la communication: Exemple d'application en éducation permanente*. *Acta Endosc.* 1983, 13, 361–373.

45. Tranfield, D.; Denyer, D.; Smart, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *Br. J. Manag.* 2003, 2, 207–222.
46. Leal Filho, W.; Ellams, D.; Han, S.; Tyler, D.; Boiten, V.J.; Paço, A.; Moora, H.; Balogun, A.-L. A Review of the Socio-Economic Advantages of Textile Recycling. *J. Clean. Prod.* 2019, 218, 10–20.
47. Rotimi, E.O.O.; Topple, C.; Hopkins, J. Towards A Conceptual Framework of Sustainable Practices of Post-Consumer Textile Waste at Garment End of Lifecycle: A Systematic Literature Review Approach. *Sustainability* 2021, 2, 2965.
48. Cura, K.; Rintala, N.; Kamppuri, T.; Saarimäki, E.; Heikkilä, P. Textile Recognition and Sorting for Recycling at an Automated Line Using Near Infrared Spectroscopy. *Recycling* 2021, 2, 11.
49. Palacios-Mateo, C.; van der Meer, Y.; Seide, G. Analysis of the Polyester Clothing Value Chain to Identify Key Intervention Points for Sustainability. *Environ. Sci. Eur.* 2021, 2, 2.
50. Riba, J.-R.; Cantero, R.; Canals, T.; Puig, R. Circular Economy of Post-Consumer Textile Waste: Classification through Infrared Spectroscopy. *J. Clean. Prod.* 2020, 272, 123011.
51. Jia, F.; Yin, S.; Chen, L.; Chen, X. The Circular Economy in the Textile and Apparel Industry: A Systematic Literature Review. *J. Clean. Prod.* 2020, 259, 120728.
52. Piribauer, B.; Bartl, A. Textile Recycling Processes, State of the Art and Current Developments: A Mini Review. *Waste Manag. Res. J. Sustain. Circ. Econ.* 2019, 2, 112–119.
53. Ütebay, B.; Çelik, P.; Çay, A. Effects of Cotton Textile Waste Properties on Recycled Fibre Quality. *J. Clean. Prod.* 2019, 222, 29–35.
54. Nørup, N.; Pihl, K.; Damgaard, A.; Scheutz, C. Evaluation of a European Textile Sorting Centre: Material Flow Analysis and Life Cycle Inventory. *Resour. Conserv. Recycl.* 2019, 143, 310–319.
55. Bukhari, M.A.; Carrasco-Gallego, R.; Ponce-Cueto, E. Developing a National Programme for Textiles and Clothing Recovery. *Waste Manag. Res. J. Sustain. Circ. Econ.* 2018, 2, 321–331.
56. European Parliament. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *J. Eur. Union* 2008, 312, 312–330.
57. Hawley, J.M. Textile Recycling: A System Perspective. In *Recycling in Textiles*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2006; pp. 7–24.
58. Leonas, K.K. The Use of Recycled Fibers in Fashion and Home Products. In *Textiles and Clothing Sustainability*; Muthu, S.S., Ed.; Textile Science and Clothing Technology; Springer: Singapore, 2017; pp. 55–77.
59. Reverse Resources. The Undiscovered Business Potential of Production Leftovers within Global Fashion Supply Chains: Creating a Digitally Enhanced Circular Economy. 2017. Available online: [access link](#) (accessed on 10 March 2021).
60. Palm, D. Towards a Nordic Textile Strategy: Collection, Sorting, Reuse and Recycling of Textiles; Nordic Council of Ministers. 2014. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
61. Re_Fashion. Annual Report. Available online: [access link](#) (accessed on 15 August 2021).
62. Fibersort Interreg Northwest Europe. Overcoming Barriers for Long-Term Implementation. 2020. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
63. Elander, M.; Ljungkvist, A. Critical Aspects in Design for Fiber-to-Fiber Recycling of Textiles; IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.: Stockholm, Sweden, 2016. Available online: [access link](#) (accessed on 23 May 2021).
64. Zimmermann, W. Biocatalytic Recycling of Polyethylene Terephthalate Plastic. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 2020, 2, 20190273.
65. Pensupa, N.; Leu, S.-Y.; Hu, Y.; Du, C.; Liu, H.; Jing, H.; Wang, H.; Lin, C.S.K. Recent Trends in Sustainable Textile Waste Recycling Methods: Current Situation and Future Prospects. *Top. Curr. Chem.* 2017, 2, 76.
66. Textile Exchange Preferred Fiber and Materials Market Report 2020. Textile Exchange. 2020. Available online: [access link](#) (accessed on 28 May 2021).
67. Awaja, F.; Pavel, D. Recycling of PET. *Eur. Polym. J.* 2005, 2, 1453–1477.

68. Wilting, J.; Hilde, V.D. Clothing Labels: Accurate or Not? *Circle Econ.* 2020. Available online: [access link](#) (accessed on 15 January 2021).
69. Dalkey, N.; Helmer, O. An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. *Manag. Sci.* 1963, 2, 458–467.
70. Gordon, T.J. The Delphi Method. In *Future Research Methodology—Version 3.0; AC/UNU Millennium Project: Washington, DC, USA*, 1994.
71. Gardas, B.B.; Raut, R.D.; Narkhede, B. Modelling the Challenges to Sustainability in the Textile and Apparel (T&A) Sector: A Delphi-DEMATEL Approach. *Sustain. Prod. Consum.* 2018, 15, 96–108.
72. Agrawal, T.; Pal, R. Traceability in Textile and Clothing Supply Chains: Classifying Implementation Factors and Information Sets via Delphi Study. *Sustainability* 2019, 2, 1698.
73. Garcia-Torres, S.; Rey-Garcia, M.; Sáenz, J.; Seuring, S. Traceability and Transparency for Sustainable Fashion-Apparel Supply Chains. *J. Fash. Mark. Manag. Int. J.* 2021, in press.
74. Delbecq, A.L.; Van de Ven, A.H.; Gustafson, D.H. *Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes; Management Applications Series; Scott Foresman: Glenview, IL, USA*, 1975.
75. Moeuf, A.; Lamouri, S.; Pellerin, R.; Tamayo-Giraldo, S.; Tobon-Valencia, E.; Eburdy, R. Identification of Critical Success Factors, Risks and Opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *Int. J. Prod. Res.* 2020, 2, 1384–1400.
76. Color Insight. Available online: [access link](#) (accessed on 5 February 2021).
77. Ashton, R.H. Combining the Judgments of Experts: How Many and Which Ones? *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.* 1986, 2, 405–414.
78. Jones, C.G. A Delphi Evaluation of Agreement between Organizations. In *The Delphi Method: Techniques and Applications; Addison-Wesley: Boston, MA, USA*, 1975; pp. 160–167.
79. Djafarova, E.; Bowes, T. 'Instagram Made Me Buy It': Generation Z Impulse Purchases in Fashion Industry. *J. Retail. Consum. Serv.* 2021, 59, 102345.
80. Appolloni, A.; D'Adamo, I.; Gastaldi, M.; Santibanez-Gonzalez, E.D.R.; Settembre-Blundo, D. Growing E-Waste Management Risk Awareness Points towards New Recycling Scenarios: The View of the Big Four's Youngest Consultants. *Environ. Technol. Innov.* 2021, 23, 101716.

Chapitre 3

Cadre d'analyse de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie de la mode

Ce troisième chapitre de la thèse correspond à la deuxième étape de cette recherche-action qui s'est déroulée lors de la deuxième année de la thèse (2022). La première étape de cette recherche avait permis de mettre évidence la nécessité, pour les marques de mode et plus globalement dans l'industrie, d'appréhender l'amélioration de la traçabilité au regard de l'ensemble de la chaîne de valeur. Néanmoins, une telle traçabilité et sa mise en oeuvre apparaissaient plus complexes à appréhender compte tenu de la multiplicité des enjeux et des dimensions impliquées. De plus, il avait été constaté la proposition d'une nouvelle définition de la traçabilité pour la durabilité dans la littérature scientifique et pour l'industrie ainsi que le développement significatif de la littérature et notamment de celle professionnelle depuis l'élaboration du projet de recherche. En conséquence, il a été décidé de consacrer cette deuxième étape au développement d'un cadre d'analyse dédié. Une revue systématique de la littérature scientifique et professionnelle sur le secteur a alors été réalisée et un cadre d'analyse a été développé à partir de l'analyse inductive et itérative des références sélectionnées et des dimensions clés identifiées. Ce cadre offre ainsi une vision holistique de la mise en oeuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie de la mode.

L'élaboration de ce cadre d'analyse et les enseignements de la revue de la littérature retirés à partir de celui-ci ont fait l'objet d'un deuxième article qui a été publié dans la revue scientifique *Journal of Cleaner Production* dans le cadre du Special Issue [Sustainable Transition in Textile and Apparel Industry](#).

Dès lors, la première section (3.1.) propose ainsi un résumé en français de l'article, qui est ensuite repris dans la seconde section (3.2.) de ce chapitre.

3.1. Résumé de l'article

- **Résumé (français)**

La mode est une industrie globale au poids significatif dans l'économie mondiale, reposant toutefois sur des modèles de production et de consommation qui ont eu pour conséquence et qui continuent d'engendrer des impacts environnementaux et sociaux considérables. L'industrie a été reconnue comme responsable de nombreux défis écologiques ainsi que de graves dommages sociaux, en faisant un secteur identifié comme hautement prioritaire dans le sillage d'une transition vers un développement durable. À cet égard, l'amélioration de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur a été identifiée comme une préoccupation majeure pour soutenir le développement de modèles de production et de consommation durables. Néanmoins, la recherche à cet égard reste balbutiante et extrêmement fragmentée. Une confusion entoure la traçabilité en raison de son application initiale dans le domaine de la gestion de la qualité et de la sécurité et qui reste ainsi essentiellement appréhendée quant aux chaînes d'approvisionnement. Aussi, aucune étude à ce jour n'a tenté d'explorer de manière holistique la mise en œuvre de la traçabilité pour promouvoir des chaînes de valeur durables dans l'industrie de la mode. De plus, les quelques rares cadres d'analyse développés dans la recherche présentent des limites importantes rendant ainsi difficile l'appréhension de ce phénomène émergent et empêchant l'étude des connaissances existantes tant pour la recherche que la pratique professionnelle. Dès lors, afin de remédier à ces lacunes, une analyse systématique de la littérature relative au secteur de la mode a été réalisée. À partir d'une analyse itérative et inductive, tout en tenant compte des développements théoriques existants sur la traçabilité, un nouveau cadre d'analyse a ainsi été élaboré avec l'identification de trois dimensions récurrentes et interdépendantes dans la littérature (i.e. objectifs, périmètre et leviers d'action) afin de mieux appréhender sa mise en œuvre en soutien de chaînes de valeur durables et de manière opérationnelle dans l'industrie de la mode. À partir de ce cadre, les principaux enseignements de la littérature ont alors pu être mis en évidence, apportant ainsi des connaissances initiales utiles pour soutenir l'avancement de la recherche et de la pratique sur cet enjeu significatif dans l'industrie.

- **Résumé (anglais)**

The fashion sector is a major globalised industry, relying on production and consumption models, which have prompted tremendous negative externalities over the last few decades. The industry has been considered a significant contributor to global ecological challenges along with serious social damages, recognising it as a potential high-priority sector in the wake of a transition towards sustainable development. In this regard, enhancing traceability along the value chain has been identified as a primary concern to support sustainable production and consumption patterns. However, research remains nascent and extremely fragmented. An ambiguity is surrounding traceability due to its inheritance from the quality management field, which is still essentially conceived from an exclusive supply chain perspective. No study has attempted to comprehensively explore its implementation to promote sustainable value chains in the industry and the scarce frameworks available show limitations in acknowledging this emerging issue.

This prevents the examination of the extant knowledge for research and practice. In order to address this gap, a systematic literature review was conducted pertaining to the fashion sector. Employing an iterative and inductive analysis, while considering previous theoretical developments on traceability, a novel analysis framework was developed based on the identification of three recurring and interrelated dimensions (objectives, scope, and action levers) to apprehend its implementation for supporting sustainable value chains in the industry. Accordingly, the

main findings from the literature were elicited, thereby providing useful initial knowledge to support the advancement of research and practice on this significant matter in the industry.

3.2. Apprehending traceability implementation in support of sustainable value chains: a novel analysis framework for the fashion industry (article n°2)

Reference : Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lassagne, M., & Lamouri, S. (2023). Apprehending traceability implementation in support of sustainable value chains: A novel analysis framework for the fashion industry. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137501>

3.2.1. Introduction

As a multi-trillion-dollar industry employing millions of people worldwide including in emerging countries, the fashion sector undeniably plays an important role in global economy (Sadowski et al., 2019). Also referred to as the textile or apparel industry, it is actually a cross-sector encompassing diverse types of products (e.g. clothing, leather goods, shoes ...), which can be defined in its broadest sense as "*all activities related to personal finery*" (Jacomet and Minvielle, 2012). The modern fashion industry is the result of profound structural transformations over the last few decades, driven by major changes in the distribution system, along with trade liberalisation and globalisation (Richero and Ferrigno, 2016). Manufacturing operations have been progressively outsourced to low-wage countries, mainly in Asia (Notten, 2020), while fashion brands remained predominantly located in developed countries and have focused on design, marketing, and distribution activities with direct access to consumers (Richero and Ferrigno, 2016). These evolutions have resulted in escalating production and consumption, due to stemmed dropping costs and prices and turnaround of short-lived fashion trends, which led to higher frequency of purchases in developed countries, followed by the emergence of middle-class economies across the globe (Morlet et al., 2017; Richero and Ferrigno, 2016). In just over a decade, the growth of clothing sales is estimated to have doubled to reach 100 billion units of garment annually (Morlet et al., 2017). Such massive and accelerated production in globally dispersed and opaque supply networks, has further exacerbated associated environmental and social impacts (Niinimäki et al., 2020; Notten, 2020), now difficult to monitor accordingly (UNECE, 2020). Owing to the derived overconsumption culture and poor durability, products are being used for shorter time, resulting in massive disposals ending up mostly landfilled or incinerated, due to large exports in countries with no proper waste management infrastructures and the current poor state of recycling in the industry (Morlet et al., 2017).

Numerous scandals and reports have exposed the linear and unsustainable system that the industry is built upon (Brun et al., 2020). The sector has been recognised as a significant contributor to the climate crisis, with variable estimations evaluating its impact up to 10% of global Greenhouse Gas (GhG) emissions, especially driven by energy-intensive manufacturing processes predominantly in countries relying on fossil sources (Berg et al., 2020; Niinimäki et al., 2020; Chrobot et al., 2018; Morlet et al., 2017). Such emissions are expected to likely increase with expected volume growth in the industry (Berg et al., 2020; Sadowski et al., 2019; Chrobot et al., 2018). The sector is also responsible for other major ecological consequences, including water use and pollution or biodiversity and ecosystems loss (Notten, 2020; Chrobot et al., 2018). Besides, despite long-standing concerns (Khurana and Ricchetti, 2016; Richero and Ferrigno, 2016) and disasters such as the Rana Plaza factory collapse in 2013 (which killed over 1132 garment workers and injured more than 2500) (Notten, 2020), the industry continues to be plagued by poor and unsafe working conditions and abusive practices, including excessive working hours, poor wages and harassment, along with persistent instances of human rights violations, as shown by recent events such as the Uyghurs crisis (Notten, 2020). Therefore, the industry has been recognised as a sector of global importance in the pursuit of sustainable development and related climate ambitions (UNFCCC, 2015). Commonly defined as a "development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet

their own needs" (WCED, 1987) sustainable development has been compelling the balanced concern of environmental, social, and economic dimensions to ensure the sustainability of human societies, that the UN Agenda 2030 translated into a universal framework for action (UN General Assembly, 2015). Comprising 17 Sustainable Development Goals (SDGs), this integrated and indivisible roadmap aims to take urgent action on climate change and the environment, while raising living standards to ensure that no one is left behind in this transition (UN General Assembly, 2015). Although a comprehensive sector agenda is still missing, key components have been raised for the industry: improving working conditions along with reducing environmental impacts across the entire value chain, including use, reuse, and recycling to enhance circularity, while encouraging consumers to switch to more intelligent consumption choices, with accurate and relevant information on environmental, social and health risks (UNECE, 2020; Richero and Ferrigno, 2016). In this respect, traceability has been recognised as a critical and high priority factor to support the transition towards sustainable value chains in the industry (UNECE, 2022a,b, 2020). However, despite this acknowledged significance of the issue, research essentially apprehends traceability from a supply chain perspective (Garcia-Torres et al., 2019, 2021) and no study has been attempted to comprehensively explore its implementation across the entire value chain in the industry (Kumar et al., 2017a). The literature remains nascent and remarkably fragmented, owing to the confusion surrounding traceability, inherited from the quality management field, and its broader implications in the context of sustainability consequently (Garcia-Torres et al., 2019, 2021). However, there are constraints to the limited advanced frameworks (Garcia-Torres et al., 2019, 2021; Islam and Cullen, 2021), thus impeding the comprehensive analysis of this expanding topic entailing various initiatives along the value chain, such as the emerging introduction of digital product passports in the industry (BoF, 2021). This hampers to allow a global vision of the topic and to acknowledge the extant literature to advance research and practice in this field.

To address these gaps, this paper aims to answer the following research questions:

- **RQ1.** Given the emerging issue of traceability implementation in support of sustainable value chains in the industry, how is it possible to apprehend it holistically ?
- **RQ2:** Accordingly, what learnings can be drawn from the literature to inform researchers and practitioners ?

To achieve these research objectives, a systematic literature review was conducted to explore traceability implementation in support of sustainable value chains, pertaining to the fashion industry. Given the limited available frameworks to explore this issue, an inductive and iterative analysis of selected papers was carried out to determine a possible approach to comprehend the topic, while considering previous theoretical developments regarding traceability. Following this process, three key recurring and interrelated dimensions were identified (objectives, scope, action levers) to interpret traceability in this sustainability context and a novel analysis framework was elaborated accordingly (RQ1). Based on this framework, the main learnings from the literature were elicited following each dimension to provide a preliminary overview of the findings with a critical discussion consequently (RQ2). The paper entails significant theoretical and practical contributions. The analysis framework enables researchers exploring this emerging field to examine the literature in a holistic and structured manner. Besides, given the confusion surround traceability also perceptible in practice (Beswick, 2022), the framework provides a comprehensive vision of the issue for practitioners and supports the potential devise of actions accordingly. Finally, by giving a preliminary outline of the literature and critically discussing related findings, the paper provides useful initial knowledge for the advancement of research and practice in the industry.

The paper is organised as follows: [Section 3.2.2.](#) introduces the theoretical background regarding traceability, highlighting the opportunity to develop an analysis framework to enable its apprehension in the context of

sustainability in the industry. [Section 3.2.3](#) describes the method for conducting the systematic review of the literature, along with the iterative and inductive process applied for the development of the framework, to allow its examination. [Section 3.2.4](#) explains the rationale of the analysis framework and describes its three dimensions. [Section 3.2.5](#) presents the findings from the reviewed literature in relation to each dimension and [Section 3.2.6](#) critically discusses the results. [Section 3.2.7](#) concludes with a summary of the main learnings and contributions, while outlining limitations and opportune research avenues in this research field.

3.2.2. Theoretical background

Traceability initially gained significance decades ago, in critical sectors highly exposed to health and security issues, especially the food industry, where it became a legal requirement following major crisis to ensure product safety and potential necessary recalls (Kamann et al., 2019; Norton et al., 2014; Karlsen et al., 2013). Consequently, the food sector has been the prominent focus of extant research, even if traceability further evolved towards other operational benefits and industries (e.g. optimised inventory, logistics ...) (Kamann et al., 2019; Karlsen et al., 2013). As such, the EU General Food Law defines traceability as: "*the ability to trace and follow a food, feed, food-producing animal or substance intended to be, or expected to be incorporated into a food or feed, through all stages of production, processing and distribution*" (EU, 2002). Profuse other interpretations have been advanced essentially for the food industry (Bosona & Gebresenbet, 2013; Olsen and Borit, 2013; Regattieri et al., 2007; Opara, 2003; EU, 2002; Moe, 1998; Cheng and Simmons, 1994), but the ISO definition is commonly referred, describing traceability as "the ability to trace the history, application, or location of an object" (ISO 9001:2015) (i.e. Islam and Cullen, 2021; Karlsen et al., 2013; Olsen and Borit, 2013 for the review and analysis of existing definitions). Additional concepts further complemented definitions (Islam and Cullen, 2021; Karlsen et al., 2013). Internal and external traceability are distinguished (Mgonja et al., 2013; Moe, 1998) to differentiate the internal level of traceability: being employed in an individual company, and external traceability between several links or companies (Moe, 1998). Therefore, sharing internal traceability data between multiple links enables external traceability (Islam and Cullen, 2021). Forward and backward traceability (Dupuy et al., 2005; Jansen-Vullers et al., 2003; Opara, 2003) are also differentiated (also referred as tracking and tracing in some studies) to indicate the tracing direction: top-down tracking along the supply chain towards the final consumer versus bottom-up tracing of the product origin. However, both are considered fundamental properties (Islam and Cullen, 2021; Bosona and Gebresenbet, 2013; Opara, 2003). Consequently, several research developments attempted to outline essential principles for effective implementation of traceability system in the food industry (Karlsen et al., 2013; Olsen and Borit, 2013), which have been recently consolidated and synthesised as follows (Islam and Cullen, 2021):

- **Product identification** (Jansen-Vullers et al., 2003) with the notion of "*Traceable Resource Unit*" (TRU) referring to the quantifiable unit of a product or products (i.e. batch, trade unit or logistic unit) processed under the same processes and possessing similar characteristics (Olsen and Borit, 2013; Storøy et al., 2008; Kim et al., 1999; Moe, 1998). This entails the definition of the smallest unit(s) being traced, also referred as "*granularity*" (Karlsen et al., 2011) and the requirement to identify them for traceability (Islam and Cullen, 2021; Olsen, 2018; Moe, 1998).
- **Data recording** (Olsen, 2018; Folinas et al., 2006), which includes various potential information and data recording mediums from a simple paper-based record to a complex computer or cloud-based system (Islam and Cullen, 2021).
- **Data integration** which involves data sharing, merging or transmission, to enable internal and external traceability, the later requiring interoperability and standardisation consequently (Storøy et al., 2008).

- **Data accessibility** which entails the provision of diverse data depending on the beneficiaries (Islam and Cullen, 2021) referred through diverse wordings in the literature (Bhatt et al., 2013; Olsen and Borit, 2013; Folinás et al., 2006; Jansen-Vullers et al., 2003).

However, given this profusion of definitions, principles and developments under various terminologies, several studies concluded to the general lack of common understanding on traceability (Bosona and Gebresenbet, 2013; Karlsen et al., 2013; Olsen and Borit, 2013) and the lack of frameworks regarding its implementation accordingly (Karlsen et al., 2013). This can be explained by the complex and interdisciplinary nature of the traceability field that has been researched and developed through different disciplines (Islam and Cullen, 2021; Karlsen et al., 2013). As such, following an iterative review of the theoretical concepts on food traceability, Islam and Cullen (2021) recently proposed a revised definition ("ability to access specific information about a food product that has been captured and integrated with the product's recorded identification throughout the supply chain") with a dedicated conceptual framework.

Answering the questions—Why? Who? Where? and How?— the framework reflects the main features of a traceability system with the drivers, beneficiaries, typologies (internal and external traceability) and principles (identification of TRU, data recording, integration, and accessibility). Lately, traceability has been gaining increasing attention in the wake of environmental and social scandals in several sectors (including the fashion industry) which exposed major adverse consequences resulting from global and complex supply chains and the associated opacity (Garcia-Torres et al., 2019; Kamann et al., 2019; Khurana and Ricchetti, 2016). This has extended traceability towards transforming global supply chains into more transparent, responsible, and sustainable networks, enabling companies to trace environmental and social breaches (Garcia-Torres et al., 2019). Definitions were renewed accordingly to explicitly bond traceability with sustainability (Garcia-Torres et al., 2019). The UN Global Compact refined the widely used ISO definition describing traceability as "the ability to identify and trace the history, application, location and distribution of products, parts, and materials" by adding the purpose "*to ensure the reliability of sustainability claims in areas of human rights, labour (including health and safety), the environment and anti-corruption*" (Norton et al., 2014). Furthermore, as part of due diligence guidelines for responsible business conduct, the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) defined traceability as "the process by which enterprises track materials and products and the conditions in which they were produced through the supply chain" (OECD, 2018). Intrinsically related, due diligence subsists in the "*process through which enterprises can identify, prevent, mitigate, and account for how they address their actual and potential adverse impacts*" and traceability is considered a tool to gain information in this respect (OECD, 2018). In view of this broader meaning of traceability, scholars advanced the dedicated concept of "*Traceability for Sustainability*" (TfS) defining it as the "*ability to combine information sharing and supply chain visibility in a way that allows chain actors to access information that is accurate, reliable, timely and useful for their operations and for the reliability of sustainability claims*" (Garcia-Torres et al., 2019). Based on the systematic review of the literature at the confluence of traceability and sustainability in global apparel supply chains, a corresponding conceptual framework was elaborated. The framework reflects the deployment of traceability in global supply chains, through an evolving cycle entailing the three dimensions governance, collaboration, and tracking and tracing. However, the need to apprehend traceability along the entire value chain has been steadily acknowledged in the industry (UNECE, 2022a,b,2020) and beyond (Betti et al., 2021).

Nevertheless, this value chain perspective is not considered in the literature and traceability is prompting an outstanding confusion with myriad notions and interpretations (Garcia-Torres et al., 2021). Considering its inheritance from the quality management field and related definitions, traceability is often comprehended from the sole standpoint of product origin (Alves et al., 2022; Papetti et al., 2019; Macchion et al., 2017; Egels-Zanden et al., 2015; Germani et al., 2015) It is also frequently referred from the exclusive perspective of information-sharing

systems (Agrawal and Pal, 2019; Mejías et al., 2019; Kumar et al., 2017; Macchion et al., 2017) whereas the necessity to consider non-technological aspects of traceability implementation is strongly emphasised (Garcia-Torres et al., 2019). In this regard, it is likewise often used inter-changeably with transparency (Alves et al., 2022; Brun et al., 2020; Joy and Pena, 2017; Khurana and Ricchetti, 2016) as closely intertwined (Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Garcia-Torres et al., 2021; Garcia-Torres et al., 2019). Transparency is often suggested as an umbrella term for the disclosure of information (Doyle, 2022; Egels-Zanden et al., 2015). Accordingly, it is commonly defined as the *"relevant information being made available to all elements of the value chain in a harmonised way, which allows for common understanding, accessibility, clarity and comparison"* (Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Richero and Ferrigno, 2016). However, transparency also dwells in the process that is built in relationships, thereby assisting traceability implementation (Garcia-Torres et al., 2021). A recent study proposed a novel definition of traceability following a Delphi study with practitioners from the fashion sector (Garcia-Torres et al., 2021). It described traceability as the *"ability of an organisation to identify and control the trajectory and conditions of each component, material, process and human resources related to its products, from its initial conception until the end of its lifecycle"*, thereby explicitly adding the end-to-end perspective (Garcia-Torres et al., 2021). Therefore, this definition appears to be the most accurate so far, as entailing this broader sustainability aim (with reference to the identification and control of both trajectory and conditions as well as human resources) and apprehending traceability as a capacity (with this general definition of traceability as an *"ability"*) from an end-to-end standpoint. However, while bringing an opportune clarity, this definition nevertheless provides a high-level understanding, which requires further operationalisation. The available frameworks show limitations by exclusively focusing on the characteristics of traceability system (Islam and Cullen, 2021) or adopting a restricted supply chain perspective (Garcia-Torres et al., 2019, 2021). Therefore, this brings opportunity for the development of a novel analysis framework to enable apprehending traceability implementation along the entire value chain in support of sustainability in the industry.

3.2.3. Research method

The study intends to address ways to apprehend traceability implementation in support of sustainable value chains in the fashion industry (RQ1) and the learnings that can be drawn from it to inform research and practice (RQ2). To achieve these research objectives, a systematic literature review was carried out following the method proposed by Tranfield et al. (2003), as relying on a clear replicable, scientific, and transparent process to minimise research bias. Given the limitations of existing frameworks, an inductive and iterative analysis of the selected papers was performed to determine a possible approach to comprehend this research topic, while concurrently considering previous conceptual developments. Accordingly, a novel analysis framework was developed following the identification of three recurring and interrelated dimensions (objectives, scope, and action levers).

[Figure 11](#) summarises the proceeded research steps, which are further described in the subsequent sub-sections.

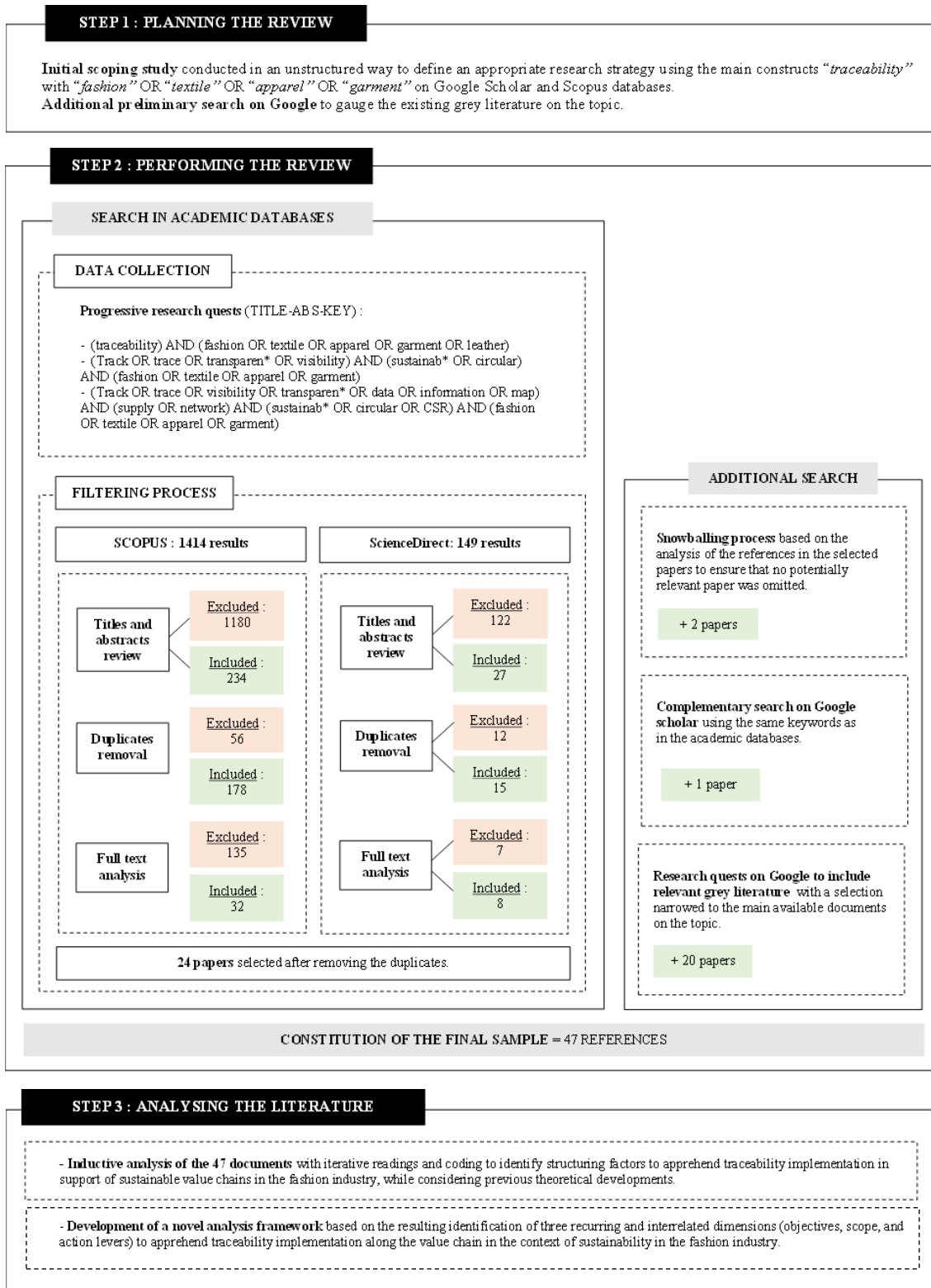


Figure 11. Flowchart of the proceeded research steps.

3.2.3.1. Planning the review

Given the emerging and fragmented nature of the literature, the authors decided to initiate the review with a preliminary scoping study for exploring the topic and to define an appropriate research strategy. Tranfield et al. (2003) considered the scoping study relevant to assess the significance of the literature and delimit the subject area. An initial investigation was carried out in an unstructured way, using the main constructs "*traceability*" with "*fashion*" OR "*textile*" OR "*appareil*" OR "*garment*" on Google Scholar and Scopus databases. The initial enquiry enabled the authors to apprehend the research field and identify relevant connected terms to include in the review such as « *transparency* » or « *visibility* » (Garcia-Torres et al., 2019, 2021; Brun et al., 2020; Egels-Zanden et al., 2015; Doorey, 2011). Besides, given the increasing interest in traceability in the sector, an additional preliminary search on Google was performed, which demonstrated an expanding grey literature on the topic and the relevance to include this body of knowledge in the review.

3.2.3.2. Performing the review

Consequently, the second step involved the data collection process with the identification of keywords (Tranfield et al., 2003). This resulted in several iterations owing to the scattered literature. Based on the initial scoping study, the authors could include identified connected terms, but other related keywords emerged through the filtering process, such as "*map*" or "*data*", and were progressively added. The review was primarily conducted on the database Scopus, as possessing an extensive global coverage of research articles. The final research equations exposed in [Fig. 11](#) were later used on ScienceDirect. An online search was also completed on Google Scholar to cover pertinent papers unavailable on those databases. In addition, since it is a relatively new research area, the authors decided not to limit the review to peer-reviewed journals, but to also consider conference papers and book chapters if relevant. Empirical as well as theoretical papers were both included, as it could provide relevant insights for the review of the literature. Finally, no limitation was set for the research time frame. After having collected the papers, the filtering process was initiated, considering that it had to be accessible, clear, and replicable (Tranfield et al., 2003). Accordingly, titles and abstracts were examined to get a first selection based on the set of keywords applied in the databases, as shown in [Fig. 11](#). At this stage, essentially papers unrelated to the fashion sector were excluded. Several publications corresponded to other industries and primarily the food sector, owing to the use of the word "*fashion*" as a synonym of "*manner*". Besides, given the use of "*transparency*" in the research string, numerous papers related to the investigation of company disclosures emerged in the results, which were considered off-topic. After applying those preliminary criteria and eliminating the duplicates, a dataset of 193 papers was built on in a dedicated Excel sheet. The full text was then read to obtain a final sample of 27 papers.

Only the papers fulfilling these criteria were selected :

- Accessible papers
- Papers in English
- Papers at the intersection of traceability and/or transparency (as both terms are often used interchangeably) with sustainability
- Papers exploring the extension of traceability, or sustainability overall, across multiple steps along the value chain. As such, papers related to the investigation of supply chain traceability and sustainability considering the solely direct buyer–supplier relationship were excluded.

In addition, to ensure that no relevant sources could have been missed, references of the selected papers were carefully reviewed. Based on this snowballing process, two extra articles were included in the sample. Finally, as the authors noticed a significant grey literature on the topic, an additional search was performed on Google to include relevant professional documents, as advised by Tranfield et al. (2003).

Incorporating grey literature in systematic reviews has been increasingly acknowledged as a relevant opportunity, especially for dynamic and applied topics where academic knowledge is lagging (Adams et al., 2017). Therefore, the authors opted for iterative enquiries on Google general search engine (Adams et al., 2017) applying the same keywords as in academic databases. Considering the potential exponential sources, the authors decided to narrow the enquiry to the exclusive inclusion of main studies, reports or papers published on the topic in the sector. Overall, the final selection comprises 47 references. [Figures 12](#) and [13](#) illustrate the breakdown of references per type of sources and year, while Fig. 4 provides a specific overview of the scientific journals on this research field (=35).

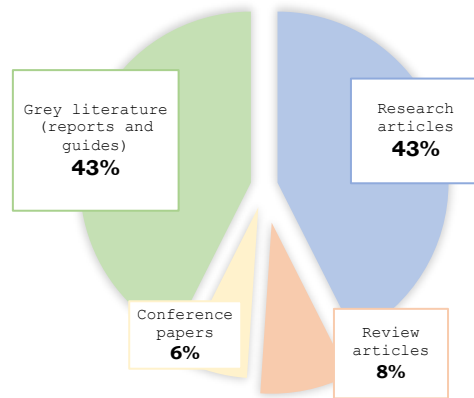


Figure 12. Breakdown of references per type of sources.

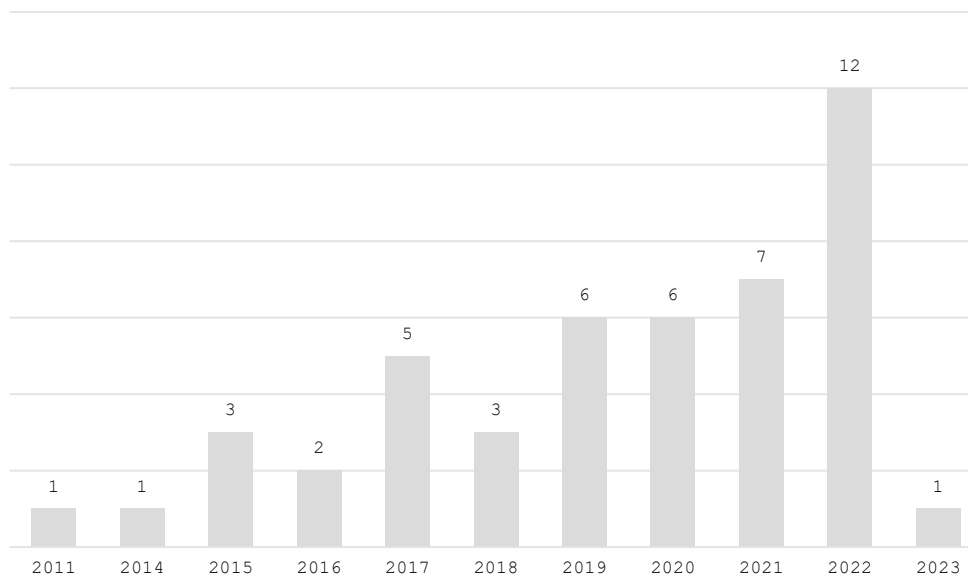


Figure 13. Breakdown of references per year.

Sustainability	7
Journal of Cleaner Production	2
Journal of Fashion Marketing and Management	2
International Journal of Production Economics	1
International Journal of Production Research	1
Journal of Business Research	1
Journal of Organizational Change Management	1
Operations Management Research	1
Journal of Business Ethics	1
Supply Chain Management: An International Journal	1
Computers & Industrial Engineering	1
Systems	1
International Journal of Environment and Health	1
Sustainable Production and Consumption	1
Waste Management & Research	1
Textiles and Clothing Sustainability	1
Total	24

Table 4. Breakdown of references per journal.

3.2.3.3. Analyzing the literature

Given the limitations of available frameworks, the authors attempted to determine other classifications to enable a thorough analysis of this emerging topic. A possible way could have been to conduct a meta-analysis (Siddaway et al., 2019), but it was not relevant owing to the heterogeneity of the literature and the qualitative nature of the data analysed. Therefore, an inductive approach based on the systematic analysis of the 47 selected documents to identify structuring factors to apprehend traceability implementation in support of sustainable value chains in the fashion industry, appeared as the most relevant research method. The papers were progressively read, coded, and classified in the database, taking into consideration previous conceptual developments (Garcia-Torres et al., 2019, 2021; Islam and Cullen, 2021). This led to several iterations to ensure consistency in the analysis. Consequently, the authors observed that framing was possible, based on three recurrent and interrelated dimensions: the main objectives referred in the literature that traceability intends to leverage, the scope across the value chain and finally the prominent dimensions in terms of action levers to support its development.

3.2.4. Analysis framework

This section presents the analysis framework. Accordingly, it answers the first research question (RQ1) regarding how the emerging issue of traceability implementation in support of sustainable value chains can be apprehended in the industry. The analysis framework is based on three recurring and interrelated dimensions, each corresponding to a fundamental question in traceability implementation:

- **Why:** What are the objectives that traceability aims to leverage along the value chain ?
- **Where:** What is the scope with the associated stages and actors along the value chain ?
- **How:** What are the different action levers that need to be mobilised in this respect ?

Therefore, the analysis framework must be considered in a manner reflecting objectives, implying different scopes and potential requirements across each of these action levers. It allows for the holistic comprehension of the topic and the analysis of the literature in a thorough and structured manner. Besides, it brings a global vision for practitioners, thereby attempting to remedy the confusion surrounding traceability. As such, it could serve as a

practical learning tool to facilitate the apprehension of this complex topic or further as an instrument to support the definition of objectives or the analysis of initiatives. The framework is presented in the below [Fig. 15](#) and each dimension is described in subsequent paragraphs.

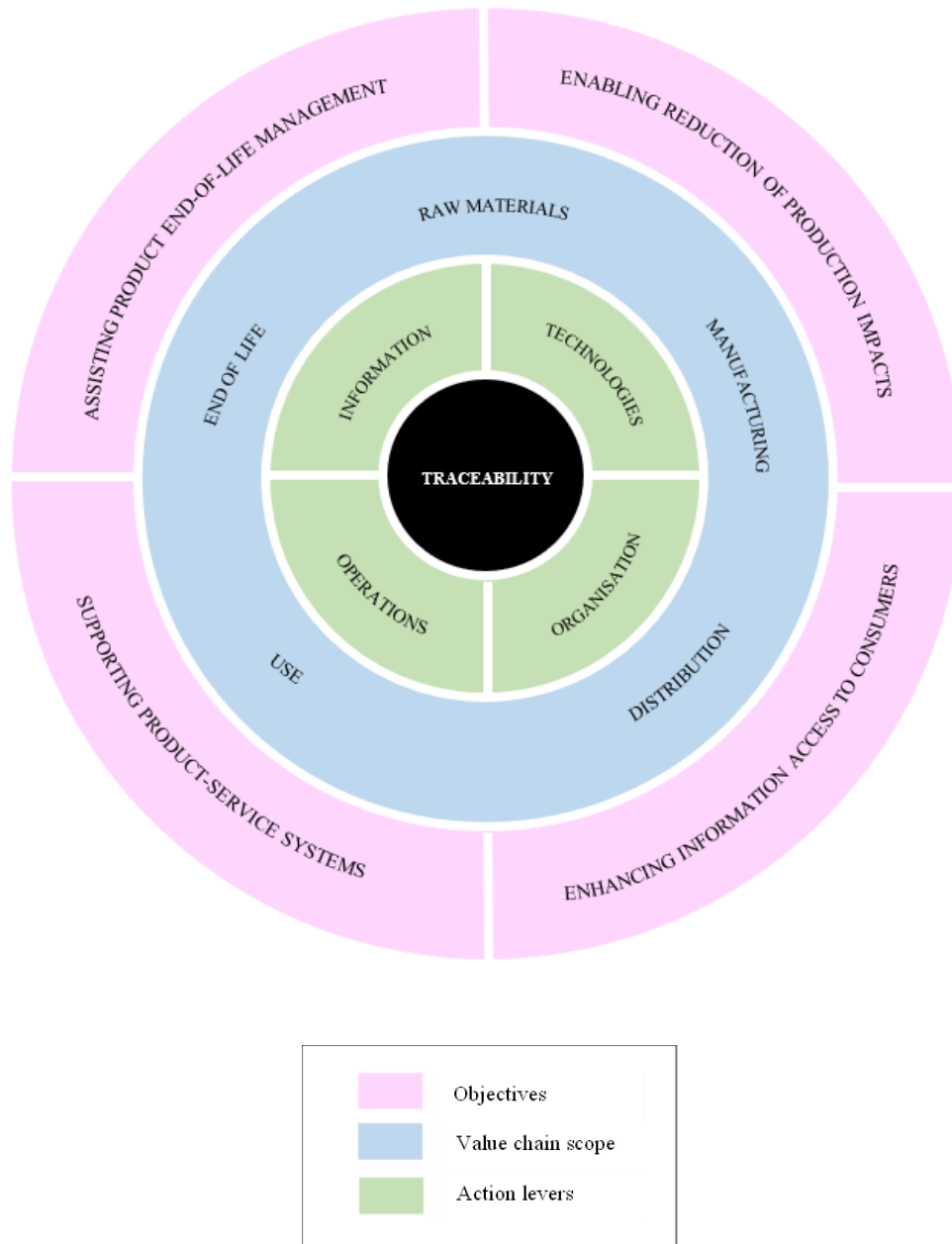


Figure 14. Analysis framework to apprehend traceability implementation in support of sustainable value chains in the fashion sector.

3.2.4.1. Objectives

The first dimension, "*objectives*", presents the main purposes acknowledged in the literature regarding the fashion industry that traceability aims to leverage along the value chain in the context of sustainability. The necessity to consider drivers in traceability implementation has been ascertained in previous framework (Islam and Cullen, 2021). First and foremost, traceability has been steadily recognised as a critical requisite to enable the identification, monitoring and thereby reduction of associated production impacts (Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Notten, 2020). This should entail an entire value chain perspective given the extent of impacts (Notten, 2020; UNECE, 2020). Concurrently, it is suggested that traceability can assist other improvement opportunities along the value chain (Doyle, 2022; Franck et al., 2022; Morlet et al., 2017). Given that it can substantiate impact improvement actions, it is presented as a critical enabler to enhance (Doyle, 2022; Franck et al., 2022; Notten, 2020; UNECE, 2020; Macchion et al., 2017; Kumar et al., 2017a) and facilitate information access to consumers to this end (Franck et al., 2022; Ghoreishi et al., 2022; Morlet et al., 2017). Besides, it is identified as a facilitator for the implementation of product-service systems towards reuse and repair to support product lifetime extension (UNECE, 2022a; Alves et al., 2022; Franck et al., 2022; Ghoreishi et al., 2022). Ultimately, it is presented as an important potential lever to assist collection and sorting processes for product end-of-life management, especially to convey data regarding the composition of components and other essential information to support recycling development (Franck et al., 2022; Morlet et al., 2017). Consequently, these objectives entail diverse traceability applications along the value chain, with varying implications of action levers in this respect. For instance, digital platforms are being developed to enhance data collection and sharing in the industry; some focus on the production stages while others aim to enable potential product tracking from then on to the downstream stages past the distribution (Doyle, 2022; Ghoreishi et al., 2022).

3.2.4.2. Scope

The second dimension, "*scope*", reflects the consecutive stages along the value chain and traceability scope will vary depending on the objectives (Doyle, 2022; Ahmed and MacCarthy, 2021), in line with previous conceptual developments (Islam and Cullen, 2021). Therefore, in this sense, value chain is defined as "*all activities that provide or receive value from designing, making, distributing, retailing and consuming a product or providing the service that the product renders*" (Notten, 2020). It includes all stages in product life, from raw materials to disposal after use, and incorporates activities linked to these physical processes (e.g. design and marketing) along with direct involved actors (e.g. farmers, manufacturers, consumers) and other stakeholders that can influence these activities (Notten, 2020). Although the authors are aware that this is a simplified representation and that many value chain models are to be found in the literature (UNECE, 2020; Notten, 2020; Sadowski et al., 2019; Morlet et al., 2017), this visualisation appeared to be the most relevant to apprehend traceability implementation. Accordingly, "*Raw Materials*" corresponds to associated stages for agriculture, farming, or extraction, as well as initial pre-treatment processes (Notten, 2020; UNECE, 2020; Sadowski et al., 2019).

For instance, regarding textiles, this can be either natural materials with agriculture and their subsequent processing steps to extract fibres (e.g. cotton) or crude oil extraction and manufacture of chemicals for synthetic fibres (Notten, 2020). "*Manufacturing*" reflects the various transformation stages up to the assembly of the finished product (UNECE, 2020; Notten, 2020; Sadowski et al., 2019). In the case of a garment for example, this involves spinning fibre into yarn, knitting, weaving, or bonding them into fabric, with potential chemical and mechanical finishings, up to the finished product assembly with cutting and sewing the components (e.g. fabric, buttons, zippers ...) (Notten, 2020; Sadowski et al., 2019). In practice, like products are made of several components, it will actually entail a multitude of related value chains. "*Distribution and retail*" involve the routing of products to their distribution to

consumers (Notten, 2020), thus including brands and retailers (Ahmed and MacCarthy, 2021). "Use" essentially relates to the use phase of products by consumer, and subsequent users given that the products may be reused (Notten, 2020). Ultimately, "End of Life" refers to the collection and processing steps for end-of-life treatment once the products are discarded (Notten, 2020).

3.2.4.3. Action levers

Finally, the last dimension, "action levers", corresponds to the key aspects identified in the literature to support traceability implementation. Extending traceability rationally necessitates the collection and sharing of information (BoF, 2022; Doyle, 2022; Ghoreishi et al., 2022; UNECE, 2020), consistently with previous frameworks, and data will vary depending on the objectives (Islam and Cullen, 2021). Given the multiple stages along the value chain, associated actors and related information, the critical role of Information and Communication Technologies (ICT) has been steadily raised (Alves et al., 2022; Doyle, 2022; UNECE, 2022b, 2020; Ahmed and MacCarthy, 2021; Kumar et al., 2017a). However, several other technology-based solutions are being advanced such as additive tracers to authenticate the origin and integrity of fibres (Crowley et al., 2022; Doyle, 2022; UNECE, 2022b). Additionally, enhancing traceability appears to entail numerous and significant organisational as well as operational challenges for successful implementation that have started to be highlighted (Brun et al., 2020; Garcia-Torres et al., 2019; Kumar et al., 2017a; Macchion et al., 2017; Egels-Zanden et al., 2015; Doorey, 2011). Accordingly, these sub-dimensions encompass implications of traceability implementation in arrangements (organisation) and activities (operations) from an inter (between different organisations) and intra (within the organisation) perspective.

3.2.5. Findings

Based on the analysis framework, this section presents the main findings from the literature following each dimension (but interactively as intrinsically related) (RQ2). The first sub-section ("*objectives*") presents the findings regarding traceability implementation in support of the objectives. The second sub-section ("*scope*") introduces the learnings regarding the extent of traceability implementation along the value chain. The final sub-section ("*action levers*") describes the main results regarding the acknowledged different supporting action levers.

3.2.5.1. Objectives

This sub-section presents the findings from the literature regarding the dimension "*objectives*" of the analysis framework (Figure. 16).

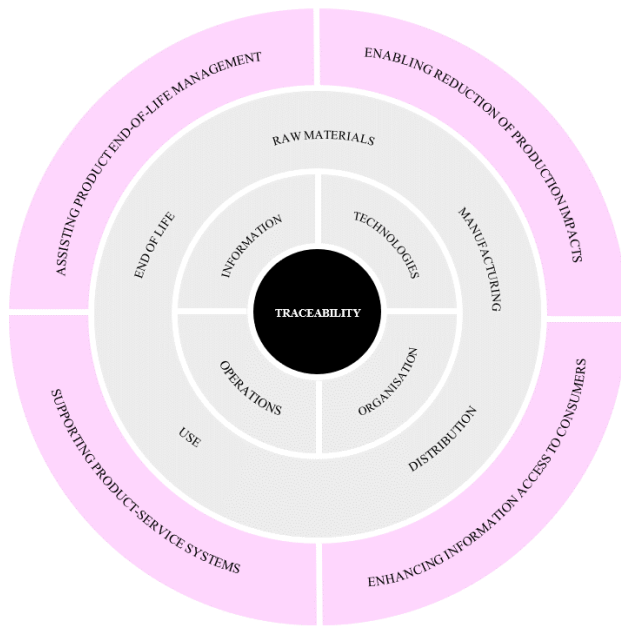


Figure 15. "Objectives" dimension of the analysis framework

- **Enabling reduction of production impacts**

First, traceability has been steadily recognised as a critical mean to identify, monitor, and effectively manage production impacts (UNECE, 2022b, 2020; Notten, 2020). Diverse and significant impacts are occurring along the value chain and especially upstream in the production stages, which will greatly vary depending on the product category, related manufacturing processes, the raw materials used and associated geographic areas (Notten, 2020; Sadowski et al., 2019). Regarding impact on climate, instances of disclosures show that value chain (scope 3) can represent around 90% GhG emissions of brands, with a predominance in manufacturing stages (Sadowski et al., 2019), consistently with recent industry reports (Berg et al., 2020; Notten, 2020; Chrobot et al., 2018). This is attributed to related energy-intensive stages and the involved main production countries in the industry, relying on fossil fuels for energy generation (Berg et al., 2020; Notten, 2020; Sadowski et al., 2019; Chrobot et al., 2018). Variations also apply to other prominent environmental impacts, such as on water for instance depending on material type, manufacturing processes and involved geographical regions experiencing different degrees of water scarcity (Notten et al., 2020).

The same is applicable to major social risks differing along the steps in the value chain and associated countries, with a raised predominance of fibre production (especially natural fibres) for apparels (Notten, 2020). Accordingly, traceability is presented as a critical mean to investigate and collect data for assessing environmental (Carrières et al., 2022; Papetti et al., 2019; Marconi et al., 2017; Germani et al., 2015) and social impacts quantitatively and qualitatively, which is considered the first step (UNECE, 2020). This would allow to identify the main hotspots and prioritize most effective actions consequently (UNECE, 2020; Notten et al., 2020). Product lifecycle evaluation is recommended to identify impacts along the whole value chain (UNECE, 2020). However, Lifecycle Assessment (LCA) has been developed particularly for the quantitative evaluation of environmental product impacts (ISO 14040, 2006a,b; Carrières et al., 2022). In this respect, LCA appears to have gained growing attention in research, highlighting the key role of traceability in this respect (Carrières et al., 2022; Shou and Domenech, 2022; Papetti et al., 2019; Marconi et al., 2017; Germani et al., 2015). However, limitations are suggested as it does not include social

aspects (Marconi et al., 2017) and some impacts are not very well or not at all evaluated (Notten, 2020). Besides, given the multiplicity of actors and the significance of data to collect, assessing impacts is considered particularly difficult (Doyle, 2022), a challenge which is likely given the depicted state of opacity in global dispersed supply networks (BoF, 2022; UNECE, 2020; Brun et al., 2020; Karaosman et al., 2020; Mejías et al., 2019; Egels-Zanden et al., 2015; Doorey, 2011). It is also suggested at a product level (UNECE, 2020) but the literature shows that environmental impact assessment can be conducted at different levels depending on the decision-context, for instance at a supply chain perspective for its optimisation (Papetti et al., 2019; Marconi et al., 2017; Germani et al., 2015). Brands also have a portfolio of multiple products with numerous materials (Sadowski et al., 2019) and regarding climate impact, it is advised to start performing an initial assessment of the company to identify key levers and define roadmaps accordingly (Berg et al., 2020). Some guidelines have advanced directions to initiate traceability in order to reduce associated production impacts. For instance, as part of a multi-stakeholder initiative for the apparel and footwear industries, the UNECE recommends in their standards for the sector to conduct a value chain risks analysis and identify related sustainability claims (UNECE, 2022b). Concurrently, as practical steps, the UN Global Compact recommended identifying key commodities, to gain a full understanding of sustainability issues and to evaluate if traceability is the best course of action (Norton et al., 2014). In addition, given the current state of opacity, in order to facilitate brands in their data collection efforts, digital traceability platforms are expanding (Doyle, 2022). Some proposed a "*backward*" approach, starting with mapping supply chains (by asking suppliers their owns in cascade), as suggested as the first step in a traceability effort, to build an initial overview and appreciate risks with the collection of social and environmental data, certifications, and audits (Doyle, 2022). Other technological solutions are being advanced to support the identification of potential impacts, such as forensic tracers aiming to check the declared origin of natural fibres, thereby allowing the detection of risks involved such as forced labour, for instance (Doyle, 2022; Crowley et al., 2022). Furthermore, traceability is presented as a mean to monitor, report, and substantiate impacts along with improvement actions, to evidence sustainability claims (Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Kumar et al., 2017a; Norton et al., 2014). In this regard, research (Karaosman et al., 2020; Kumar et al., 2017a; Egels-Zanden et al., 2015) and professional reports (Doyle, 2022; UNECE, 2020; Richero & Fignero, 2016) highlight the prevailing use of certification schemes for traceability in the industry.

However, these certifications and resulting claims do not cover all types of materials, production steps and focus on certain environmental and socio-economic requirements (Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Kumar et al., 2017a,b; Khurana and Ricchetti, 2016; Richero and Ferrigno, 2016; Norton et al., 2014). Therefore, it is suggested (Doyle, 2022; Kumar et al., 2017a,b; Khurana and Ricchetti, 2016) that it fails to address other acknowledged significant impacts along the value chain (Berg et al., 2020; Notten, 2020; Chrobot et al., 2018). In addition, relying on paper-based trails makes it easier to be exposed to fraud (Doyle, 2022). As such, "fibre forward" traceability digital platforms using blockchain are blooming in the industry concurrently (BoF, 2022; Doyle, 2022; Fashion for Good, 2019) and the technology has been gaining strong attention in research as well to authenticate the origin and alleged sustainably sourced fibres (Agrawal et al., 2021; Ahmed and MacCarthy, 2021), likewise other solutions such as additive tracers (Ahmed and MacCarthy, 2021; Crowley et al., 2022; UNECE, 2022b).

- **Enhancing information access to consumers**

Given its potential to identify and mitigate impacts, and ergo to provide information to consumers (Kumar et al., 2017a,b), traceability is regarded as an important lever to enhance better consumption patterns (UNECE, 2022b; Notten, 2020). Besides, traceability could also serve as a medium to facilitate information access to consumers. In this vein, digital product passports are gaining increasing attention in the industry (Alves et al., 2022; BoF, 2021; Franck et al., 2022). Such traceability application entails the use of Internet of Things (IoT) technologies (e.g. QR code, NFC, RFID), acting as product data carriers, along with connected digital platforms, thereby enabling unique identification of products digitally tracked through resulting "*digital twins*" or "*virtual replicas*" (Alves et al., 2022; BoF, 2021; Franck et al., 2022). Considering the important share of environmental impacts related to the product use phase owing to the amount of electricity and water used for washing and drying (Notten, 2020; Sadowski et al., 2019) (the use phase has been estimated to account for 20% of industry GhG emissions) (Berg et al., 2020)

information could be provided to assist consumers for greater perception of such impacts (Kumar et al., 2017a). Specific laundering and care advice as well as repair guidance could also potentially be more easily provided to consumers to support product durability (Alves et al., 2022; Franck et al., 2022). Digital traceability solutions referred to as "*circularity digital platforms*" are developing (Doyle, 2022) and pilot projects are being launched in the industry (BoF, 2021). However, it is worth cautioning that digital product passports are not a "*silver-bullet solution*" (BoF, 2021). Especially, companies continue to face significant hurdles to make sure that the data communicated is accurate (BoF, 2021).

- **Facilitating product-service systems**

The introduction of digital passports is also considered a medium to support the development of product-service systems in the industry, by facilitating access to consumers to repair or resale services for instance, and by assisting the underlying reverse logistics of these business models (Doyle, 2022; Franck et al., 2022; BoF, 2021). Concurrently, this could allow enhancing data recording regarding product use phase (Alves et al., 2022).

Every time an event (transaction) is held for a specific product, the corresponding data could be captured by the use of IoT devices and appropriately managed through the use of digital platforms (Alves et al., 2022; Franck et al., 2022). Accordingly, it is suggested that this could enable possible credentials regarding product circularity (Alves et al., 2022).

- **Improving end-of-life management**

Finally, traceability is also considered an important lever to assist product end-of-life management in the industry (Doyle, 2022; Bour and Jonsson, 2020; Notten, 2020). By potentially facilitating information access to consumers, digital product passports could more easily inform appropriate collection options at first (Franck et al., 2022). By opening the possibility to convey critical information on composition and other essential information such as the presence of harmful chemicals (Bour and Jonsson, 2020), traceability could enable to direct products to the most appropriate treatment routes and assist the needed provision of well-defined feedstocks to support the development of recycling in the industry (Ghoreishi et al., 2022; Doyle, 2022; Notten et al., 2020; Kumar et al., 2017a). Current labels are frequently no longer attached at the end-of-life, they can be illegible following the use phase or the information could be inaccurate (Franck et al., 2022; Riemens et al., 2021). The lack of available and accurate information has been identified as one of the main barriers to the current limited development of textile recycling in the industry (Franck et al., 2022; Doyle, 2022; Riemens et al., 2021). Faced with this lack of information, near-infrared spectroscopy solutions are being experimented, although it still has limitations for recognition (Van Duijn et al., 2022). Concurrently, research also suggests that it could provide valuable insights as well on product next life (Alves et al., 2022).

3.2.5.2. Value chain scope

This sub-section presents the findings from the literature regarding the dimension "Value chain scope" of the analysis framework (Figure 17).



Figure 16. "Value chain scope" dimension of the analysis framework.

Despite the steadily recognised role of traceability to identify and mitigate production impacts, its implementation continues to be largely hampered by the current state of complexity and opacity in supply networks (UNECE, 2020; Norton et al., 2014), which has been a long-standing concern in the industry (Khurana and Ricchetti, 2016). It is widely highlighted that brands would mainly have visibility up to their direct suppliers (BoF, 2022; Garcia-Torres et al., 2021; Brun et al., 2020; UNECE, 2020; Notten, 2020; Mejías et al., 2019; BoF, 2018; Doorey, 2011) eventually a bit further upstream (Egels-Zanden et al., 2015). Considering this widespread complexity, suppliers themselves experience difficulties, even if it can vary depending on supply networks (Karaosman et al., 2020). While it is not standardised, the so-called four "tiers" are commonly distinguished to differentiate the main production stages, from raw materials up to retail and distribution of the final product. "Tier 1" corresponds to the finished product assembly, "Tier 2" to the manufacturing of sub-components, "Tier 3" to the processing of raw materials and "Tier 4" to the cultivation, farming, or extraction of raw materials (UNECE, 2020; Sadowski et al., 2019). As part of a multi-stakeholder initiative to enhance traceability and transparency in the apparel and footwear industry, the UNECE pointed out recently that only 34% of enquired companies had a traceability approach in place, of which half had visibility up to Tier 2 (2020).

Value chain fragmentation and complexity emerged as the most significant challenge (69% of respondents). This complexity is further exacerbated by the prevalence of subcontracting and informal work in the industry (BoF, 2018). Furthermore, raw materials arrive from across the world (Karaosman et al., 2020). Also, the speed at which the industry currently operates is acknowledged as another critical barrier, owing to the resulting supply chain volatility

(BoF, 2018). Consequently, attempting to enhance transparency across the production stages appears extremely difficult just for one product which can involve up to 100 suppliers and each having its own challenges (Brun et al., 2020). Therefore, it is all the more so for all product references (Doyle, 2022) requiring prioritising efforts (Brun et al., 2020; Egels-Zanden et al., 2015). Recent instances of collective experimentations of traceability technological solutions along the entire supply chain appear to remain at a proof-of-concept stage for the moment (UNECE, 2022b; Fashion for Good, 2019). Concurrently, the few empirical studies conducted in this regard either entail controlled supply networks (Ahmed and MacCarthy, 2021; Caldarelli et al., 2021; Macchion et al., 2017) or experimentations (Papetti et al., 2019; Germani et al., 2015). Past the distribution, traceability is predominantly lost beyond the point-of-sale with traditional linear business models (Franck et al., 2022) and product digital passports are just beginning to be introduced and tested (BoF, 2021)

3.2.5.3. Action levers



Figure 17. "Action Levers" dimension of the analysis framework.

- **Information**

To support these objectives, traceability entails various possible types and magnitude of information. For instance, the authentication of the provenance involves the record of incoming and outgoing transactions at each production stage (Doyle, 2022; Agrawal et al., 2021; Ahmed and MacCarthy, 2021). Environmental impact assessments necessitate collecting primary activity data (Carrières et al., 2022) such as waste loss (Shou and Domenech, 2022), energy consumption (Marconi et al., 2017), water used (Marconi et al., 2017) or chemicals inventory (Shou and Domenech, 2022) to enhance the representativity of the evaluation. Meanwhile, information on the precise composition of the materials is critical to direct appropriate recycling channels, once products are no longer reusable (Franck et al., 2022; Riemens et al., 2021).

Some studies attempted to provide classifications of the main traceability information typologies (UNECE, 2022b; Agrawal and Pal, 2019). However, the absence of common standards has been highlighted as an important impediment for advancing traceability in the industry (Doyle, 2022).

- **Technologies**

Among the other action levers, technologies have been presented as a significant opportunity to support traceability improvement along the value chain (BoF, 2022; UNECE, 2022b; Ahmed and MacCarthy, 2021; Garcia-Torres et al., 2019; Kumar et al., 2017a,b) and the landscape of solutions appears to have exploded in the industry (Doyle, 2022). Especially, ICT appears to be essential to facilitate data collection, sharing and management in a timely manner (BoF, 2022; Moretto and Macchion, 2022; Kumar et al., 2017a,b; Macchion et al., 2017; Gobbi and Massa, 2015). Various cloud-based digital platforms are being advanced for enhancing traceability across production stages in the industry, with different approaches depending on the objectives (Doyle, 2022). "*Garment backward*" (top-down) solutions aim to enable brands to uncover their supply network, by starting with mapping suppliers and then understanding the retrospective journey of products a posteriori, and subsequently connecting the identified suppliers involved (Doyle, 2022). However, the approach is considered less reliable (Doyle, 2022). Also, it still requires a high level of trust and cooperation with suppliers (Doyle, 2022). Meanwhile, "*Fibre forward*" (bottom-up) platforms subsist in real-time data collection, as production lots move up the value chain. These platforms use blockchain technology and especially aim to establish authenticity of claimed materials and provenance with consistency verification of transaction volumes, stored in a digital tamper-proof record (Doyle, 2022). As a distributed ledger technology, blockchain refers to the way data is stored, each transaction being cryptographically linked to the one that preceded it in the ledger using the block hash and the timestamped information (Ahmed and MacCarthy, 2021). This capability ensures the auditability of the ledger (Alves et al., 2022) by tracking changes, allowing faults to be identified and attempts at tampering to be highlighted (Ahmed and MacCarthy, 2021).

This bottom-up approach is considered as requiring strong collaboration, relationship, and ability to communicate with suppliers for their engagement (Doyle, 2022). Consequently, it is advised that it is imperative to consider the maturity for the implementation of digital traceability solutions (Doyle, 2022). At the industry level, various proof-of-concepts pilots have been launched to experiment blockchain platforms combined with other technological solutions demonstrating their feasibility (UNECE, 2022b; Fashion for Good, 2019). However, it is suggested that the implementation of these platforms is still in its infancy in the industry (BoF, 2022). Introduction of traceability systems across production stages has also gained the attention of researchers (Agrawal et al., 2021; Ahmed and MacCarthy, 2021; Bullon Perez et al., 2020; Carrières et al., 2022; Papetti et al., 2019; Macchion et al., 2017; Marconi et al., 2017; Germani et al., 2015). Especially, significant attention has been paid to blockchain for supply chain traceability due to this real-time tracking and associated principles of data decentralisation, security, immutability, and privacy (Agrawal et al., 2021; Ahmed and MacCarthy, 2021; Caldarelli et al., 2021; Carrières et al., 2022; Moretto and Macchion, 2022; Bullon Perez et al., 2020). Empirical studies remain limited but nevertheless provide preliminary insights regarding the adoption of such digital technologies and associated challenges. A recent case study with fashion brands and technology providers highlighted that companies are still evaluating its potential and have not moved on yet to real implementation (Moretto and Macchion, 2022). The exploratory study conducted by Caldarelli et al. (2021) with an Italian fashion company concluded that while it could be a valuable solution, it nevertheless requires a high understanding of the technology to be implemented. Concurrently, Ahmed and MacCarthy (2021) analysed the adoption of a private blockchain traceability solution by a leading fibre producer with the successful implementation of several pilots, showing promise in improving traceability but suggesting significant technical and business challenges in this respect. Overall, it is suggested that notwithstanding the potential of blockchain, the technology is still at an early stage (Moretto and Macchion, 2022; Ahmed and MacCarthy, 2021; Caldarelli et al., 2021). It is also worth noting that their adoption entails significant organisational hurdles (Ahmed and MacCarthy, 2021; Moretto and Macchion, 2022; Caldarelli et al., 2021). In addition, in order to

preserve the association between the physical and digital worlds, the key role of identification technologies has also been acknowledged (Alves et al., 2022; BoF, 2022; Franck et al., 2022; UNECE, 2022b; Ahmed and MacCarthy, 2021). Various types of solutions are reported, starting with IoT, which is defined as "*a networked connection of physical objects to the internet*" (Patel and Patel, 2016). IoT involves digital identifiers such as barcodes, Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC) or other tags and sensors attached to the items tracked (Denuwara et al., 2019), which are used notably for commercial shipping and logistics (Doyle, 2022). Its potential has recently gained attention for the introduction of digital product passports in the industry (Alves et al., 2022; BoF, 2021; Franck et al., 2022). Depending on the objectives pursued and the digital identifier used consequently, access to this passport could be provided through various interactions (e.g. scan, tap) (Franck et al., 2022). For instance, consumers will not be able to read RFID chips, as it requires specific readers, while barcodes and QR code systems are considered unsuitable for end-of-life processes (Bour & Jonsson, 2020). Those identification solutions are combined with digital platforms for data registering (Franck et al., 2022), which are currently being developed as "*digital circularity platforms*" in the industry (Doyle, 2022). In this regard, research suggests the potential of blockchain combined with IoT as an ideal solution (Alves et al., 2022).

Finally, "*physical markers*" have been distinguished as another type of promising technology (Crowley et al., 2022). These solutions essentially aim to enable the physical authentication of fibres and materials (Ghoreishi et al., 2022; Doyle, 2022; Shou and Domenech, 2022; Ahmed and MacCarthy, 2021). In this regard, two types of tracers have been acknowledged: "*forensic*" vs "*additive*" tracers, which are currently under development in the industry (Crowley et al., 2022; Doyle, 2022). "*Forensic tracers*" comprise solutions analysing the biochemical composition of plant and animal fibres (e.g. cotton, hemp, and wool) in corresponding materials (e.g. yarn, fabric ...) and/or garments. Basically, the biochemical composition of the pulled sample is cross-referenced against predetermined and verified provenance databases (Crowley et al., 2022). This enables to check tested samples regarding potentially questionable geographic origin or alleged preferred fibres (Crowley et al., 2022; Doyle, 2022). Therefore, these solutions are restricted to the origin of natural fibres and do not provide real-time physical traceability along the value chain (Doyle, 2022). Additive tracers involve the detection of substances added by human intervention: synthetic or artificial DNA, optical fingerprints, ink, or rare earth fluorescent, with variable application mechanisms to ensure the presence of the claimed materials. Detection processes are settled since the point of application (Doyle, 2022). Consequently, these solutions encompass potentially different applications and scopes across the value chain (Crowley et al., 2022). Besides, they do not involve the same level of operational requirements for their implementation and maintenance, as additive tracers requiring on-site application and detection processes (Doyle, 2022). Therefore, supplier engagement and management are presented as key pre-requisites for their successful application (Crowley et al., 2022; Doyle, 2022). Consequently, a variety of complementary technological solutions exist (Ahmed and MacCarthy, 2021; Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Fashion for Good, 2019), and no one solution can provide end-to-end traceability (Ahmed and MacCarthy, 2021). Accordingly, defining objectives of any traceability initiative and its scope (Ahmed and MacCarthy, 2021) as well as appropriate criteria for evaluating and selecting technologies is strongly advised (UNECE, 2022b). In addition, the development of numerous solutions raises a major challenge of inter-operability (Doyle, 2022; UNECE, 2022b; Kumar et al., 2017a,b) and the need to use standard data definitions and codes to enhance information exchange in the industry (BoF, 2022; UNECE, 2022b).

- **Organization**

Furthermore, it is raised that enhancing traceability across the value chain implies significant inter-organisational challenges and especially the need for strong collaboration (UNECE, 2022b; Kumar et al., 2017a; Macchion et al., 2017). Considering the current state of opacity in supply chains, extending traceability across production networks has been shown to require strong collaboration as actors need to willingly share information (Brun et al., 2020; UNECE, 2020; Macchion et al., 2017; Egels-Zanden et al., 2015; Norton et al., 2014; Doorey, 2011). Lack of trust and issues of confidentiality are outlined as significant inhibitors, especially with suppliers or agents (middlemen) being

afraid to be bypassed by their clients, after giving their upstream supplier information (Brun et al., 2020; Karaosman et al., 2020; Garcia-Torres et al., 2019; Egels-Zanden et al., 2015; Norton et al., 2014).

Data privacy and security emerged as the second main barrier to the improvement of traceability from the study conducted by the UNECE (2020). Cultural differences, language barriers (UNECE, 2020) as well as the absence of shared values and vision are also considered to be significant challenges (Garcia-Torres et al., 2019; Gobbi and Massa, 2015). Consequently, the complexity of supply networks arises from the few research case studies conducted on the implementation of blockchain traceability systems as the most significant impediment. It necessitates the identification and alignment of actors in the first place (Moretto and Macchion, 2022; Shou and Domenech, 2022; Ahmed and MacCarthy, 2021; Caldarelli et al., 2021; Macchion et al., 2017). Caldarelli et al. (2021) explicitly discouraged the use of blockchain when sustainability practices cannot be guaranteed in the first place. The research conducted by Moretto and Macchion (2022) also confirmed that complexity of the network will foster or reduce the effectiveness of the adoption of technology. Consequently, it is recommended that several critical factors should be considered when attempting to extend traceability across the production stages, such as the reliability of the targeted network (Macchion et al., 2017) or the relationship with suppliers (Shou and Domenech, 2022; Brun et al., 2020), the level of trust (Brun et al., 2020) or the ability of influence (Shou and Domenech, 2022; Brun et al., 2020). Commercial power also emerges as an important enabler in some studies (Brun et al., 2020; Macchion et al., 2017). Furthermore, the necessity to consider the situation of suppliers has been advanced, as smaller actors can be more reluctant to share data or can have limited resources and capability to do so (Shou and Domenech, 2022). Besides, traceability implementation and associated technological solutions involve intensive resources and high costs, which require to be a collaborative effort between all concerned actors (UNECE, 2020; Garcia-Torres et al., 2019; Macchion et al., 2017). Therefore, in order to successfully introduce technologies, assessing the feasibility and the readiness has been advised (UNECE, 2022b; Ahmed and MacCarthy, 2021). Consequently, the literature clearly shows that extending traceability across production networks necessitates inter-organisational strategies to be implemented (Brun et al., 2020; Betti et al., 2021; Kumar et al., 2017a,b; Norton et al., 2014). Egels-Zanden et al. (2015) highlighted in their case study trade-offs encountered by the brand in its attempt to enhance visibility and transparency over suppliers, recommending choosing between a "compliance" or "cooperation" approach, depending on the brand's position and the supply network. Garcia-Torres et al. (2019) identified among enablers, the use of formal (e.g. supplier codes of conduct) and informal (e.g. visits to suppliers) governance mechanisms based on trust (or distrust) and relation control. Brun et al. (2020) evidenced supplier engagement, commitment and leadership among key antecedents and suggested the necessity to move towards collaborative relationships and partnerships, such as long-term orientation in the selection of suppliers to limit turn-over or the development of capacity programmes with suppliers. Besides, potential beneficial collaborative practices with external stakeholders such as working groups, academia, government agencies and NGOs (Brun et al., 2020; Garcia-Torres et al., 2019; Egels-Zanden et al., 2015; Doorey, 2011) as well as global multi-stakeholder initiatives (Norton et al., 2014) are also recommended. For instance, NGOs or trade unions could facilitate to share knowledge and resources (Brun et al., 2020). Horizontal collaboration with industry peers is also advised. This could help leverage influence (Doyle, 2022; Sadowski et al., 2019), while also enhancing mutualisation, thereby helping to reduce current detrimental time-consuming duplications of information demands to suppliers from brands (Karaosman et al., 2020; Doorey, 2011).

Furthermore, it is highlighted that traceability also involves important intra-organisational changes (Doorey, 2011), with a recent study advancing it as a strategic and cross-functional issue requiring executive leadership along with coordinated roles and responsibilities for successful implementation (Betti et al., 2021).

- **Operations**

Finally, it emerges that traceability implementation must also be supported by the adoption or the improvement of business processes (Betti et al., 2021; Macchion et al., 2017). In this vein, a handful of supply chain management processes have been suggested, such as the implementation of procedures for selection of suppliers (Brun et al., 2020; Mejías et al., 2019), with declaration and approval of production units (Mejías et al.,

2019), the supervision process of the number of factories (Egels-Zanden et al., 2015), meetings and verification checks with suppliers (Brun et al., 2020).

3.2.6. Discussion

Based on the findings from the literature review, several comments can be made in support of the advancement of research and practice (RQ2), in particular with regards to the integration of traceability in sustainability strategies, and to its practical implementation. The review suggested that traceability has been recognised as an essential lever to effectively manage associated significant environmental and social production impacts (UNECE, 2020). However, the current complexity and opacity makes the data collection process extremely challenging, while it is deemed essential to prioritize traceability implementation accordingly (UNECE, 2020). This raises the question of how to direct efforts in such a situation, which still remains unaddressed despite the considerable difficulties highlighted in attempting to advance traceability both in research (Brun et al., 2020; Karaosman et al., 2020; Egels-Zanden et al., 2015) and practice (UNECE, 2020; BoF, 2018). Traceability along the production stages appears fragmented through scattered initiatives and isolated guidelines (UNECE, 2022b; Norton et al., 2014). Besides, a focus on the environmental impact of the industry is perceptible in research (Papetti et al., 2019; Marconi et al., 2017; Germani et al., 2015) and practice as well (Berg et al., 2020; Sadowski et al., 2019; Chrobot et al., 2018). No research or report has attempted so far to explore how to implement traceability, as part of a sustainability strategy, to tackle environmental urgencies while improving social externalities, in order to provide comprehensive guidelines for companies. The risk of such a fragmented approach is that it could neglect significant production impacts in traceability implementation and diminish its effectiveness. The review also highlighted that profuse technological solutions are being developed to enhance traceability along the production stages (BoF, 2022; Crowley et al., 2022; Doyle, 2022). The feasibility of their use has been acknowledged (Fashion for Good, 2019), but they seem to raise significant challenges in practice. There is still a lack of evidence in research (Ahmed and MacCarthy, 2021; Caldarelli et al., 2021) and practice (Fashion for Good, 2019) for their implementation at scale.

Extending traceability across production networks clearly appears to imply important organizational challenges (Brun et al., 2020; Egels-Zanden et al., 2015) thus requiring a stepwise approach (Egels-Zanden et al., 2015) that must be considered. Besides, operational implications are also raised but remain largely underexplored, while changes in product design, development, and production are rationally necessary to support traceability implementation. However, no research or studies have addressed how to enhance traceability in this respect, considering the readiness or maturity of the organization for a progressive and effective implementation. In addition, the review also showed that traceability could leverage other potential improvement objectives past the distribution and especially with the introduction of digital product passports (Doyle, 2022; Franck et al., 2022; Ghoreishi et al., 2022). This could improve information access to consumers, support product-service systems while assisting product end-of-life management, towards the improvement of circularity in the industry. However, these applications are emerging and require further experimentations. They also require accurate upstream information, which is currently missing. Overall, traceability could play a supporting role in the wake of this transition towards sustainable value chains (UNECE, 2022a,b, 2020) but its implementation appears to remain in its infancy and raises significant challenges. While traceability appears as an important lever, it is not a sufficient condition per se for sustainability. Especially, its implementation must go hand in hand with a reduction in production and consumption volumes (Doyle, 2022), which is necessary in order to effectively address the environmental impacts of the industry (Berg et al., 2020; Chrobot et al., 2018).

3.2.7. Conclusion and perspectives

This study addressed the significant issue of traceability implementation in support of sustainable value chains in the fashion industry. The emerging nature of this topic, the small number of available frameworks and their limitations required a new way to holistically apprehend the literature. To this end, an iterative and inductive examination of the literature was carried out. A novel analysis framework was elaborated following the identification of three recurring and interrelated dimensions (objectives, scope, and action levers) to apprehend traceability implementation in the context of sustainability along the entire value chain in the fashion industry. Based on this analysis framework, the literature review highlighted that traceability could leverage several improvement objectives along the value chain, but its implementation appears at its infancy in the industry. Consequently, this paper entails important theoretical and practical contributions. The analysis framework enables researchers to explore the literature in a holistic and structured manner, while at the same time providing a comprehensive vision for practitioners. Besides, the paper provides useful initial knowledge to support the advancement of the topic in research and practice. The research still entails limitations as remaining theoretical. Besides, given the expanding grey literature in the industry and the decision to narrow the scope to the main available documents in English, relevant information sources might have been excluded. However, the paper opens up promising research perspectives. Studies should experiment the framework with practitioners to corroborate or refine its dimensions to further support traceability implementation in the industry.

The framework could serve as an awareness-raising tool to apprehend this complex topic or as a management instrument to support the devise of traceability implementation roadmap. Finally, given its emergence in the industry, the multiplicity of technologies and the raised significant challenges, research should be conducted to explore the matter of maturity for its effective implementation. As a continuation of this framework, action research should be conducted to find possible ways to complementary diagnosis the readiness of an organization for traceability implementation, towards the achievement of these objectives, as part of a sustainability transformation strategy.

References

- Adams, R.J., Smart, P., Huff, A.S., 2017. Shades of grey : guidelines for working with the grey literature in systematic reviews for management and organizational studies: shades of grey. *Int. J. Manag. Rev.* 19 (4), 432–454.
- Agrawal, T.K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., Chen, Y., 2021. Blockchain-based framework for supply chain traceability : a case example of textile and clothing industry. *Comput. Ind. Eng.* 154, 107130.
- Agrawal, T., Pal, R., 2019. Traceability in textile and clothing supply chains : classifying implementation factors and information sets via Delphi study. *Sustainability* 11 (6), 1698.
- Ahmed, W.A.H., MacCarthy, B.L., 2021. Blockchain-enabled supply chain traceability in the textile and apparel supply chain : a case study of the fiber producer, Lenzing. *Sustainability* 13 (19), 10496.
- Alves, L., Ferreira Cruz, E., Lopes, S.I., Faria, P.M., Rosado da Cruz, A.M., 2022. Towards circular economy in the textiles and clothing value chain through blockchain technology and IoT : a review. *Waste Manag. Res.: The Journal for a Sustainable Circular Economy* 40 (1), 3–23.
- Berg, A., Magnus, K.-H., Kappelmark, S., Granskog, A., Libbi, L., Sawers, C., 2020. Fashion on Climate. How the Fashion Industry Can Urgently Act to Reduce its Greenhouse Gas Emissions. McKinsey & Company in partnership with Global Fashion Agenda (GFA). (Accessed on 31 March 2023).
- Beswick, C., 2022. Demystifying Traceability. *Global Fashion Agenda (GFA)*. (Accessed 4 April 2023).
- Betti, F., Hinkel, J., Saenz, H., 2021. Digital Traceability: A Framework for More Sustainable and Resilient Value Chains. *World Economic Forum*. (Accessed 1 March 2023).
- Bhatt, T., Buckley, G., Mcentire, J.C., 2013. Proceedings of the August 2011 traceability research summit. *J. Food Sci.* 78 (s2).
- Bosona, T., Gebresenbet, G., 2013. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control* 33 (1), 32–48.
- Bour, L.S., Jonsson, C., 2020. RFID for transparency, traceability and end-of-life handling of textiles - the importance of harmonized legislation. *Current Trends in Fashion Technology and Textile Engineering* 6 (1), 2577–2929.
- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company, 2022. The Traceability Tech Aiming to Unlock a More Sustainable Industry. (Accessed 23 November 2022).
- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company, 2021. The Year Ahead: what Product Passports Will Do for Brands. (Accessed 15 July 2022).
- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company, 2018. The Year Ahead: the Case for Radical Transparency. (Accessed 15 July 2022).
- Brun, A., Karaosman, H., Barresi, T., 2020. Supply chain collaboration for transparency. *Sustainability* 12 (11), 4429.
- Bullon Perez, J.J., Queiruga-Dios, A., Gayoso Martínez, V., Martín del Rey, A., 2020. Traceability of ready-to-wear clothing through blockchain technology. *Sustainability* 12 (18), 7491.
- Caldarelli, G., Zardini, A., Rossignoli, C., 2021. Blockchain adoption in the fashion sustainable supply chain : pragmatically addressing barriers. *J. Organ. Change Manag.* 34 (2), 507–524.
- Carrières, V., Lemieux, A.-A., Margni, M., Pellerin, R., Cariou, S., 2022. Measuring the value of blockchain traceability in supporting LCA for textile products. *Sustainability* 14 (4), 2109.
- Cheng, M.J., Simmons, J.E.L., 1994. Traceability in manufacturing systems. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 14 (10), 4e16.
- Chrobot, P., Faist, M., Gustavus, L., Martin, A., Stamm, A., Zah, R., Zollinger, M., 2018. Measuring Fashion. Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study. Full Report and Methodological Considerations. *Quantis*. (Accessed 31 March 2023).
- Crowley, J., Rademan, K., Tan, E., 2022. The Textile Tracer Assessment : an Analysis and User Guide for Physical Tracer Technologies in the Textile Industry. *Fashion for Good & Textile Exchange*. (Accessed 29 July 2022).
- Denuwara, N., Majjala, J., Hakovirta, M., 2019. Sustainability benefits of RFID technology in the apparel industry. *Sustainability* 11 (22), 6477.
- Doorey, D.J., 2011. The transparent supply chain : from resistance to implementation at nike and levi-strauss. *J. Bus. Ethics* 103 (4), 587–603.

- Doyle, 2022. The Traceability Playbook for Fashion Supply Chains. Trustrace. (Accessed 15 July 2022).
- Dupuy, C., Botta-Genoulaz, V., Guinet, A., 2005. Batch dispersion model to optimise traceability in food industry. *J. Food Eng.* 70 (3), 333–339.
- Egels-Zanden, N., Hulthen, K., Wulff, G., 2015. Trade-offs in supply chain transparency : the case of Nudie Jeans Co. *J. Clean. Prod.* 107, 95–104.
- EU, 2002. Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. *Official Journal of the European Communities* 31, 1–24, 2002.
- Fashion for Good, 2019. Successfully Tracing Organic Cotton with Innovative Technologies. (Accessed 20 September 2021).
- Folinas, D., Manikas, I., Manos, B., 2006. Traceability data management for food chains. *Br. Food J.* 108 (8), 622–633.
- Franck, N., Bates, C., Tosi, E., Brown, J., Neibert, M., McDonald, T., McCullough, C., Wang, J., Magruder, K., Twogood, J., Schweiger, P., Coulter, S., Edwards, S., Connock, T., Harrington-Smith, C., 2022. Industry Aligned Action Plan : Digital ID to Scale Circular Systems. EON, Accelerating Circularity & EUNOMIA. (Accessed 23 November 2022).
- Garcia-Torres, S., Rey-Garcia, M., S Daenz, J., Seuring, S., 2021. Traceability and transparency for sustainable fashion-apparel supply chains. *J. Fash. Mark. Manag.: Int. J.* 26 (2), 344–364.
- Garcia-Torres, S., Albareda, L., Rey-Garcia, M., Seuring, S., 2019. Traceability for sustainability – literature review and conceptual framework. *Supply Chain Manag.: Int. J.* 24 (1), 85–106.
- Germani, M., Mandolini, M., Marconi, M., Marilungo, E., Papetti, A., 2015. A system to increase the sustainability and traceability of supply chains. *Procedia CIRP* 29, 227–232.
- Ghoreishi, M., Bhandari, K., Franconi, A., 2022. Smart fashion economy through a data-driven circular ecosystem : a case study. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1009 (1), 012012.
- Gobbi, L., Massa, I., 2015. Supply chain management in textile sector : the case of the Italian T-fashion traceability system. *Int. J. Environ. Health* 7 (4), 359.
- ISO 14040, 2006a. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. (Accessed 5 April 2023).
- Islam, S., Cullen, J.M., 2021. Food traceability : a generic theoretical framework. *Food Control* 123, 107848.
- ISO 14044, 2006b. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines. Available at: link (Accessed 5 April 2023).
- Jacomet, D., Minvielle, G., 2012. De Industrialisation-Re-Industrialisation in the Fashion Industry. (Accessed 19 July 2022).
- Jansen-Vullers, M.H., van Dorp, C.A., Beulens, A.J., 2003. Managing traceability information in manufacture. *Int. J. Inf. Manag.* 23 (5), 395–413.
- Joy, A., Pena, C., 2017. Sustainability and the fashion industry : conceptualizing nature and traceability. In: Henninger, C.E., Alevizou, P.J., Goworek, H., Ryding, D. (Eds.), *Sustainability in Fashion*. Springer International Publishing, pp. 31–54.
- Kamann, D.J.F., Alfaro, J.A., Sebrek, S.S., 2019. 28 years of traceability management : trends, bottlenecks, and opportunities. *Int. J. Procure. Manag.* 12 (1), 56. *Journal of Cleaner Production* 414 (2023) 137501, 14.
- Karaosman, H., Perry, P., Brun, A., Morales-Alonso, G., 2020. Behind the runway : extending sustainability in luxury fashion supply chains. *J. Bus. Res.* 117, 652–663.
- Karlsen, K.M., Dreyer, B., Olsen, P., Elvevoll, E.O., 2013. Literature review : does a common theoretical framework to implement food traceability exist? *Food Control* 32 (2), 409–417.
- Karlsen, K.M., Donnelly, K.M., Olsen, P., 2011. Granularity and its importance for traceability in a farmed salmon supply chain. *J. Food Eng.* 102 (1), 1–8.
- Khurana, K., Ricchetti, M., 2016. Two decades of sustainable supply chain management in the fashion business, an appraisal. *J. Fash. Mark. Manag.* 20 (1), 89–104.
- Kim, H.M., Fox, M.S., Gruninger, M., 1999. An ontology for enterprise modelling. In: *Proceedings of the Fourth Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises WET ICE '95*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Computer Society Press, Los Alamitos, USA, p. 105e116.
- Kumar, V.,

- Agrawal, T.K., Wang, L., Chen, Y., 2017a. Contribution of traceability towards attaining sustainability in the textile sector. *Textiles and Clothing Sustainability* 3 (1), 5.
- Kumar, V., Hallqvist, C., Ekwall, D., 2017b. Developing a framework for traceability implementation in the textile supply chain. *Systems* 5 (2), 33.
- Macchion, L., Furlan, A., Vinelli, A., 2017. The implementation of traceability in fashion networks. In: Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H., Fornasiero, R. (Eds.), *Collaboration in a Data-Rich World*, vol. 506. Springer International Publishing, pp. 86–96.
- Marconi, M., Marilungo, E., Papetti, A., Germani, M., 2017. Traceability as a means to investigate supply chain sustainability : the real case of a leather shoe supply chain. *Int. J. Prod. Res.* 55 (22), 6638–6652.
- Mejías, A.M., Bellas, R., Pardo, J.E., Paz, E., 2019. Traceability management systems and capacity building as new approaches for improving sustainability in the fashion multi-tier supply chain. *Int. J. Prod. Econ.* 217, 143–158.
- Mgonja, J.T., Luning, P., Van der Vorst, J.G., 2013. Diagnostic model for assessing traceability system performance in fish processing plants. *J. Food Eng.* 118 (2), 188–197.
- Moe, T., 1998. Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends Food Sci. Technol.* 9 (5), 211e214.
- Moretto, A., Macchion, L., 2022. Drivers, barriers, and supply chain variables influencing the adoption of the blockchain to support traceability along fashion supply chains. *Operations Management Research* 15, 1470–1489.
- Morlet, A., Opsomer, R., Herrmann, S., Gillet, C., Fuchs, L., 2017. A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future. Ellen MacArthur Foundation (EMF) & Circular Fibres Initiative. (Accessed 19 July 2022).
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., Gwilt, A., 2020. The environmental price of fast fashion. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1 (4), 189–200.
- Norton, T., Beier, J., Shields, L., 2014. A Guide to Traceability : A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains. (Accessed 19 July 2022).
- Notten, P., 2020. Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: Global Stocktaking UN Environment Programme. Available at: link. (Accessed 19 July 2022).
- OECD, 2018. Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains in the Garment and Footwear Sector. (Accessed 22 November 2022).
- Olsen, P., 2018. Food Traceability in Theory and in Practice. Available at: link. (Accessed 4 April 2023).
- Olsen, P., Borit, M., 2013. How to define traceability. *Trends Food Sci. Technol.* 29 (2), 142–150.
- Opara, L.U., 2003. Traceability in agriculture and food supply chain: a review of basic concepts, technological implications, and future prospects. *J. Food Agric. Environ.* 1, 101–106.
- Papetti, A., Marconi, M., Rossi, M., Germani, M., 2019. Web-based platform for eco sustainable supply chain management. *Sustain. Prod. Consum.* 17, 215–228.
- Patel, K.K., Patel, S.M., 2016. Internet of Things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *Int. J. Eng. Sci. Comput.* 6, 6122–6131.
- Regattieri, A., Gamberi, M., Manzini, R., 2007. Traceability of food products : general framework and experimental evidence. *J. Food Eng.* 81 (2), 347–356.
- Richero, P., Ferrigno, S., 2016. A Background Analysis on Transparency and Traceability in the Garment Value Chain. Project No. 2016/378769. Implemented by DAI Europe & Funded by the European Commission. (Accessed 4 April 2023).
- Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lamouri, S., Garnier, L., 2021. A Delphi Regnier study addressing the challenges of textile recycling in europe for the fashion and apparel industry. *Sustainability* 13, 11700.
- Sadowski, M., Yan, C., Cummis, C., Aden, N., 2019. Apparel & Footwear Sector. Science-Based Targets Guidance. Science-Based Targets. World Resources Institute. (Accessed 4 April 2023).
- Shou, M., Domenech, T., 2022. Integrating LCA and blockchain technology to promote circular fashion – a case study of leather handbags. *J. Clean. Prod.*, 133557
- Siddaway, A.P., Wood, A.M., Hedges, L.V., 2019. How to do a systematic review : a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annu. Rev. Psychol.* 70 (1), 747–770.

- Storøy, J., Senneset, G., Forås, E., Olsen, P., Karlsen, K.M., Frederiksen, M., 2008. Improving traceability in seafood production. In: Børresen, T.E. (Ed.), *Improving Seafood Products for the Consumer, Part VI Seafood Traceability to Regain Consumer Confidence*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, p. 516e538.
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P., 2003. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *Br. J. Manag.* 14 (3), 207–222.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2022a. *Enhancing Traceability of Products along International Value Chains for the Circular Economy and Sustainable Use of Resources*. (Accessed 4 April 2023)
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2022a. *Enhancing Traceability of Products along International Value Chains for the Circular Economy and Sustainable Use of Resources*. (Accessed 4 April 2023).
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2022a. Recommendation N° 46: *Enhancing Traceability and Transparency of Sustainable Value Chains in the Garment and Footwear Sector (ECE/TRADE/463)*. United Nations Geneva. (Accessed 4 April 2023).
- UNECE, 2020. *Accelerating Action for a Sustainable and Circular Garment and Footwear Industry: Which Role for Transparency and Traceability of Value Chains? Policy Paper*. United Nations Geneva. (Accessed 4 April 2023).
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2015. *Paris Agreement*. UNFCCC, Geneva, Switzerland. (Accessed 4 April 2023).
- United Nations (UN) General assembly, 2015. *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. (Accessed 4 April 2023).
- Van Duijn, H., Papú Carrone, N., Bakowska, O., Huang, Q., Akerboom, M., Rademan, K., Vellanki, D., 2022. *Sorting for Circularity Europe. An Evaluation and Commercial Assessment of Textile Waste across Europe. Fashion for Good & Circle Economy*. (Accessed 22 November 2022).
- World Commission on Environment and Development (WCED), 1987. *Our Common Future*. (Accessed 4 April 2023).

Chapitre 4

Architecture de modèle de maturité pour guider les marques dans la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables

Ce quatrième chapitre correspond à la dernière étape de cette recherche-action, qui a été initiée durant la deuxième année de la thèse, et qui a abouti à l'occasion de la troisième année (2023), à la formalisation de l'architecture d'un modèle de maturité visant à guider les marques de mode dans la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables. En effet, la deuxième étape de recherche avait mis en évidence les multiples objectifs et applications de traçabilité tout au long de la chaîne de valeur, au regard des enjeux de développement durable, et les nombreux leviers de transformation à appréhender en conséquence. À cet égard, elle avait conduit à la conclusion de la nécessité dans un premier temps pour les marques, de définir une stratégie et une feuille de route pour la mise en œuvre de la traçabilité, en soutien d'objectifs de développement durable, tout en prenant en compte le niveau de maturité de l'entreprise et de sa chaîne de valeur sur ces enjeux. Ce constat a par la suite été confirmé à travers les retours d'expérience des différents projets collectifs dans lequel le chercheur était impliqué et plus largement les interactions avec l'écosystème. Dès lors, cette dernière étape a été consacrée à la conception et au développement de ce modèle de maturité. Ceux-ci se sont tout d'abord appuyés sur une étude préliminaire des principales références scientifiques sur le modèle de maturité, pour s'assurer de sa pertinence comme solution et d'identifier les principales caractéristiques et lignes directrices méthodologiques. Une revue des modèles dans la recherche et plus largement des outils professionnels d'évaluation, en lien avec la problématique étudiée, a également été réalisée et a mis en évidence l'absence de modèle dédié et l'insuffisance de ceux connexes existants pour leur combinaison dans un nouveau développement. L'élaboration de ce modèle de maturité a été alors initiée, dans le cadre de cette recherche-action, en s'appuyant sur l'analyse des retours d'expérience des différents projets, des échanges avec les praticiens et plus largement via les interactions avec l'écosystème, ainsi que la revue de rapports développement durable et des principaux standards et lignes directrices identifiés. Ces recherches ont abouti à l'élaboration d'une architecture de modèle, objet d'un troisième article soumis dans la revue scientifique *Internationale Journal of Production Economics* (IJPE).

Dès lors, la première section (4.1.) propose un résumé de l'article, qui est ensuite repris dans la seconde section (4.2.) de ce chapitre.

4.1. Résumé de l'article

- **Résumé (français)**

Le secteur de la mode est une industrie mondialisée au poids significatif dans l'économie mondiale, reposant toutefois sur des modèles de production et de consommation qui ont eu pour conséquence et qui continuent d'engendrer des impacts environnementaux et socio-économiques considérables. L'industrie a été reconnue comme responsable de nombreux défis écologiques globaux ainsi que de graves dommages sociaux, en faisant un secteur hautement prioritaire dans le sillage d'une transition vers un développement durable. À cet égard, l'amélioration de la traçabilité tout au long de la chaîne de valeur a été identifiée comme une priorité critique pour soutenir le développement de modèles de production et de consommation durables et comme une capacité stratégique dans cette transition nécessitant la définition d'une stratégie et d'une feuille de route spécifiques. Toutefois, une telle traçabilité de bout en bout est profondément émergente et les premiers retours d'expérience d'initiatives d'amélioration témoignent des défis considérables impliqués compte tenu de l'ampleur des transformations technologiques et organisationnelles nécessaires dans les chaînes de valeur actuelles fragmentées, opaques et linéaires dans l'industrie. Pour autant, alors que la nécessité pour les entreprises de prendre en compte leur niveau de maturité pour établir une mise en œuvre progressive et contrôlée a été soulevée, aucune solution n'a été proposée dans la recherche et la pratique à cette fin. Dès lors, cet article présente une nouvelle architecture de modèle de maturité développée à partir d'une démarche de recherche-action et visant à soutenir les marques de mode dans la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables. Bien que le modèle nécessite des développements complémentaires et son expérimentation opérationnelle utile, il offre un premier cadre robuste et une base de connaissances bénéfique, pour guider d'ores et déjà les praticiens sur les dimensions clés à prendre en compte dans la mise en œuvre de la traçabilité, et contribuer à l'amélioration de la recherche sur cette question stratégique dans l'industrie, mais plus largement, tous secteurs confondus.

- **Résumé (anglais)**

The fashion sector is a major globalised industry, relying on production and consumption models, which have prompted tremendous negative externalities over the last few decades. The industry has been considered a significant contributor to global ecological challenges, along with serious social damages, recognising it as a potential high-priority sector in the wake of a transition towards sustainable development. In this regard, traceability along the entire value chain has been identified as a primary concern to support sustainable production and consumption patterns and a strategic capability in this transition, requiring the definition of a dedicated strategy and roadmap. However, such end-to-end traceability is emerging, and it is raising considerable challenges given the scale of technological and organizational transformations in current fragmented, opaque, and linear value chains in the fashion industry.

As such, while the necessity for companies to consider their maturity for the devise of a meaningful and controlled progressive implementation has been raised, no solutions have been proposed in research and practice to this end. Hence, this paper advances an action-research based developed architecture of a novel maturity model aiming to support fashion brands in traceability implementation towards sustainable value chains. While requiring future developments and its ultimate experimentation, this soundly constructed architecture model provides a grounded framework with beneficial aggregated knowledge, to already guide practitioners on critical dimensions to carefully consider in traceability implementation and contribute to the enhancement of scientific research on this strategic issue in the industry, but more widely, in all sectors considered.

4.2. A novel maturity model architecture to support fashion brands in traceability implementation towards sustainable value chains (article n°3)

4.2.1. Introduction

Traceability has been steadily acknowledged as a critical priority (Betti et al., 2021; UNECE, 2020; UN Global Compact, 2015) and key strategic capability (Betti et al., 2021) in the fashion industry and beyond to support this urgent transition towards a sustainable development (UN, 2015; WECD, 1987) with associated climate change mitigation targets (UNFCCC, 2015) and to enable necessary resilience accordingly (Betti et al., 2021). Indeed, it has been recognized as an essential requisite for assessing, reducing, and improving significant environmental and social impacts along current global, opaque, and fragmented supply networks and to enhance their transparency consequently (UNECE, 2020; BoF, 2018). Besides, more recently, as part of the necessary reduction of resource pressure and resulting environmental footprint, traceability through product digital identification, has also been identified as a key enabler for enhancing circularity (Franck et al., 2022; Betti et al., 2021; Morlet et al., 2017). In this regard, product digital identification consists in the creation of digital twins of physical products, through embedded product data carriers, typically hosted in a cloud-based platform enabling to access, record and store real-time data across product lifecycle (Franck et al., 2022). Such product traceability enables the necessary underlying reverse logistics for product return, resell options and repair services of circular business models, while opening improvement perspectives of sorting at the end-of-life for the development of recycling (Franck et al., 2022; Riemens et al., 2021; Haegglom & Palmer, 2019). Besides, it would also contribute by facilitating information access to consumers to such options and services (Franck et al., 2022; Haegglom & Palmer, 2019). Accordingly, traceability is increasingly targeted by fast-changing regulations globally (EC, 2023) with multiple announced forthcoming obligations ranging from stringer due diligence (EC, 2022a; EC 2022b) and reporting (EC 2023b) to mandated product environmental labelling with the introduction of such product digital identification referred as Digital Product Passports (DDPs) to concurrently enhance circularity (EC, 2022c). Accordingly, traceability was recently redefined as the *"ability of an organisation to identify and control the trajectory and conditions of each component, material, process and human resources related to its products, from its initial conception until the end of its lifecycle"* to reflect its broad implications in the context of sustainable development and to encompass this entire value chain perspective (Garcia-Torres et al., 2021).

However, such end-to-end traceability appears extremely nascent in the industry and beyond (Betti et al., 2021). Upstream, the improvement of traceability over production conditions along supply chains is still largely hindered precisely by their complexity (UNECE, 2020). Consequently, numerous technological traceability solution providers have recently emerged, and especially supply chain traceability digital cloud-based platforms (Doyle, 2022) to facilitate data collection, exchange, and management in the industry and beyond (Betti et al., 2021). Concurrently, various other technological solutions have also been advanced to ensure product and material authenticity (Crowley et al., 2022) raising the issue for companies to navigate in this complex landscape (Betti et al., 2021). Besides, while investigations and initial experimentations have evidenced the feasibility of several technological solutions (Crowley et al., 2022; UNECE, 2022; Fashion for Good, 2019), their effective implementation at scale remains an open challenge. Especially, with regards to digital platforms, their deployment implies tremendous technical and organizational transformations to this end, given, to name a few, the multiplicity of actors that need to collaborate and agree to exchange data (Betti et al., 2021) their potential lack of technological readiness along with the interconnexions needed with existing information systems for necessary data collection and exchange automation (Betti et al., 2021). Past distribution, traceability is likewise emergent in current predominantly linear production and consumption models (Franck et al., 2022), even though a significant number of pilots has been recently initiated (CIRPASS, 2022; Trace4Value, 2023; BoF, 2021; Haegglom & Palmer, 2019). As such, potential limited maturity and

technological readiness have been highlighted along with the opportunity to identify best practices and guide developments accordingly (CIRPASS, 2023). Hence, the necessity to develop a traceability strategy and roadmap for its implementation in support of sustainable value chains has been emphasized (Betti et al., 2021). Especially, regarding supply chain traceability, the required adoption of a step-by-step approach in view of its complex improvement has been repeatedly mentioned (FLA, 2022; Egels-Zandén et al., 2015). Therefore, considering the scale of required transformations, the evaluation of readiness has been explicitly advised (Betti et al., 2021). In this regard, this research being part of an action research project conducted within the Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM) and specially through the involvement in various traceability collective experimental projects in the fashion industry, the field learnings corroborated this necessity for brands to apprehend maturity for successful implementation and the opportunity to develop a dedicated model accordingly. Hence, the paper presents the entire research process, as part of this action-research, for the conception and development of the architecture of a novel maturity model to support brands in traceability implementation towards sustainable value chains in the industry.

The paper is structured as follows. Section [4.2.2](#) introduces the research background. As such, the background of this action-research is further presented, along with the complex management acknowledged of traceability implementation, by fashion brands and along value chains, in support of this transition towards a sustainable development in the fashion industry. Accordingly, the opportunity to explore the field of maturity model, to support brands in the systematic and progressive management of traceability improvement and implementation towards sustainable value chains is evidenced. Furthermore, the current gap and limitations of existing models and more widely, professional assessment tools, are demonstrated, further strengthening the opportunity and related contributions to explore this field. Subsequently, Section [4.2.3](#) describes the progressive research method defined and followed for the conception and development of this novel maturity model. Then, Section [4.2.4](#) presents the resulting initial architecture of this maturity model and its underpinning logic. As such, each identified dimension, sub-dimension and related potential maturity levels are described and substantiated based on field learnings and findings from the concurrent analysis of the literature based on action-research based development of the model. Subsequently, Section [4.2.5](#) provides a discussion on the limitations and future perspectives of this research. Finally, Section [4.2.6](#) concludes with a summary of the overall research, its already practical and scientific contributions along with future perspectives regarding its experimentation and potential extension.

Accordingly, the practical and scientific contributions of this research are numerous. Based on this soundly constructed maturity model architecture, the paper already provides a systematic framework with beneficial empirical insights for practitioners for traceability implementation. From a research perspective, the contribution is twofold. First, the paper contributes to the advancement of the limited research on this significant and strategic issue. Besides, derived from the most prominent methodological guidelines, it also advances a specific multi-methodological and iterative research process of an action-research based elaboration of novel maturity model, which can be useful for future developments.

4.2.2. Research background

This section introduces the research background and rationale behind the development of this novel maturity model. As such, an overview of this action-research project, as part of which this model has been elaborated, is initially introduced ([4.2.2.1](#)). Consistently with prevailing guidelines (Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009) the practical problem of the complex management of traceability implementation acknowledged, and which led to the interest in maturity models, is thoroughly explained ([4.2.2.2](#)). Accordingly, the relevance of maturity model as a practical solution to these issues is further substantiated by outlining related characteristics and benefits, based on a review of main methodological references of this research field ([4.2.2.3](#)). Finally, as advised by the same guidelines, the review of existing models and more widely assessment tools related to the research area is presented, outlining

the current gap and limitations, while corroborating the opportunity for an action-research based development of this novel maturity model (4.2.2.4). In this regard, to provide an intelligible overview of the research method applied for the design and elaboration of this model architecture, the procedure applied for the review of existing models and tools is described in the succeeding research method section.

4.2.2.1. An action-research to explore traceability implementation for a sustainable development of the fashion industry

This research is the outcome of an action-research project, which has been conducted by the first author (referred as "*researcher*" in the remainder of the paper) under the scientific supervision of the research team with the co-authors (referred as "*research team*" in the remainder of the paper) within the [FHCM](#) between January 2021 and May 2023. The FHCM is a selective French professional and event organization based in Paris, bringing together more than a hundred of French and international design Houses, with a focus on creativity and a unique and innovative know-how.

In view of the increasing pressure for a sustainability transition of the fashion industry, the recognized key role of traceability, the raised challenges in its extension along supply chains (UNECE, 2020) and the resulting launch of industry projects to support its improvement, the FHCM saw an opportunity of research to further contribute to its enhancement. To this end, the overall ambition was, through the active involvement of the researcher in these collective projects, in which the FHCM was involved and consisting in experimenting technological solutions, to deepen understanding of traceability challenges, while providing recommendations and solutions to support its improvement in the industry. Given this research rationale aiming to remedy to practical problems of practitioners and its underlying collaborative nature, an action-research approach was adopted for this research. As its denomination indicates, action-research is an applied research approach consisting in conducting research in action. As such, the objective is always twofold. It aims to generate knowledge that will benefit members of the studied system (e.g. organization, community etc...) and to provide relevant solutions to the problems they experience, while advancing research concurrently on these encountered and studied issues (Reason & Bradbury, 2008; Coughlan & Coughlan, 2002).

Accordingly, the researcher has been involved in several and various projects as part of this action-research. Firstly, and as previously suggested, the researcher mainly participated in several traceability collective projects. These projects were led by different types of organizations at various scales. While these initiatives pursued different objectives, their overall ambition was to contribute to traceability enhancement along supply networks in the industry. As such, they all consisted in the experimentation of different digital supply chain cloud-based platforms to enhance data collection, exchange, and management (Doyle, 2022). In this regard, by "*traceability technological solutions*", it is designated technologies aiming overall to support value chain traceability implementation, commonly distinguished between digital platforms and tracer technologies (Crowley et al., 2022). Digital platforms are blockchain and/or cloud-based solutions aiming to digitalize supply chain or product lifecycle traceability (Doyle, 2022). Tracer technologies comprise additive or forensic technology to authenticate the presence of a specific fibre and/or material in a given product (Crowley et al., 2022). These traceability collective projects are displayed in the below Figure 20 and have been anonymised for confidentiality reasons.



Figure 18. Traceability collective experimental projects of this action-research project field

In addition, the researcher also took part in initiatives and activities on sustainable development within the FHCM, such as the ongoing standardization of the measurement and labelling environmental footprint in the industry (PEF Apparel & Footwear, 2023). More widely, the researcher benefited, as part of this action-research from constant interactions with the fashion ecosystem, through daily meetings, exchanges, along with the participation in professional events, exhibitions, or conferences for instance. Besides, the researcher also regularly organized, during this action-research, dedicated individual exchanges in the form of semi-structured interviews, with several sustainability directors and managers from brands and groups, as well as private providers of technological solutions aiming to enable traceability improvement along value chains. Overall, these exchanges aimed to deepen understanding of traceability enhancement actions put in place, and encountered challenges, but discussions gradually evolved as the research progressed. Consequently, based a progressive research process inherent to action-research (Coughlan & Coughlan, 2002), the project resulted in several succeeding steps, throughout the gradual identification and precision of practical problems associated to traceability improvement regarding sustainable development in the fashion industry.

As such, a restrictive definition and comprehension of traceability was initially acknowledged, as inherited from the quality management field, and the necessity to apprehend and consider its implementation along the entire value chain, up to product end-of-life for the development of textile recycling was evidenced (Riemens et al., 2021).

Based on these initial learnings and considering the resulting challenging apprehension of traceability implementation in the context of sustainability, both in research and practice, a novel dedicated analysis framework was elaborated to facilitate the comprehension of its implementation in support of sustainable value chains in the industry, based on an inductive review of the extant scientific and professional literature on the sector (Riemens et al., 2023). This literature review, along with concurrent and subsequent learnings from the field, evidenced significant transformations to enable and sustain traceability extension along value chains, making its necessary systematic and gradual implementation management by fashion brands extremely complex.

4.2.2.2. A challenging management of traceability implementation towards sustainable value chains

The preceding systematic literature review (Riemens et al., 2023) and the concurrent learnings from the field, converged to the complex management of traceability implementation, by fashion brands and along value chains, given the significant associated challenges and its emergence. Indeed, firstly, regarding traceability extension along supply networks, the collective projects and related experimentations highlighted several issues in this regard. Accordingly, the insufficient correlation between traceability improvement actions and sustainability strategies with targeted objectives was first noticed by the researcher. As such, the establishment of common traceability objectives and associated needs in terms of digital platforms features and data collection resulted in a long and complex process. Also, the researcher overall noticed that traceability and its improvement was essentially approached as a project among other sustainability initiatives within companies. In this regard, this significant issue has been raised by a recent study while highlighting that traceability is a key capability to apprehend as part of a dedicated strategy (Betti et al., 2021). The projects also evidenced challenges through the resulting experimentations of digital platforms, which corroborated the necessity to put in place improvement actions across multiple levers (Riemens et al., 2023) to enable and sustain in the long-term traceability implementation along supply networks, beyond their exclusive deployment. One of these most significant difficulties raised was the difficult onboarding of suppliers and other intermediaries along supply chains. In this vein, it was raised that suppliers experience multiple data requests through different digital platforms currently experimented in the industry by fashion brands, leading to risk of detrimental duplications of data collections and resulting overload. Consequently, the selection and the envisioned deployment of such platforms necessarily require communication, collaboration and engagement with suppliers, and other intermediaries in supply chains, for their effective implementation in the long term (Betti et al., 2021).

As such, traceability also emerged intrinsically related to sourcing and purchasing strategies and practices, necessarily requiring an alignment with traceability objectives for their achievement. In addition, the lack or insufficient integration of departments and associated teams, having an influence on traceability implementation, has been raised as an important limitation and a significant potential barrier for the deployment at scale of digital platforms. Accordingly, the cross-functional nature of traceability was explicitly acknowledged with the conclusion that sustainability teams cannot manage its implementation entirely, corroborating previous findings (Betti et al., 2021). Besides, given the emergence of traceability extension along supply networks (UNECE, 2020), the researcher also observed an overall lack of global, explicit, and long-term strategic vision within companies in this regard, which has concurrently been raised as an important requisite to steer and engage in traceability improvement actions. In this regard, the necessity to have a clear and shared vision along with targets with suppliers and to communicate to all other intermediaries along the chain, beyond forthcoming regulatory requirements, was advanced.

Past distribution, product traceability through their unique identification and associated DPP is emerging (Franck et al., 2022). Considering the nascent stage of the implementation of such DPPs, the researcher didn't participate in dedicated collective or private experimental projects, even though an increasing number of pilots has been launched in the industry (CIRPASS, 2022; Trace4Value, 2023; BoF, 2021; Haeggbloom & Palmer, 2019). Depending on their application, such DPPs involve various technological solutions (Franck et al., 2022) and accordingly a complex

landscape of solution providers. Recently, a dedicated EU-funded project has been launched, as part of the envisaged introduction of DPP on the EU market in forthcoming regulations (EC, 2022c) to prepare the ground for its gradual piloting and deployment, which includes a pilot in the textile industry (CIRPASS, 2023) being a particularly targeted sector (EC, 2023a). The conclusions of preliminary studies conducted suggest that while pilots are increasing, they might cover intermediate maturity and technology readiness, requiring further investments and developments to achieve required industrial maturity level (CIRPASS, 2023). As such, the need to collect best practices and guide individual project developments towards market readiness and compliance with regulations is highlighted, to boost the maturity DPP eco-system towards future adoption (CIRPASS, 2023).

These issues observed on the field corroborated the necessity raised in the literature (Betti et al., 2021), for fashion brands to elaborate a comprehensive traceability strategy and roadmap for managing its implementation in support of their transition towards sustainable value chains. Besides, according to the inherent participatory logic of action-research (Coughlan & Coughlan, 2002), these observations were put forward during the collective projects with the participants (Figure 1) as part of exchanges and informal ones, and more widely, through the field daily interactions with practitioners, which were further corroborated in return during these exchanges and by the conclusive learnings of these projects. In fact, for one project, the need for support in the devise such a traceability strategy was specifically highlighted, among the needs expressed by the companies.

However, considering this emergence of the phenomenon and the resulting nascent stage of research (Riemens et al., 2023), the identification of critical aspects to consider in traceability extension along value chains is almost inexistant, thus hindering the effective definition of a strategy and roadmap. Besides, it was evident that in this process, fashion brands should necessarily consider their maturity level regarding these sustainability and traceability issues, while regarding their value chains as well (Betti et al., 2021). This was also further substantiated in the course of the learnings from the collective projects. The necessity to determine such a level of advancement of companies and their specificities was specifically raised among the future possible action levers, to support effective piloting and gradual deployment at scale of digital platforms to improve traceability along supply chains. In this regard, some companies explicitly concluded on the apparent necessity to fulfil certain preliminary steps when attempting to improve traceability along supply chains, such as raising engagement with suppliers beforehand, before executing extensive digital data collection, up to raw materials upstream, with a production order (PO) granularity level. Also, as part of another one of these collective projects, the existing various maturity levels and the overall currently limited one in the industry were explicitly suggested in the conclusions, with a first attempt to identify levels of advancement in terms of data collection and verification accordingly.

Hence, in response to these strongly coinciding conclusions, an investigation of the maturity model field was performed to ensure its relevance and gain understanding of it before any potential development.

4.2.2.3. Relevance of the maturity model research field

In view of these coinciding learnings, maturity model emerged as a relevant solution to acknowledged issues. Consequently, as advised by existing guidelines (Kohlegger et al., 2009), an enquiry was performed to gain a preliminary understanding of the research field to ensure its relevance, and in that case, to define an appropriate research method for the elaboration of a model, based on most prominent methodological references. Accordingly, while clear definitions of the essence of maturity model are lacking (Wendler, 2012), the term "*maturity*" is commonly defined as "a very advanced or developed form or state" (Cambridge, 2023). Existing definitions rather describe the purpose of a maturity model and its functioning (Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009; Bruin et al., 2005; Klimko, 2001). As such, Becker et al. (2009) proposed a definition describing it as "a sequence of maturity levels for a class of objects (e.g. organization) representing an anticipated, desire, or typical evolution path of these objectives shaped as discrete stages" (Becker et al., 2009) which has been recognized as a relevant comprehensive interpretation, still

widely applicable (Wendler, 2012). In this regard, while the concept of maturity originally emerged in the quality management field (Crosby, 1979; Shewhart, 1931), maturity models have been developed in software engineering initially (Wendler, 2012; Kohlegger et al., 2009; Nolan 1973). Especially, they have been popularized with the Capability Maturity Model (CMM) (Wendler, 2012; de Bruin et al., 2005) developed by the Carnegie Mellon Software Engineering Institute (SEI) for software process improvement (Paulk et al. 1993) and subsequently extended through the Capability Maturity Model Integration (CMMI) consisting in an integrated framework of best practices for the development of products and services (Wendler, 2012). Over the last years, maturity models have steadily become popular instruments (de Bruin et al. 2005) and have been applied into a wide range of more than 20 domains, while still dominated by software development and engineering (Wendler, 2012).

Accordingly, depending on domains and objectives, maturity models can fulfil different purposes (Wendler, 2012; de Bruin et al. 2005). Three types are usually distinguished namely descriptive, prescriptive, and comparative (Kohlegger et al., 2009; de Bruin et al. 2005). Descriptive models describe and explain changes (Kohlegger et al., 2009) without guidance for improving maturity or providing relationships to performance (de Bruin et al. 2005). Consequently, they assess the as-is situation (de Bruin et al. 2005). Prescriptive also referred as normative models (Kohlegger et al., 2009) go further by indicating how to approach the enhancement of maturity (de Bruin et al. 2005), thus guiding the targeted audience towards necessary interventions and changes for reaching higher stages (Kohlegger et al., 2009). As such, they are useful for the development of an improvement roadmap (de Bruin et al. 2005). Finally, comparative maturity models aim to enable benchmarking (de Bruin et al. 2005) and to allow to compare practices across organizations within disparate industries for instance (de Bruin et al. 2005). While these types of models can be seen as distinct, they can represent evolutionary phases throughout the development of a model (de Bruin et al. 2005). Besides, two perspectives of models are also discerned in the literature, between a lifecycle standpoint and a performance one (Wendler, 2012; McBride, 2010). Based on a lifecycle perspective, maturity models measure an evolutionary path, whereby the final levels are precisely the reached maturity (Wendler, 2012), whereas with a performance perspective, they rather suggest potential improvements, letting the user audience to decide if it is best for its situation (Wendler, 2012).

Regardless of these varieties, some essential components have been outlined typifying maturity models. Firstly, their overall objective is to outline the conditions when certain examined objects (e.g. organization, functional process...etc.) reach the best state (Wendler, 2012). As such, maturity models are necessarily based on set of "levels" or "stages" regarding the assessed domain (Wendler, 2012; Kohlegger et al., 2009; Klimko, 2001). Maturity levels are necessarily sequential, meaning that they follow a hierarchical progression (Wendler, 2012) with each level or stage entailing triggering conditions (Kohlegger et al., 2009). Accordingly, the achievement of a level is conditioned to the fulfilment of all associated trigger conditions, along with the ones from the lower stage (Kohlegger et al., 2009). In this vein, a five-point Likert scale is usually used in maturity models with "5" representing the highest level (de Bruin et al. 2005). However, this may vary, and the only requirements are that stages are distinct, well-defined, and based on a logical progression (de Bruin et al. 2005). The other typical component consists in the measured elements of the assessed domain with varying denominations, but mainly designated as "capabilities" (Wendler, 2012; Kohlegger et al., 2009). Accordingly, maturity models describe the state of completeness (maturity) of capabilities, either as an evolution path (lifecycle) or as potential or desired improvements (performance) (Wendler, 2012). Models are usually subdivided into dimensions depicting independent aspects of the domain, further divided into sub-dimensions entailing the assessed capabilities (de Bruin et al. 2005). Finally, maturity can usually be evaluated in two different ways.

Models can be one-dimensional based on a continuous approach, providing a unique series of stages for the overall domain (Wendler, 2012; de Bruin et al. 2005) or they can be based on a stage-gate approach, providing separate maturity assessments, thereby useful for complex domains to support targeted improvements (de Bruin et al. 2005).

Therefore, maturity models can provide useful benefits for organizations (Wendler, 2012). They can support continuous improvement (de Bruin et al. 2005; Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009) by enabling to evaluate positioning regarding essential capabilities or more widely requirements. As such, they allow to gain a deep understanding of strengths, weaknesses, complexities, and requirements of the considered domain (Wendler, 2012; de Bruin et al. 2005). Hence, they can allow to devise and prioritize improvement measures with targeted and efficient resource allocation, while controlling implementation progress (Bruin et al., 2005). Overall, they can provide a reference framework for implementing a systematic and well-directed improvement approach (Wendler, 2012). Concurrently, from a scientific perspective, maturity models contribute to develop and assemble beneficial knowledge on the evaluated domain and to advanced greater understanding of supporting capabilities, requirements, and success factors accordingly (de Bruin et al. 2005).

Hence, maturity model was confirmed as relevant solution to acknowledged issues. Therefore, consistently with prevailing methodological guidelines (Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009; de Bruin et al. 2005) a review of existing models related to the research area was completed.

4.2.2.4. Current gap and limitations in existing maturity models

A review of existing maturity models related to our research area of traceability implementation towards sustainable value chains was conducted pertaining to the fashion industry and beyond. Indeed, this is indispensable when ambitioning to develop a maturity model, to avoid unnecessary development expenditure in case of available relevant ones, and if not, to inform subsequent design reflections (Wendler, 2012; Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009; de Bruin et al. 2005). As previously mentioned, the research procedure applied for this review is presented in the succeeding research method section.

As no maturity model specially dedicated to our research area was rapidly noticed, complementary enquiries were performed to identify potentially related ones, at the intersection of sustainability, circularity, supply chain and digitalization, as it was considered relevant to inform subsequently the design and development strategy. Altogether, 16 maturity models were identified and examined, as presented in below Table 1. This review clearly evidenced that no specific maturity model has been proposed regarding acknowledged issues, for systematically managing the implementation of traceability in support of a transition towards sustainable value chains. This review also highlighted the deficiencies of related models in addressing this issue, thus insufficient for their combination into a new model (Becker et al., 2009). Indeed, the review first revealed some general maturity models aiming to support the progression of corporate sustainability.

In this regard, Cagnin et al. (2005) proposed a Business Sustainability Maturity Model (BSMM) to enable companies to establish a strategy while progressing on sustainability integration, based on a one-dimensional perspective, with four global maturity stages, encompassing progressive steps across strategy, partnerships, competences, motivation, communication, technology, and operations dimensions. Also, Baumgartner et Ebner (2010) elaborated a model to evaluate maturity on key characteristics of corporate sustainability, with regards to maturity levels of sustainability strategy profiles, to enable the definition of an appropriate sustainability strategy in line with the company general strategic orientation. More recently, Sari et al. (2021) developed a more detailed Corporate Sustainability Maturity Model (CSMM) which also aims to support companies in defining a strategy and progressing towards a sustainable organisation. However, as shown in Table 1 with presented dimensions and sub-dimensions, these models essentially address corporate sustainability from an internal perspective.

Nevertheless, they still provide relevant insights regarding pinpointed organizational capabilities for internal integration. Besides, models have also been proposed concurrently for sustainability inclusion in operations (Machado et al., 2015) including supply chain management (de Almeida Santos et al., 2020; Reefke et al., 2014; Srari et al., 2013) and its reporting (Okongwu et al., 2013) or more specific processes including design (Pigosso et al.,

2013) and product development (Hynds et al., 2015). However, once more, these models put emphasis on internal aspects, thus missing the value chain perspective (Correia et al., 2017). For instance, the model proposed by Okongwu et al. (2013), to improve the implementation and reporting of supply chain sustainability initiatives, consider availability of supply chain sustainability information as a final maturity step. Regarding the model of Srari et al. (2013) focusing on sustainable supply network capabilities, solely few dimensions refer to reduction and monitoring practices across manufacturing networks. Besides, with only a few exceptions (Baumgartner et Ebner, 2010) extant maturity models leave out the technological dimension to improve information sharing and consequent sustainability impact mitigation strategies. In this regard, limited studies have advanced maturity models for digital transformation along value chains, from a holistic perspective beyond the solely technological standpoint (Weerabahu et al., 2022). Consequently, the model elaborated by Weerabahu et al. (2022) intends to guide the development of implementation plans for successful digital supply chain transformation. Only a handful of other models have been noticed at the junction of sustainability, circularity, and digitalization (Eisner et al., 2022; Kayikci et al., 2022; Peng et al., 2021; Rahim et al., 2014). Though suggesting capabilities for the introduction of Information Technologies (IT), these maturity models either remain too general, missing out precisions on how to enable the supporting role of IT (Peng et al., 2021; Rahim et al., 2014) or too specific by focusing on certain domain (e.g. circular supply chain) or capabilities (e.g. process) (Kayikci et al., 2022). The most comprehensive model noticed in research is the self-assessment tool advanced by Eisner et al. (2022) providing an in-depth assessment for corporate sustainability in the era of digitalization with the examination of policies, information systems and activities within each main business activity. However, it focuses on the environmental perspective of corporate sustainability. Besides, by exclusively referring to performance steps, the assessment doesn't enable in itself to identify improvement opportunities, which is a shortcoming frequently raised of maturity models (Correia et al., 2017).

Concurrently, a completing enquiry was completed to identify extant professional models or assessment tools related to our research area as well. This complementary search also deemed essential to verify the existence of possibly relevant existing solutions beforehand, and while still potentially incomplete, to incorporate, if relevant, available empirical knowledge from these tools. From this additional search, only one dedicated online traceability self-assessment was found, proposed by a private provider of a supply chain digital platform, which is targeting the fashion market (Trustrace, 2023). Based on 15 questions, this assessment aims to evaluate the level of supply chain traceability regarding certain identified capabilities (e.g. level of contact and mapping of suppliers, data systems and management). The evaluation results in a final status (e.g. advanced traceability) along with recommended initiatives (e.g. expanding traceability program to more products, solution gathering all data on product styles, materials, and production orders...). While outlining relevant capabilities based on the experience of this provider in the implementation of the platform, this assessment remains a quick evaluation focusing on supply chain traceability and essentially from a data collection and management perspective. In addition, the B Impact Assessment tool (BIA) consisting in the standard assessment, on which the B-Corporation Certification is based, was also noticed (B Corp, 2023). This BIA aims to make available this standard assessment, while providing an open-source management tool for measuring, managing, and improving impact performance accordingly.

Accordingly, the tool consists in an extensive assessment with 200 questions across 5 impacts areas namely governance, collaborators, community, environment, and customers, and resulting in a final global score. While considering to a certain extent impacts beyond internal operations of companies along the value chain, it remains limited in this regard. Besides, as a performance assessment, it evaluates levels of results (e.g. actions implementation with suppliers to reduce supply chain greenhouse gas emissions) but it doesn't enable to gauge supporting capabilities and associated required maturity. The same conclusion was made regarding the online diagnosis on Corporate Social Responsibility (CSR) provided by Afnor (Afnor, 2023) and aiming to provide to companies an initial assessment of their CSR level of commitment based on the ISO 26000 standard (ISO 26000:2010, 2020). Finally, a due diligence questionnaire advanced by a Dutch Agreement for a Sustainable

Garments and Textile, including professional associations, NGOs trade unions along with the National Government of the Netherlands (ASGT, 2023) was noticed. While indirectly providing significant empirical insights for supply chain traceability, as interrelated to due diligence, the tool focuses on the integration of the due diligence process, which consists in the identification, prevention, mitigation, and accounting for addressing actual and potential adverse impacts) (OECD, 2018), thereby partially addressing the issue.

Consequently, this review strengthened the opportunity to develop a novel maturity model to support fashion brands in the management of traceability extension towards sustainable value chains, by enabling to better understand the associated underlying capabilities, requirements, and factors of success, to prevent missing important requisite steps while allowing to define a systemic and progressive roadmap subsequently.

Chapitre 4. Architecture de modèle de maturité de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables

DOMAIN	RESEARCH METHOD	DIMENSIONS AND SUB-DIMENSIONS	MATURITY APPROACH AND LEVELS
CORPORATE SUSTAINABILITY			
Corporate Sustainability Maturity Model (CSMM) (Sari et al., 2020)	Systematic literature review, Practitioner/expert interviews, Content analysis, Survey questionnaires and PLS-SEM analysis	External drivers: compliance ρ place of marketing ρ market demand for greener products/services ρ demands from external stakeholders ρ support from government programme ρ raw materials information. Internal drivers: management demand for change ρ organization seriousness ρ risks of the goods produced ρ capacity of human resources ρ fund availability/allocation ρ risk management ρ philosophy/values ρ appeal of internal stakeholders ρ awareness for environmental conservation ρ standard of ethics and work cultures ρ goals ρ reputation/image. Strategy: leader's commitment ρ leader's competence. Action: organisational structure ρ top management policy ρ corporate philanthropy ρ corporate social responsibility ρ corporate sustainable management ρ sustainable entrepreneurship. Performance: economic benefit ρ environmental benefit ρ social benefit	Stage-gate approach (1) initial (2) managed (3) optimised
Corporate Sustainability Strategies: Sustainability Profiles and Maturity Levels (Baumgartner & Ebner, 2010)	No information	Economic: Innovation & technology ρ collaboration ρ knowledge management ρ processes ρ purchase ρ sustainability reporting. Ecological: resources ρ emissions ρ waste and hazardous waste ρ biodiversity ρ environmental issues of the product. Social: corporate governance ρ motivation and incentives ρ health and safety ρ human capital development.	Stage-gate approach (1) beginning (2) elementary (3) satisfying (4) sophisticated / outstanding <u>Maturity levels of profiles of sustainability strategies</u> presented in the maturity visualization of the model with introverted strategy (risk mitigation), extroverted strategy (legitimization) with conventional extroverted strategy and transformative extroverted strategy, conservative strategy (efficiency) and visionary strategy (holistic) with conventional visionary and systemic visionary.
Business Sustainability Maturity Model (BSMM) (Cagnin et al., 2005)	No information	Strategy ρ partnerships ρ competences ρ motivation ρ communication ρ technology ρ operations	Continuous approach (1) ad hoc (2) planned in isolation (3) managed with no integration (4) excellence at corporate level (5) high performance sustainability net
CORPORATE SUSTAINABILITY & DIGITALIZATION			
Corporate Environmental Sustainability in the Era of Digitalization Eisner et al. (2022)	Literature review, experts' evaluation, use case of the maturity model	Sustainable product life cycle ρ Sustainable supply network ρ Carbon ρ Management in operations ρ Energy ρ Management in operations ρ Water management in operations ρ Material (waste) management in operations. <u>Each dimension is evaluated through:</u> Policy ρ Information systems ρ Activities	(0) Initial (1) Rudimentary (2) Elementary (3) Industry average (4) Outstanding (5) Visionary
SUSTAINABILITY OPERATIONS			
Sustainable Operations (Machado et al., 2015)	Literature review, content analysis, case studies and interviews with expert panels	Inbound and outbound logistics operations marketing and sales ρ after-service ρ firm infrastructure ρ human resources management ρ technology development procurement.	(1) Compliance and conformity (2) Operations' eco efficiency (3) Sustainability management system (4) Network and stakeholders' integration (5) Sustainable operations integration.
DIGITAL SUPPLY CHAIN			
Digital supply chain (Weerabahu et al., 2022)	Literature review, Content analysis	Industry 4.0 technologies and resources ρ Supply chain strategy and planning ρ people, skill and competences ρ supply chain dynamic capabilities	(1) Traditional supply chain (2) Internal digital supply chain (3) Extended internal digital supply chain (4) Digital supply chain ecosystem
SUPPLY CHAIN SUSTAINABILITY			
Supply chains sustainability (de Almeida Santos et al., 2020)	Literature review	Environmental: environmental risk ρ product portfolio ρ tools. Social: internal ρ external ρ social risk. Economic: return and investment ρ remanufacturing ρ analysis of results. Cross: innovation and technology ρ supplying ρ strategy ρ stakeholders ρ knowledge ρ performance.	(1) Non-existent (2) Aware (3) Intermediate (4) Advanced (5) Sustainable

Table 5. Overview of maturity models identified and analysed from the scientific literature (1/2)

Chapitre 4. Architecture de modèle de maturité de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables

DOMAIN	RESEARCH APPROACH	DIMENSIONS	MATURITY LEVELS
SUPPLY CHAIN SUSTAINABILITY			
Supply Chain Sustainability Disclosure (Okongwu et al., 2013)	Content analysis and principal component analysis of corporate sustainability reports from ten different industrial sectors	Corporate governance and management : Organisation ρ strategy and policies ρ stakeholders ρ performance measurement ρ sustainability standards ρ economic issues ρ report structure. Societal development sustainability Supply chain sustainability : supply chain design ρ employee management ρ supplier relationship management ρ customer relationship management ρ environment.	(1) Initial (2) Intermediate (3) Advanced (4) World class
Supply chains sustainability (Reefke et al., 2014)	Literature review	Discover & learn ρ strategise ρ design ρ transform ρ monitor & control.	(1) un-aware and non-compliant (2) Ad hoc & basic compliance (3) Defined & compliance (4) Linked & Exceeds compliance (5) Integrated & proactive (6) Extended & sustainability leadership
Sustainable Supply Network (Srai et al., 2013)	Literature review Case studies	Sustainable SN strategic design : business vision and strategy ρ customer segmentation ρ leadership values and objectives ρ programme and project portfolio management ρ supply/partner integration strategy ρ strategic marketing and positioning. Network integration and connectivity : network coordination and leadership ρ product service system offerings ρ effective intra-firm integration and business tools ρ business and network improvement processes and performance measurement. Network efficiency : energy efficiency and effectiveness ρ resource utilisation ρ waste minimisation ρ carbon footprint ρ new product and service design ρ people capabilities and sustainable organisational design. Network process development and reporting : ρ network performance measurement ρ environmental ρ societal ρ economic ρ communication. Network product and service enhancement : science and technology ρ industrial process (tech) innovation ρ regulatory and legislative compliance	(1) Initial (2) Repeatable (3) Defined (4) Managed (5) Mastered
Supply chain sustainability and circularity & information technologies (IT) / industry 4.0			
Smart Circular Supply Chain (SCSC) (Kayikci et al., 2022)	Literature review, roundtables with experts and case study	Economic ρ environmental ρ social ρ policy ρ process ρ product ρ strategy ρ technology. Readiness and maturity sub-dimensions evaluated across each of these dimensions for CE and industry 4.0.	(0) Non-existent (1) Executed (2) Managed (3) Established (4) Predictable (5) Optimised
IT-Enabled Sustainable Supply Chain Management (Peng et al., 2021)	Literature review and case study	Sustainability strategy and governance ρ sustainability data collection and sharing ρ sustainability training ρ sustainability measurement and benchmarking ρ sustainability reporting ρ sustainability risk analysis ρ sustainability innovation	(1) Non-existent (2) Ad-hoc (limited support internally) (3) Internally managed (adequate support internally) (4) Externally integrated (involving key supply chain partners) (5) Optimized (involving all supply chain partners)
Sustainable Supply Chain Implementation (Rahim et al., 2014)	Literature review and interviews	IT vision and plan ρ IT process ρ IT people ρ IT infrastructure.	(1) Non-existent (2) Recognition of the need (3) Initiate (4) Integrate.
Product development and eco-design			
Sustainability in New Product Development (NPD) (Hynds et al., 2015)	No information	Two dimensions sub-divided in 14 areas : Strategy : corporate sustainability policy ρ overall sustainability strategy ρ government policy and regulations ρ impact of trends ρ supply chain (CSR) ρ green labelling ρ sustainability design for environment (DfE) Design tools : specifications / customers insights ρ lifecycle assessment (LCA) process ρ DfE material and part selection ρ DfE supply chain ρ DfE manufacturing impact ρ DfE use phase impact ρ End of life impact	(1) Beginning (2) Improving (3) Succeeding (4) Leading
Ecodesign (Pigozzo et al., 2013)	Literature review, experts' interviews, action research study and case studies	Ecodesign management practices ρ ecodesign operational practices ρ ecodesign techniques and tools	(1) Incomplete (2) ad hoc (3) formalized (4) controlled (5) improved 5 evolutions levels

Table 5. Overview of maturity models identified and analysed from the scientific literature (2/2)

4.2.3. Research method

The third section aims to provide an overview of the overall research method followed for the conception and development of this maturity model architecture. Given the steadily number of maturity models with varying features and in widespread domains (Wendler, 2012), some studies have attempted to provide key methodological stages, to ensure the usefulness of developed models and their consistency through strategic thinking in their elaboration (Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009; de Bruin et al., 2005). These prevailing guidelines converge on the necessity to rely on a multi-methodological and iterative research process when developing a maturity model, albeit rigorous and transparent (Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009; de Bruin et al., 2005).

Accordingly, based on the combination of these guidelines, a four-steps research method, presented in below Fig. 21, was defined, and followed for the conception and development of this maturity model architecture. Each step is further described in the following sub-sections.

4.2.3.1. Definition of problem and its relevance

Firstly, as a key requisite and preliminary step, the problem addressed and its relevance must be clearly defined (Becker et al., 2009; de Bruin et al. 2005). This initial stage is essential to ensure the appropriateness of maturity model with regards to addressed issues (Wendler, 2012). Accordingly, the problems acknowledged were explicitly formalized (Section 2.2.) based on findings from a former systematic literature review on the sector, as per the prominent guidelines (Wendler, 2012; Becker et al., 2009; de Bruin et al. 2005) along with learnings from the field. Concurrently, a review of the maturity research field was completed to gain a deep understanding, to ensure its relevance and to support the consecutive conception and development of a novel maturity model (Wendler, 2012) (Section 2.3.).

4.2.3.2. Review of existing maturity models and assessment tools

Once the problem, its relevance and the appropriateness of maturity model are clearly established, guidelines are aligned on the indispensable extensive review and analysis of extant models (Kohlegger et al., 2009; Becker et al., 2009; de Bruin et al. 2005). On one hand, such a review is essential to prevent unnecessary developments (Wendler, 2012) by enquiring already existing models and the opportunity of their possible transfer or improvement (Becker et al., 2009; de Bruin et al. 2005). On the other hand, even if extant models are inexistent or insufficient regarding the considered domain, such a review is also necessary to inform the consecutive conception strategy and strengthen its reasoned determination (Wendler, 2012; Becker et al., 2009; de Bruin et al. 2005). To this end, a preliminary enquiry was first completed using the following broad set of keywords (“maturity” AND “readiness”) AND (“traceability” OR “trace” OR “track” OR “transparency”) AND (“supply” OR “network” OR “chain”) on Google Scholar, Scopus and ScienceDirect databases. In view of the absence of dedicated model, a second investigation was performed to pinpoint possibly related models to this domain of traceability implementation towards sustainable value chains.

This complementary review was deemed essential to support the definition of the design strategy and to incorporate possible applicable knowledge from these related models. However, considering the various dimensions involved in traceability implementation (i.e. information, technologies, organization, and operations) along value chains in the context of sustainable development (Riemens et al., 2023), the scope of the review was hard to define, given the possibly exponential models. After several exploratory enquiries and discussions within the research team, it was decided to narrow the scope of the review to potentially extant models related to corporate sustainability, along with included and related aspects such as supply chain management or their digitalization. Indeed, given the rapidly

noticed limitations of models found regarding the research domain during these exploratory enquiries, the aim of this review was essentially to highlight this gap and to corroborate the opportunity to develop a novel model, while informing its conception and development, by gaining deeper knowledge of these models regarding their structures, dimensions, sub-dimensions assessed and maturity levels. While some possibly related models might have been missed, it was not considered highly problematic, given this objective and the subsequent envisaged empirical development of the model. Therefore, the keywords (“maturity OR readiness”) AND (“model” OR “assessment”) were applied with the followings (“sustainab*” OR “csr” OR “environment”) OR (“digital” OR “industry 4.0”) OR (“supply” OR “network” OR “chain”) in the databases Scopus, ScienceDirect and Google Scholar. As previously explained only maturity models related to sustainability and including focus on related aspects based on these key words, such as digital or supply chain management, were considered after examining titles and abstracts. After complete reading, papers that did not disclose enough information regarding the model, assessed capabilities and maturity levels were excluded. Hence, this resulted in a final sample of 16 references. In line with the review objective, the pinpointed maturity models were classified based on their domain, research method, dimensions, sub-dimensions, and maturity levels, as presented in Table 1. Concurrently, an enquiry was also completed on Google to look for related professional maturity and more widely assessment tools.

As the review evidenced the absence of dedicated model and the insufficiency of extant related ones, the opportunity to develop a novel maturity assessment was further substantiated (Section 2.4.) and its conception was initiated.

4.2.3.3. Determination of the design strategy

Subsequently, a preliminary design strategy was defined for the development of the model, while recognizing that it might evolve throughout its necessary iterative elaboration (Becker et al., 2009; de Bruin et al. 2005). Accordingly, the essential structuring elements were explicitly determined to frame this design strategy. As such, its scope and objective were precisely defined, aiming to enable fashion brands to assess their maturity on underlying capabilities, requirements, and success factors in traceability extension in support of sustainable value chains. Consequently, it was set that the model was targeting fashion brand companies and was intended to be used by sustainability directors or managers, along with top management, in concert with departments implicated in traceability implementation. Regarding the envisaged benefits, it was expected to enable brands, initiating efforts towards improving traceability along their value chains, to have a holistic understanding of necessary capabilities, requirements, and success factors.

As such, it was intended to allow identifying preliminary steps to proceed first and subsequently defining and prioritizing a comprehensive and gradual traceability improvement roadmap. With regards to brands with already defined targets and engaged improvement actions, it was also considered that the model could still allow evaluating their consistency based on their assessed maturity, and accordingly, to possibly redefine or implement measures on potentially underestimated aspects. Therefore, the overall aim was defined as providing a general systematic framework to support traceability implementation management towards sustainable value chains. In this regard, the model had to be widely applicable to be used by brands, irrespectively of their market segments or size. Therefore, it was considered that it should necessarily be prescriptive. Besides, it was determined that the model should be based on a stage-gate approach to enable targeted assessments, as aiming to support the devise of an improvement roadmap. Finally, regarding its application, a self-assessment tool, through Excel initially and eventually online later, was envisaged as the ambition was to provide a management tool that brands could use independently. Given the emergent and complex nature of the domain, no further elements were set at this stage regarding the model structure, which required deeper empirical learnings and explorations to further conceptualize it. Accordingly, a preliminary design strategy was formulated to determine what to measure through the model (i.e. dimensions, sub-dimensions with corresponding capabilities, requirements, success factors) and how (i.e. maturity levels). In this regard, there is no unique method, and the quality of a maturity model resides in the appropriate

combination of research methods (de Bruin et al. 2005). Therefore, according to guidelines, most importantly it is critical to use several research methods to ensure the validity of the model (Becker et al., 2009; Kohlegger et al., 2009; de Bruin et al. 2005). The method selection must be done regarding the assessed domain, scope, and ambitious model outcome, while concurrently considering stakeholders involved in its elaboration and available resources (de Bruin et al. 2005). As such, it also emerged from these guidelines that, in mature domain, the identification of dimensions and sub-dimensions can be done first through a systematic literature review, specially on barriers and critical success factors (de Bruin et al. 2005). However, in relatively nascent domains, such review is likely not sufficient to gather ample knowledge (de Bruin et al. 2005). Hence, it only provides a starting point and other means are necessary to enable such identification (de Bruin et al. 2005). Consequently, given the emergence and complexity of traceability extension along value chains in the context of the context of sustainable development in the fashion industry (CIRPASS, 2023; UNECE, 2020) and beyond (Betti et al., 2021), the consecutive nascent research stage, and logically, the gap in existing maturity models and assessment tools, the development of a model was necessarily requiring applied research methods on the field. Therefore, the background of this action-research, with the involvement of the researcher in the presented collective experimental projects, and the interactions with the ecosystem, offered an unprecedented opportunity to develop this model or to start its initiation at least for the sector.

Accordingly, its elaboration was envisaged progressively in the course of learnings from the projects. Concurrently, it was also intended to pursue previously mentioned dedicated exchanges, with brands and private providers of technological solutions, in the form of semi-structured interviews, to expand and deepen feedbacks on traceability implementation.

Besides, in view of the advent and broad complex implications of traceability extension, the adoption of a top-down approach for the progressive elaboration of the model appeared the most appropriate. Such approach implies to preliminary identify and define dimensions and sub-dimensions, and in a second stage, maturity levels. In other words, it consists in determining what represents maturity first, and then how this can be appropriately measured (de Bruin et al. 2005). As such, it is suitable for relatively naive domain, where there is little evidence of what represent maturity (de Bruin et al. 2005). Conversely, the bottom-up approach thus implies the determination of maturity levels first and the consecutive definitions of sub-dimensions and dimensions.

Hence, based on this initial design strategy, the progressive elaboration of the model was initiated, keeping in mind that the necessity or opportunity to conduct complementary research, in addition to project learnings and daily interactions on the field, would be envisaged in the course of this action-research based development of the model.

4.2.3.4. Action-research based development of the maturity model

Subsequently, the researcher, under the regular supervision of the research team, progressively engaged in the development of the model, as part of this action research (2.1.), while relying as much as possible in a conscious, rigorous, and transparent way. Accordingly, the researcher first drew on progressive feedbacks from the collective projects (Figure 1) based on a qualitative method of participant observation. Implying for the researcher to be a participant and an observer concurrently, in activities, interactions, and events with members of the studied system (Musante and DeWalt, 2010), participant observation is ergo a relevant method for action-research (Gavard-Perret et al., 2018). As such, it includes the use of information gained from participating and observing through data record and analysis (Gavard-Perret et al., 2018; Musante and DeWalt, 2010). Hence, as part of these collective projects, the researcher actively participated in their progressive implementation, while concurrently observing and transcribing in dedicated Word documents each meeting, with the date, agenda, participants, and related exchanges. As far as possible, these exchanges were entirely transcribed in real time with corresponding persons. This was performed to reduce as much as possible, potential bias during the analysis a posteriori. Indeed, this intended to prevent possible

distorting of remarks afterwards. Besides, it also aimed to enable an analysis with regards to all exchanges, to prevent the risk of selectively record information during the meetings based on preconceptions. Subsequently, following each meeting, the researcher took a great deal of time to read these field notes afterwards, and to examine the meeting slides and other project working elements (e.g. results of live surveys or workshops) to analyze content from a thematic perspective to identify capabilities, requirements, or success factors in traceability implementation (Gavard-Perret et al., 2018).

Indeed, content analysis consists in using a set of procedures to make valid inferences from text (Weber, 1990) based on an objective and systematic process and thus, is useful for the identification of categories as part of focused thematic analysis (Gavard-Perret et al., 2018). Besides, an open coding process (also referred as emergent coding) (Strauss & Corbin, 1990) was applied, in view of traceability implementation emergence along value chains and the gap in research. As its denomination indicates, this open coding process thus doesn't rely on pre-established categories, based on which the content of notes is coded afterwards. Conversely, it is a reverse process through which categories are precisely discovered through data analysis (Strauss & Corbin, 1990). However, the research was still guided in this process by the broad categories of improvement levers identified in the elaborated analysis framework, based on a former systematic literature review (Riemens, et al., 2023). Accordingly, the researcher progressively coded, in a separated Excel file, categories of capabilities, requirements or success factors that emerged through reading and analysis of collective data (i.e. field notes, slides, and other working elements). In this regard, it was decided to perform this process manually, without software, given the complexity and heterogeneity of the data corpus analysed (Gavard-Perret et al., 2018).

Concurrently to these projects, the researcher also pursued individual exchanges with brands and private providers of technological solutions to support traceability implementation (as mentioned in Section 2.1.), involved in these projects and beyond. Through complementary discussions, it was intended to enhance understanding of these key aspects to consider and increase the validity of results accordingly. Besides, given the sensitivity of the domain, it was thought that these interviews could lead to possibly enhanced learnings. Accordingly, while conducted without so much formality, especially given this potential sensitivity, exchanges took form of semi-structured interviews. As such, a steering list of elements to discuss was used by the researcher and communicated to the respondent, while without imposing a predetermined order and keeping a certain freedom and flexibility in the discussion (Gavard-Perret et al., 2018; Merton et al., 1990). Besides, given that exchanges were organized in the course of this entire action-research, they necessarily entailed a progressive approach (Gavard-Perret et al., 2018). While the objective remained consistently oriented towards greater understanding of traceability implementation, topics discussed rationally evolved as the learnings progressed. In this regard, it is precisely suggested that, regarding complex emerging issue, comparability of results is less important than the deep comprehension of the phenomenon, thus making an evolutive approach highly relevant (Gavard-Perret et al., 2018). Besides, this flexible approach was also deemed essential in view of the possibly sensitivity of the explored issues for the respondents. As such, at the start of each discussion, this action-research was explained, with the objective of these exchanges aiming to enhance traceability implementation understanding, and subsequently to support the elaboration of this maturity model. Besides, for the same sensitivity reason, it was decided that to not record discussions. Indeed, it was considered that this would enhance trust with respondents and would lead to potentially more freely discussions. Besides, given that the researcher was immersed on the field, it was not considered indispensable for the validity of results, as this presence on the field was ensuring the possibility of concurrent and subsequent dedicated exchanges to corroborate or precise certain remarks. Accordingly, exchanges were organized with 18 sustainability directors and managers from fashion brands and the discussion elements consisted in enquiring their strategy, traceability objectives, related actions deployed, challenges encountered, and essential levers noticed. Regarding private providers of technological solutions, exchanges were organized with 23 persons, essentially co-founders and business managers from these companies, to discuss on the solution proposal, its current deployment stage, proceeded implementation steps, along with challenges and key success factors observed.

Indeed, given their increasing development in the industry, it was considered essential to have their external complementary views. These exchanges were mainly conducted by videoconference., They lasted from 30 minutes up to 2 hours, depending on the availability of respondents, and thus resulted in more than 50 hours of exchanges in total. The exchanges were transcribed in real time during discussions in Word documents, that once again, were read and analysed afterwards following the same open coding process, to contribute to the identification and formalization of capabilities, requirements, and success factors.

Besides, in the course of the model elaboration, it also appeared essential to conduct complementary desk research, to further triangulate results with other data sources and enhance validity accordingly. As such, the researcher dived into sustainability reports from highly ranked fashion brands and groups in the Fashion Transparency Index, consisting in an annual review and ranking released by the non-profit organization (NGO) Fashion Revolution, of 250 of the world's largest brands and retailers, based on their information disclosure level on their social and environmental policies, practices, and impacts, in their operations and their supply chains (Fashion Transparency Index, 2022). Hence, it was identified as a relevant benchmark of reports with high levels of disclosures, including traceability a priori, upon which to base this investigation. However, as this index focuses on the largest brands and groups, the researcher also looked into reports from other brands, including small and medium ones (SMEs), based on its knowledge but also field suggestions, regarding brands advancing transparency efforts. Accordingly, the objective of this concurrent enquiry, was to gain a completing overview of sustainability objectives along with associated traceability targets and improvement actions, to confront and complement collected data from the field for the development of the model. Therefore, based on these sources, sustainability reports were concurrently progressively read, and pinpointed relevant elements were directly coded in the Excel spreadsheet. In addition, the researcher also attempted, as far as possible, to identify, examine and integrate both industry and general standards and guidelines on corporate sustainability as well as on related aspects such as traceability rationally, but also due diligence (OECD, 2018) or sustainability supply chain management (UNGC & BSR, 2015). In this regard, even though traceability would be partially addressed or in divergent ways in these standards and guidelines, it was considered essential to gain a knowledge of how it is currently integrated and to better position the model accordingly, while building it on knowledge from these extant developments.

In this regard, a gradual and iterative research was conducted on Google to scope these relevant standards and guidelines. Similarly, pinpointed documents were read and analysed, and the relevant information directly added in the Excel file, based on the same open coding process. Concurrently, due to the position of the research within the FHCM, the development also benefited from daily interactions with the ecosystem more widely, through concurrent meetings, exchanges, exhibitions, events, or conferences in the course of this action-research with gradual incorporation of derived relevant learnings.

All these completing enquiries were performed progressively, concurrently, and iteratively. Hence, it implied a significant back-and-forth process between each, to progress towards the model development. Indeed, considering the emergence and complexity of the issue, which was further strengthened during the course of this action-research project, the elaboration of the model, led to lengthy reflections and iterative explorations, to conceive a widely applicable and practically relevant model for professionals. As such, it took time first to identify the most pertinent approach for assessing maturity, and the adoption of a perspective finally emerged as the most appropriate. Indeed, while it would still be highly useful to standardize traceability performance, it wasn't intended to provide such a framework. The ambition was rather to provide a completing generic management framework with necessary progressive steps of essential underlying capabilities, requirements, and factors of success, in traceability extension along value chains, to support an appropriate and progressive implementation. Accordingly, it was decided that the assessed sub-dimensions and related maturity stages won't reflect the achievement of performance levels (e.g. % of suppliers mapped) but rather critical stages to follow for effective supporting implementation towards these fulfilments. Besides, the scale (e.g. beginner, intermediary...) and numbers of maturity

stages also raised difficulties, given the wide range of capabilities, requirements and success factors pinpointed, certain requiring assessment into more progressive steps to distinguish efforts to need to be spread out in time and to stick to practical reality. Accordingly, a non-fixed maturity scale appeared at this stage the most appropriate to break down, as necessary, gradual maturity stages, and to not condense them in a pre-determined range. However, this will necessarily result in a percentage in the final maturity assessment, which could be potentially less intuitive in the operational appropriation and deployment of the model within companies. Besides, given the same emergence and complexity of the domain, the dimensions, and sub-dimensions, along with potentially relevant maturity levels, were essentially formalized at this stage. However, this architecture model provides the necessary soundly constructed foundation for its subsequent precision, and thus, an already useful framework for practitioners and a beneficial condensed knowledge to start advancing research on this strategic issue.

Finally, to ensure the validity of derived results from this open coding process, the researcher went back to this data corpus several times and worked on progressive Excel spreadsheet versions. These iterations were performed to make sure no relevant information was missed and to check if it was resulting in steadily results, to attest a certain intra-encoder reliability (Gavard-Perret et al., 2018; Weber, 1990). Besides, milestones were organized with the supervising research team, to review progressively and collectively coding results along with the architecture model elaboration. Concurrently, the researcher also attempted, as far as possible within the timeframe of the research project, to confront gradual results obtained on the field to practitioner opinion, through the individual interviews, project meetings, but more widely daily informal exchanges.

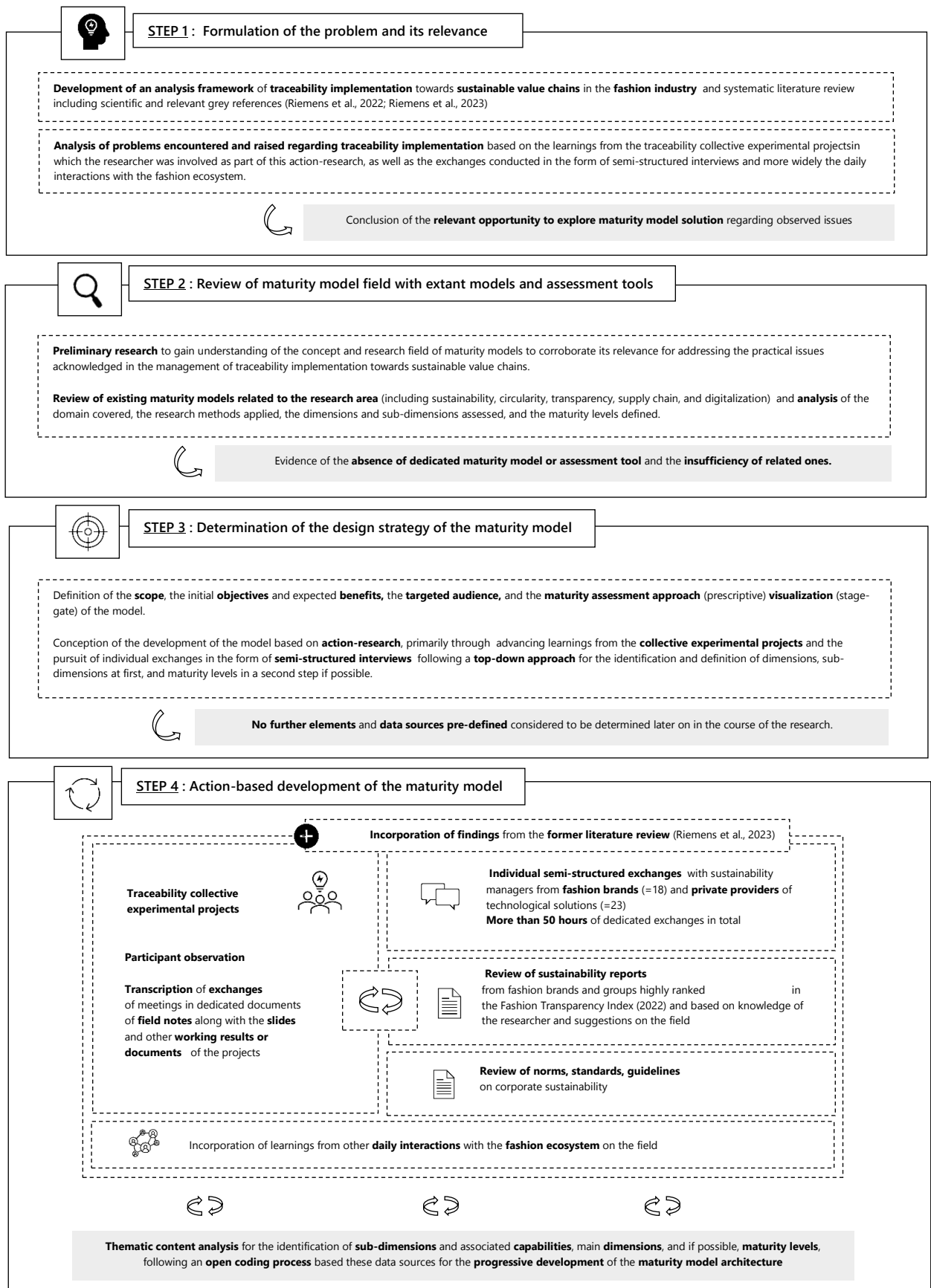


Figure 19. Method for the conception & development of the maturity model architecture

4.2.4. Maturity model

This section presents the architecture of this novel maturity model elaborated, with identified dimensions, sub-dimensions, and as much as possible, potential associated maturity levels, which emerged from this presented progressive and iterative action-research based development. As precedingly explained, this model ultimately aims to enable brands to understand the identified key capabilities, requirements, and success factors, for a meaningful management of traceability implementation towards sustainable value chains. As such, its final ambition is to allow them to evaluate their related maturity levels to identify preliminary requisite steps to proceed, to define and deploy a systematic and gradual roadmap, in support of a sustainability strategy and based on continuous improvement perspective, encompassing holistically necessary actions of transformation across essential aspects. Regarding more advanced companies, the model still aims to enable them to evaluate the completeness of their engaged initiatives for improving traceability and to eventually expand or adapt them accordingly. While the model needs further developments, especially for the formalization of maturity levels, this soundly constructed architecture provides the first necessary grounded foundation for next precisions and experimentations, to already support guidance of practitioners while advancing scientific research.

The maturity model is organized in modules, starting with a general one related to the necessary devise and steering at the corporate level (Betti et al., 2021) of the transformative actions for the implementation of sustainability and traceability goals along value chains and their overarching management ([module n°1](#)). Then, consistently with previous research (Riemens et al., 2023), the subsequent modules correspond to the two main applications of traceability implementation identified towards sustainable value chains, namely supply chain traceability for over production conditions along supply networks for reducing and improving associated impacts ([module n°2](#)), followed by product traceability introduction to enhance information access and product and material circularity accordingly ([module n°3](#)). While it probably won't be necessary to distinguish them later to merge them into common overarching dimensions, with the advancement of business models combining new products with product-services systems, it was deemed necessary at this stage to make them distinct, to structurally gather related knowledge and to allow for targeted assessments and actions considering the emergence of their implementation. Each module comprises dimension which reflect main categories of identified necessary related capabilities, requirements, and factors of success (e.g. organization and governance) corresponding to sub-dimensions which would be assessed through related maturity levels based on the pinpointed relevant indicators. The model is prescriptive and based on a lifecycle approach, meaning that it indicates essential capabilities, requirements, and factors of success to develop, fulfil and enable, regardless the company type.

The model architecture is displayed in below Fig. 22 (at the end of this sub-section) and each module with its dimensions, sub-dimensions and potential maturity levels are further explained and substantiated in the following sub-sections.

4.2.4.1. Module n°1

Corporate management of sustainability & traceability implementation

This module is related to the necessary corporate management of sustainability and traceability implementation along value chains for its effective devise and steering. Accordingly, it assesses capabilities, requirements, and success factors across the main dimensions of transition policy, strategy and roadmap, organization and governance, and technology architecture and data management.

- **Transition policy, strategy, and roadmap**
 - ***Mastering of sustainability and traceability standards, guidelines, and regulations***

Traceability must be devised and implemented in support of sustainability transition objectives (Betti et al., 2021). Hence, it requires, for their respective devise in line with required targets, the former strong knowledge of sustainability standards and prominent guidelines, including responsible business conduct (UNGC, 2015; UNGC & BSR, 2015; UNGC, 2010) and regarding traceability subsequently, along with their gradual mastering and monitoring to ensure aligned goals and related transformation actions. In this regard, the policy and regulatory framework pertaining to corporate sustainability and associated requirements is strengthening and evolving quickly, with an increasingly recognized role to traceability and transparency (Webb, 2023a; Betti et al., 2021; UNECE, 2021). Accordingly, mastering this complex and evolutive regulatory landscape was also explicitly ascertained by companies during the collective projects, and more widely discussions on the field, as a key capability for their anticipation. Thus, it requires interactions and exchanges with external relevant stakeholders to this end (e.g. regulators, industry associations) along with directly concerned ones (e.g. suppliers) for clear communication and engagement, which is currently lacking, and which was raised as an important hurdle in traceability implementation. Hence, maturity indicators identified would consist in the mapping of these prominent standards, guidelines and regulations at a basic level, their strong knowledge and understanding by specially deriving related requirements for the company, followed by the existence of processes to support their continuous monitoring, integration, and related improvements within the company.

- ***Identification and engagement of relevant direct and external stakeholders***

Addressing sustainability risks and impacts, and implementing related improvement actions along value chains, necessarily requires identifying and engaging relevant stakeholders, to enable the definition of appropriate goals and actions, while ensuring their effective implementation (UNGC & BSR, 2015). Commonly defined as "*interested parties, i.e., persons or groups who have interests that are (or could be) affected by the enterprise's activities, or who are associated with these groups*", stakeholders and their inclusion represent a core element of corporate sustainability (ISO 26000:2010, 2020; UNGC, 2015; UNGC, 2010) and reporting accordingly (GRI, 2023a). Hence, strong collaboration with both direct value chain and external stakeholders is recognized as an essential capability for effective sustainability and traceability extension along value chains (ASGT, 2022; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015).

Indeed, it is essential to make sure that directly concerned stakeholders of actions to improve traceability (e.g. suppliers) are committed to the journey ahead (Betti et al., 2021). In this regard, stakeholder engagement emerged among the main barriers, following experimentations of the collective projects, for the deployment of digital platforms to enhance data collection and exchange along supply chains at scale, and accordingly, as a key recommendation and priority for future industry collective actions. Besides, collaboration with external stakeholders (e.g. competitors, NGOs...) also appeared critical during the projects, in line with the extant literature (ASGT, 2022; FLA, 2022; Betti et al., 2021; UNGC & BCG, 2015) to standardize traceability actions, to share best practices or to pool influence and resources, for instance, to enable effective implementation. In this regard, the heterogeneity of content and format of data collection requests from fashion brands to suppliers, and the deployment of multiple digital platforms exacerbating duplications of data entries and resulting overload, emerged as another major hurdle for a sustaining long-term traceability implementation, requiring collaborative actions within all actors for standardization. Also, collaboration with other external stakeholders, such as trade unions or NGOs, is highlighted essential to assess impacts and devise relevant sustainability and traceability goals accordingly (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). Consequently, it is advised to companies to identify the ecosystem in which they operate first (Betti et al., 2021) with existing multistakeholders initiatives (ASGT, 2022) to define an appropriate stakeholder engagement strategy accordingly (Betti et al., 2021). Consequently, maturity levels identified would start with the

identification of the stakeholder landscape and relevant ones for the devise of the sustainability and traceability strategies at first (FLA, 2022; Betti et al., 2021). Subsequently, it would consist in the most precise definition of pertinent ones for their implementation regarding each related supporting policies, strategies, and roadmaps for traceability extension (ASGT, 2022; Betti et al., 2021). In this regard, given the enormous and potentially overwhelming scope, it is thus recommended to focus on the company's most priority goals to narrow it (Betti et al., 2021). Then, next levels would be the implementation of adequate processes for their implication, and finally, the effective integration of their views in the execution, refinement and continuous improvement of goals and actions accordingly (ASGT, 2022; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015).

- ***Assessment and integrated management of sustainability risks and impacts***

Sustainability goals, on which traceability ones must be based, must necessarily rely on impact assessment and defined targets, according to the most significant ones along the value chain (ASGT, 2022; UNGC, 2015; UNGC & BSR, 2015; UNGC, 2010). This is critical to direct efforts towards most appropriate reduction and improvement initiatives, and related traceability actions to enable their measurement and substantiation accordingly (UNECE, 2020). This must be done based on the most credible standards and guidelines (GRI; ISO 26000:2010, 2020) and in line with general and industry environmental and social targets (IPCC, 2015). Besides, potential adverse impacts from traceability improvement, specially through the use of technologies must also be carefully considered (Franck et al., 2022). Therefore, maturity would start with the preliminary step of having an overall clear vision of the business activities (e.g. product, processes and materials) (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015), followed by strong knowledge of general related severe and likelihood environmental and social impact areas (e.g. country, material, process level) (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). Subsequently, it would consist in the identification of relevant data to collect, and their sources, based on the actual level of value chain traceability, for the following gap analysis regarding actual impacts based on specific data (UNGC & BSR, 2015). Then, it would be the realisation of this gap analysis for prioritizing actions regarding the most significant impacts, considering severity and likelihood while including relevant stakeholders in this evaluation (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). In this regard, it is strongly advised that companies should be mindful on these steps, as they should not be completed within a short timeframe, especially when completed for the first time (UNGC & BSR, 2015). Following stages would entail the identification and formalization of the main reduction and improvement targets, with associated levers, including traceability requirements. Again, this should be done in consultation of relevant stakeholders (e.g. NGOs, experts...) to ensure compliance and consistency of targets (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). Finally, advanced levels would imply the implementation of these targets and their follow-up through regular monitoring processes, to evaluate their achievement, eventually adapt them with defined actions, and continuously improve them, in constant dialogue of relevant stakeholders (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015).

- ***Formalization of a sustainability transition policy with necessary traceability requirements***

As traceability must be anchored on sustainability objectives, it requires the priori formalization of sustainability standards and guidelines in an explicit corporate sustainability transition policy, considering the entire value chain and all environmental and social relevant impact areas (ASGT, 2022). Indeed, this will ensure that defined sustainability targets and actions, and associated traceability requirements, are in line with best credible standards and guidelines (ASGT, 2022). Besides, such policy provides clarity both internally and externally on pursued ambitions (ASGT, 2022). Therefore, maturity levels would reflect the progressive stages for the formalization of this policy with relevant stakeholders (ASGT, 2022), followed by its communication internally and externally (ASGT, 2022) and finally, the devise and execution of procedures, for its follow-up with related impact targets and resulting strategy, to adapt them if necessary, and improve them progressively, based a continuous improvement perspective (ASGT, 2022).

- ***Formalization of a sustainability transition strategy including traceability goals***

In the continuation of the previous elements, traceability devise requires the definition of a sustainability transition strategy, based associated impact reduction and improvement targets defined (ASGT, 2022). Goals and related transformation actions defined must be formulated in a SMART way (specific, measurable, acceptable, time-bound) (ASGT, 2022) in direct relationship with prioritized impacts considering the entire value chain (ASGT, 2022) and with a mix of short, medium, and long-term goals (ASGT, 2022). In this regard, it is advised to apprehend risks and expected opportunities from these goals and actions, to explicitly identify potential barriers and benefits for the company and its value chain (UNGC, 2010). Besides, it also emerged from the projects and in line with the extant literature, the necessity to define a long-term vision regarding sustainability and the required supporting traceability accordingly (ASGT, 2022) anchored in the company's values and ethics (UNGC & BSR, 2015). Therefore, once again, maturity indicators would consist in the gradual steps for the development of the transition strategy and the implementation of processes to continuously monitor its execution and to enable its progressive improvement. Such strategy would necessarily require the implication of relevant stakeholders including the different company departments (UNGC & BSR, 2015).

- ***Formalization of a cross-functional traceability transformation strategy and roadmap***

Concurrently, traceability requires the definition of a dedicated strategy and roadmap connected to sustainability objectives (FLA, 2022; Betti et al., 2021). This was particularly evidenced during the projects, to engage suppliers and to steer the implementation of the numerous actions required for enhancing data exchange along supply chains. Hence, the projects also confirmed the necessary cross-functional strategy and roadmap, (Betti et al., 2021) to encompass the multiple interrelated and underlying objectives under traceability extension towards sustainable value chains (e.g. impact monitoring, resiliency chain of custody...) and the various transformations required accordingly. In this regard, recent guidelines advise to identify traceability applications, to start with small and low-risk efforts and to adopt a rapid test-and-learn approach, but while having determined beforehand the macro journey with envisaged scaling strategy and roadmap for each traceability enabler, even if it can evolve throughout the learnings (Betti et al., 2021). Once again, these strategy and roadmap must be defined with relevant direct and external stakeholders (Betti et al., 2021). In fact, it is clearly outlined that companies are currently delaying this essential planning phase, thus facing high risks of failures or lack of scale of their traceability pilots and actions more widely in the long term (Betti et al., 2021).

- **Organization and governance**

- ***Top management leadership on sustainability transition & traceability implementation***

Sustainability (ASGT, 2022; UNGC, 2010) and traceability extension along value chains (Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015) rationally require to be endorsed by the highest-level executive and top management to be impactful and successful. This was clearly evidenced during the collective projects, given the significant transformations and associated investments and resources required for improving traceability along supply chains, requiring top management support and involvement. This requirement has also been clearly raised in a recent report, outlining that companies are mainly handing over responsibility for traceability to the chief sustainability officer (CSO), stymied by insufficient resources or influence for substantive changes (Betti et al., 2021). Consequently, relevant maturity levels would be the executive and top management alignment and competences on sustainability along with traceability and its supporting role of traceability (Betti et al., 2021) and their implications and support in the definition, implementation, and monitoring of sustainability and related traceability strategy and roadmap (ASGT, 2022).

○ *Cross-functional governance to sustain sustainability and traceability implementation*

Sustainability and traceability must rely on a cross-functional approach for successful implementation along value chain, which requires changes in the organization and governance towards the involvement of all departments (ASGT, 2022; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015; UNGC, 2010). In this regard, the collective projects strongly substantiated this necessity, by clearly outlining the requisite of involve departments such Information Technologies (IT) for instance, to devise and support the deployment of supply chain digital platforms to improve traceability at scale. Consequently, maturity levels would consist, as preliminary steps, in the initial analysis of the organization and governance, followed by a reflection on the involvement of departments in the strategy definition. Then, next levels could reflect the formalization of the organization and governance for the strategy implementation, with the definition of explicit responsibilities, objectives, and indicators (ASGT, 2022), and subsequently, their effective application and improvement through dedicated processes.

○ *Integration of traceability implementation in the financial strategic planning*

Considering the required cross-functional approach for the devise and steering of sustainability and traceability extension along value chains, it has been highlighted that it should be properly allocated in strategic long-term budgets (Trustrace, 2023; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015). Indeed, staff and available budget must be consistent with envisaged traceability goals and actions (ASGT, 2022), such as implementing digital platforms, developing trainings, or engagement initiatives with value chain actors, and the projects highlighted that these are difficult to evaluate and tend to be underestimated. Hence, it is advised that executive and top management teams should manage allocations for traceability as a broad business-wide objective (Betti et al., 2021). Consequently, maturity levels should reflect this progressive integration of traceability in the financial strategic planning, with an initial clarification of budgets first, with regards to costs and expected benefits of targeted sustainability and traceability goals and actions (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). Then, next levels could be the formalization of dedicated budgets and their integration within relevant departments, and subsequently, their execution, monitoring, and eventual adjustment in the course of their implementation (Betti et al., 2021).

○ *Cross-functional management of sustainability and traceability knowledge & competences*

Again, in view of the cross-functional nature of sustainability and traceability extension along value chains, an overarching management of knowledge and competences emerged as an essential capability (ASGT, 2022) from the collective project as well, given their significance and range (sustainability, IT, buying practices...). In this regard, maturity could start at a basic level with the realisation of a gap analysis on knowledge and competences with regards to sustainability and traceability targeted goals and actions, followed by the formalisation of a dedicated action plan and allocation of ressources (training, workshops, external hiring, etc.) (ASGT, 2022; FLA, 2022) and its progressive execution, monitoring, and development.

○ *Internal engagement & communication to drive traceability implementation*

As all transformative efforts, sustainability, and traceability extension, with associated goals and actions, require the implementation early and often of internal communication and engagement to drive their execution (Trustrace, 2023; ASGT, 2022; Betti et al., 2021).

Hence, maturity could be assessed with the definition of a dedicated communication and engagement plan, and subsequently, its implementation, and the evaluation of its impact for its evolution and improvement (ASGT, 2022).

- **Technology architecture and data management**

This last dimension of the module aims to evaluate technology architecture and data management capabilities at the corporate level. Indeed, as evidenced by the collective projects and a recent report (Betti et al., 2021), such capabilities are critical to enable the effective implementation of digital traceability at scale. In this regard, in view of the multiple related technical aspects, sub-dimensions haven't been identified at this stage, but the main pinpointed elements are described. Accordingly, it is first suggested that traceability implementation requires a strong data management approach (Betti et al., 2021). Indeed, it is highlighted that companies currently rush to collect a massive amount of data, to only discover their limited value afterwards (Betti et al., 2021). Therefore, it is advised to companies to define their data needs explicitly and precisely, in terms of granularity, frequency and processing speed, based on targeted traceability applications (Betti et al., 2021). Besides, given the multiplicity of digital solutions and private providers for traceability enhancement (CIRPASS, 2023; Doyle, 2022; Kearney, 2022), it is suggested that companies must determine traceability application areas, technology building blocks and necessary partnerships to scale these technologies and enable their interoperability with internal information systems, along with potentially other solutions along value chains (Franck et al., 2022; Betti et al., 2021). As such, it requires the use of data standards to facilitate data processing and sharing (Franck et al., 2022; Betti et al., 2021). Hence, it is suggested that technology architecture and data management must be envisaged, based on the prior identification and prioritisation of traceability goals (Betti et al., 2021). Besides, such technology architecture and data management require a dedicated action plan, as part of traceability strategy and roadmap. Otherwise, it is raised that companies are exposed to the risk of launching disconnected pilots, with no overarching strategy for scaling them (Betti et al., 2021). Finally, the devise of such action plan must again involve relevant stakeholders, and especially, the ones that would be directly implicated by the implementation of such technologies (Betti et al., 2021).

4.2.4.2. Module n°2

Supply chain traceability towards production impacts reduction and improvement

This second module is related to traceability implementation along supply chains for reducing and improving associated impacts. Accordingly, it evaluates capabilities, requirements, and success factors across the main dimensions of standards and policies, supply chain management, data and technologies, operations, and processes, and finally organization and governance.

- **Standards and policies**
 - *Alignment of design practices with sustainability and traceability goals*
 - *Alignment of sourcing strategy and policy with sustainability and traceability goals*

The collective projects and the extant literature converged on the necessity, for enabling traceability improvement in support of sustainability, to align sourcing policies with related goals accordingly (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). In this regard, it necessarily involves significant changes with regard to current sourcing practices. Among the major actions put in place by companies and suggested in guidelines (ASGT, 2022), the nomination of suppliers, beyond the direct ones, appears as a critical enabler for ensuring traceability of the origin and conditions of identified better materials. Such sourcing policies must be established, based on the assessment of impacts, and resulting sustainability and traceability goals. Hence, maturity levels would consist in the progressive steps for the devise of sourcing policies (e.g. analysis of product portfolio, materials used, raw materials, related processes, existing standards and best practices for these raw materials and processes) in dialogue with suppliers and other relevant stakeholders (ASGT, 2022), followed by their implementation, monitoring, and continuous improvement.

- ***Alignment of purchasing strategy and policy with sustainability and traceability goals***

Purchasing strategies and practices (i.e. price, delivery time, buying conditions...) are major components to consider in the reduction and improvement of impacts along supply chains given their significant influence (Kashyap, 2019). Indeed, it is clearly shown that detrimental purchasing practices from brands (e.g. low-prices, reduced delivery time or last-minute orders) contribute to overtime, unwanted subcontracting, and other major social impacts (ASGT, 2022; Kashyap, 2019). In this regard, it is essential to align purchasing strategy and policy with sustainability and traceability goals, to enable and ensure their effective implementation (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). Otherwise, it will also act as a significant barrier. Indeed, the often switch of suppliers rationally prevents traceability improvement (ASGT, 2022). Hence, the development of long-term buying relationship is a critical enabler (ASGT, 2022). Therefore, maturity would start with the acknowledgement and awareness of possible negative impacts in the chain as a result of purchasing practices (ASGT, 2022).

Subsequently, an in-depth understanding of current buying practices and associated risks should be conducted through dedicated screening tools (ASGT, 2022; FLA, 2022b). Next levels would consist in the evaluation and formalization of necessary changes, for their alignment with sustainability and traceability goals, and again in dialogue with relevant stakeholders, including internal teams and suppliers (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015). In this regard, it would be necessary in the model to further gather knowledge regarding all the key elements to consider, based on standards and guidelines on responsible buying practices (e.g. price and lead-time policy, formalization of buying conditions, development of long-term relationships, rationalization of supplier base...etc.) (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015).

Then, such policy would need to be properly communicated to the related stakeholders (UNGC & BSR, 2015). Finally, regular dialogues and evaluations would need to be implemented, with established formats and indicators, to analyze the execution of these strategy and policy and discuss related feedbacks, for their refinement and continuous improvement (ASGT, 2022).

- **Supply chain management**

- ***Supply chain knowledge & communication to enable traceability implementation***

The collective projects along with the literature both rationally converged to the identification of supplier knowledge and communication as key elements to enable and to sustain sustainability and traceability extension along supply chains (ASGT, 2022; FLA, 2022b; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015). Indeed, strong relationships and trust have been shown as key levers for enhancing traceability along supply networks (Brun et al., 2020), which require certain requisites and strong communication capabilities. Thus, maturity would basically start with a full insight into suppliers or actors with a direct contractual relationship (ASGT, 2022; UNGC & BSR, 2015), followed by the implementation of an initial dialogue, to start discussing sustainability and related traceability expectations and to gauge motivation and readiness accordingly (FLA, 2022b; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015). Such dialogue must also lead to a necessary initial understanding of their expectations, potential concerns (FLA, 2022b) ways of working with their own upstream suppliers (UNGC & BCG, 2015) and possible traceability actions engaged (Betti et al., 2021). In this regard, the projects and the literature evidenced the importance for suppliers, and other actors along the supply chain, of clear understanding of sustainability and traceability issues and expectations (UNGC & BSR, 2015). Therefore, such initial dialogue must be implemented towards developing a share mindset and expectation setting (UNGC & BSR, 2015). As such, it is advised to be prepared to explain why information is needed and why it is important to the company, but also how it could benefit them as well (FLA, 2022b; Betti et al., 2021) for incentive (UNGC & BSR, 2015). Such preliminary dialogue is also key to ensure commitment and enthusiasm, or conversely, to observe potential resistance, and thus anticipate adequate communication and other actions for successful

traceability implementation (Betti et al., 2021). Therefore, this dialogue must be collaborative to provide mutually acceptable goals and actions (ASGT, 2022; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015). Hence, subsequent levels would be the identification of relevant communication methods (UNGC & BSR, 2015), their devise and the definition of their frequency (FLA, 2022b; Betti et al., 2021; Sadowski et al., 2019; UNGC & BSR, 2015). Finally, it would consist in their implementation and effective integration of learnings and feedbacks in the execution, refinement and improvement of sustainability and traceability strategies and roadmaps (UNGC & BSR, 2015).

- ***Supply chain collaboration to enable traceability implementation***

In the same vein, the projects and the literature also evidenced the necessity of strong collaboration capabilities to enable and support sustainability and traceability extension along supply chains (Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015). This is intrinsically related to several other sub-dimensions. Indeed, collaboration requires, for instance, to priorly define sustainability and traceability expectations (ASGT, 2022). In this regard, the necessity to clarify how costs and benefits will be shared between actors is strongly emphasized for successful traceability implementation (Betti et al., 2021). Hence, maturity levels would entail the initial identification and prioritisation of supply chain actors to collaborate with, based on preliminary engaged dialogues (Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015), followed by the definition of appropriate ways to support collaboration towards sustainability and traceability goals (UNGC & BSR, 2015) and the subsequent formalization of a dedicated collaboration plan. Once again, it would be highly beneficial to emphasize all key elements to consider or best practices in this regard (e.g. incorporation of traceability expectations in contracts...) (ASGT, 2022; Betti et al., 2021; Farsan et al., 2018; UNGC & BSR, 2015). Finally, advanced maturity levels would be the implementation of this plan, and its improvement based on learnings and feedbacks.

- ***Supply chain engagement & support to sustain traceability implementation***

Complementarily, strong engagement and support are also key elements to enable and sustain traceability implementation along supply chains. Beyond communication and collaboration, this involves providing financial support, resources, training, or information to effectively allow supply chain actors to meet sustainability and traceability targeted goals (Farsan et al., 2018). Hence, once again, maturity levels would imply the definition of appropriate methods and actions of engagement and support (Farsan et al., 2018), depending on the resource availability within the company (thereby closely related to the necessary evaluation of costs and benefits), followed by their implementation and improvement.

- **Data and technologies**

- ***Data requirements standards to frame traceability implementation***

Traceability implies data collection, sharing and management and thus, the collective projects evidenced, in line with the literature (Betti et al., 2021) the necessity to clearly define data requirements, to frame its progressive implementation. Indeed, this is highlighted as essential to connect traceability with sustainability targets and to define priorities of data collection to avoid spread out on data accordingly (Betti et al., 2021). Therefore, maturity would imply levels such as preliminary gap analysis of data availability and quality, regarding sustainability and traceability targeted goals, definition of data requirements with identification of appropriate collection means, frequency, and processing speed needed (FLA, 2022b; Betti et al., 2021). Such data requirements must be established, once again, with relevant stakeholders and specially directly concerned ones (i.e. operational teams and suppliers) to consider their constraints and capacities (FLA, 2022b). In this regard, this also requires relying, as much as possible, on standardized data to avoid data collection duplication and resulting inefficiencies and overload. Finally, as it might be not possible to collect all envisaged data in a first instance, a gradual implementation and improvement of such data requirement standards should be envisioned.

- ***Verification standards to ensure control of data collection***

Complementarily, the verification of collected data emerged as another significant aspect to consider for sustainability and related traceability meaningful implementation. As such, it entails a combination of completing internal (e.g. visits of production sites) and external (e.g. audits, certifications, forensic or additive tracers, consultation of stakeholders...) means of verification (ASGT, 2022) to be able to challenge data and enhance insurance of its validity. Hence, maturity could reflect the gradual steps of the identification of existing means of verification first regarding most priority data, the realisation of a gap analysis to define verification standards with relevant stakeholders and regarding available resources, the attribution of roles and responsibilities accordingly. Finally, once again, advanced levels could consist in their effective implementation and their enhancement over time.

- ***Formalization of technological supply chain traceability applications needs***

In addition, it also clearly emerged in the course of the projects, that enhancing traceability along supply chains, to reduce and improve impacts, accordingly, entails multiple technological solutions (Doyle, 2022; Kearney, 2022; Betti et al., 2021; UNECE, 2020). In this regard, several digital platforms are being developed in the industry to enhance data collection, sharing and management (Doyle, 2022). Also, concurrently, multiple databases for factories and related environmental and social data exist (Amfori, 2023; ICS, 2023; Open Supply Hub, 2023; Sedex, 2023; Sustainable Apparel Coalition, 2023). In addition, physical tracers are also expanding with the aim of complementarily authenticate products and materials (Crowley et al., 2019). Accordingly, companies must explicitly define their technological application needs for the improvement of traceability along supply chains, considering this ecosystem of solutions, but also their internal information systems, as part of their overarching management of technological architecture and data management (Betti et al., 2021). Once again, this must be done in concert with directly concerned stakeholders, and thus suppliers, but also with relevant external ones (Betti et al., 2021). Besides, it also necessitates the prior definition of traceability goals (Betti et al., 2021). Consequently, maturity levels could start with the preliminary strong knowledge of technologies to support traceability and corresponding solution providers, followed by the explicit definition of technological applications needs with relevant stakeholders in view of defined sustainability and traceability goals, and corresponding data and verification requirements. Then, it would consist in the formulation of a dedicated action plan, as part of traceability strategy and related roadmap, and its gradual implementation, refinement, and development in the course of learnings and emerging complementary needs.

- **Operations and processes**

- ***Business processes changes for implementation of sustainability & traceability goals***

The collective projects and the literature also evidenced the necessity to implement significant business processes changes to enable the enhancement of sustainability and traceability along supply chains (ASGT, 2022; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015).

As such, operational processes must be defined to support sustainability and traceability strategies and roadmaps across each enabler (i.e. design standards, sourcing and purchasing strategies and policies, data and technologies) (ASGT, 2022; FLA, 2022b; Betti et al., 2021; UNGC & BSR, 2015). Hence, once again, maturity levels would consist in the progressive definition of required changes, with implicated stakeholders, and subsequent implementation, monitoring, and improvement. To further assist companies in this regard, it should be indicated in the model all necessary business processes to consider, with a compilation of best practices.

- *Data management processes for implementation of sustainability and traceability goals*

Along with business processes changes, data management procedures to enable the implementation of sustainability and traceability strategies and roadmaps should also be defined, formalized, and implemented. Hence, this would involve the same steps to be followed for the maturity levels.

- **Organization and governance**

- *Formalization of roles and responsibilities for traceability implementation*

As previously suggested, sustainability and traceability are significant cross-functional issues (ASGT, 2022; Betti et al., 2021). Therefore, the projects and the literature (ASGT, 2022) substantiated the critical requirement to explicitly define roles and responsibilities, with associated governance for supply chain traceability implementation across relevant departments and corresponding teams. Indeed, for instance, buyers can only implement changed purchasing practices, towards greater sustainability and traceability, if they are accountable for the fulfilment of related goals and not solely margin and turnover (ASGT, 2022). Accordingly, maturity levels would start with a understanding of current organization (UNGC & BSR, 2015), the identification of appropriate breakdown of roles and responsibilities with regards to sustainability and traceability goals, the explicit assignment of role and responsibilities (e.g. through organizational chart, job descriptions, sustainability, and traceability goals indicators...) (ASGT, 2022) followed, once again, by their execution, monitoring and refinement or improvement accordingly.

- *Knowledge and competences management to enable traceability implementation*

Concurrently, traceability implementation along supply chains necessitates knowledge and competences management, as part of the previously mentioned overarching corporate one, on the different enablers (e.g. sourcing, purchasing...). Therefore, it requires, once again, a dedicated management to define the best suited actions for their development, with regards to targeted goals.

- *Coordination management to steer traceability implementation*

Finally, given the necessary cross-functional implementation of supply chain traceability, the collective projects highlighted the key requirement of a dedicated coordination for steering the multiple actions required to be executed, among departments, which has been corroborated in the literature (Webb, 2023).

4.2.4.3. Module n°3

Digital product traceability towards enhanced information access and circularity

This third module is related to product traceability in support of greater transparency and circularity. It should be reminded that the researcher didn't take part in dedicated projects for test and deployment of digital product traceability. Consequently, this module was developed based on available information in the literature to start gathering extant empirical knowledge. Hence, initial elements to consider were identified across the main dimensions of standards and policies, management of stakeholders, data and technologies.

- **Standards and policies**
 - *Design strategies and standards*

Digital product traceability must necessarily go hand in hand with the implementation of design strategies and standards. Otherwise, such passports would be useless. Firstly, design strategies and standards must be defined and implemented for product durability, to extend as much as possible its use and lifetime and amortize accordingly associated environmental impacts (Haeggbloom & Palmer, 2019). Design strategies and standards must also further consider product reparability and in the last resort recyclability (Franck et al., 2022; Riemens et al., 2021; Haeggbloom & Palmer, 2019). For this latter, it requires for instance strong knowledge on recycling technologies their requirements, limitations, and preferences to translate them in tangible material and product criteria (Haeggbloom & Palmer, 2019).

- *Communication standards*

In addition, while being rather an issue of transparency, but which must be considered concurrently, communication must follow strict standards to ensure an accurate communication and prevent potential greenwashing, which is also becoming increasingly regulated (CE, 2023).

Therefore, maturity could consist in the preliminary identification of existing regulations, standards, and guidelines, followed by their mastering through their translation to requirements for internal communication standards, with relevant stakeholders to this end, followed by their subsequent application, and implementation of dedicated procedures for their monitoring and refinement.

- **Stakeholder management**

Implementation of digital product traceability also appears to necessitate strong management of all relevant stakeholders to support extension of product use by consumers and their overall lifetime through resell, reuse and repair, and finally recycling. Further sub-dimensions haven't been identified in the absence of sufficient data. However, some elements can already be outlined. Starting with consumers, understanding of habits, expectations and beliefs is critical to make sure of the intelligibility, accessibility, and usefulness of information (Creux-Martelli et al., 2023; FLA, 2022b; UNGC & BSR, 2015). Besides, its proper engagement for product return and recycling is also suggested as another key aspect to consider (Franck et al., 2022; Haeggbloom & Palmer, 2019). Beyond consumers, digital product traceability requires to consider all other involved value chain actors, starting with manufacturers along with resellers, collectors, sorters, pre-processors, and recyclers among others, to evaluate impacts of envisaged technological solutions with their current operations (Franck et al., 2022). Stakeholder needs and constraints must also be clearly established (Franck et al., 2022). Therefore, it necessitates to understand how these different actors in the value chain will physically interact with the product data carrier, to enable such product digital traceability, and the information it will need to provide (Franck et al., 2022).

- **Operations and processes**

Digital product traceability implementation also necessitates the introduction of business processes to support associated new operations. For instance, it is suggested that it requires methods for verifying product data, to ensure its accuracy and completeness prior to the association of the digital identifier to the physical product (Franck et al., 2022). Besides, processes might be required for introducing or updating information in product passports (CIRPASS, 2023).

- **Data and technologies**

Finally, it also implies the definition of related required data and technological applications. In this regard, it necessitates to identify essential data to exchange and access to stakeholders that would be needed throughout the value chain (Franck et al., 2022; (Haegglom & Palmer, 2019). Besides, once again, widely adopted data standards for common product data and format must be used to enable interoperability between information systems and effective communication along the value chain (CIRPASS, 2023; Franck et al., 2022; Haegglom & Palmer, 2019). In addition, technological applications for implementing such product traceability must be, once again, explicitly defined based on objectives and current related technologies with corresponding solution providers, while considering existing, alternative, and complementary systems concurrently (Franck et al., 2022).

This is particularly critical considering the current vast landscape of technologies, and especially regarding data carriers for product identification with varying applications (CIRPASS, 2023; Franck et al., 2022).

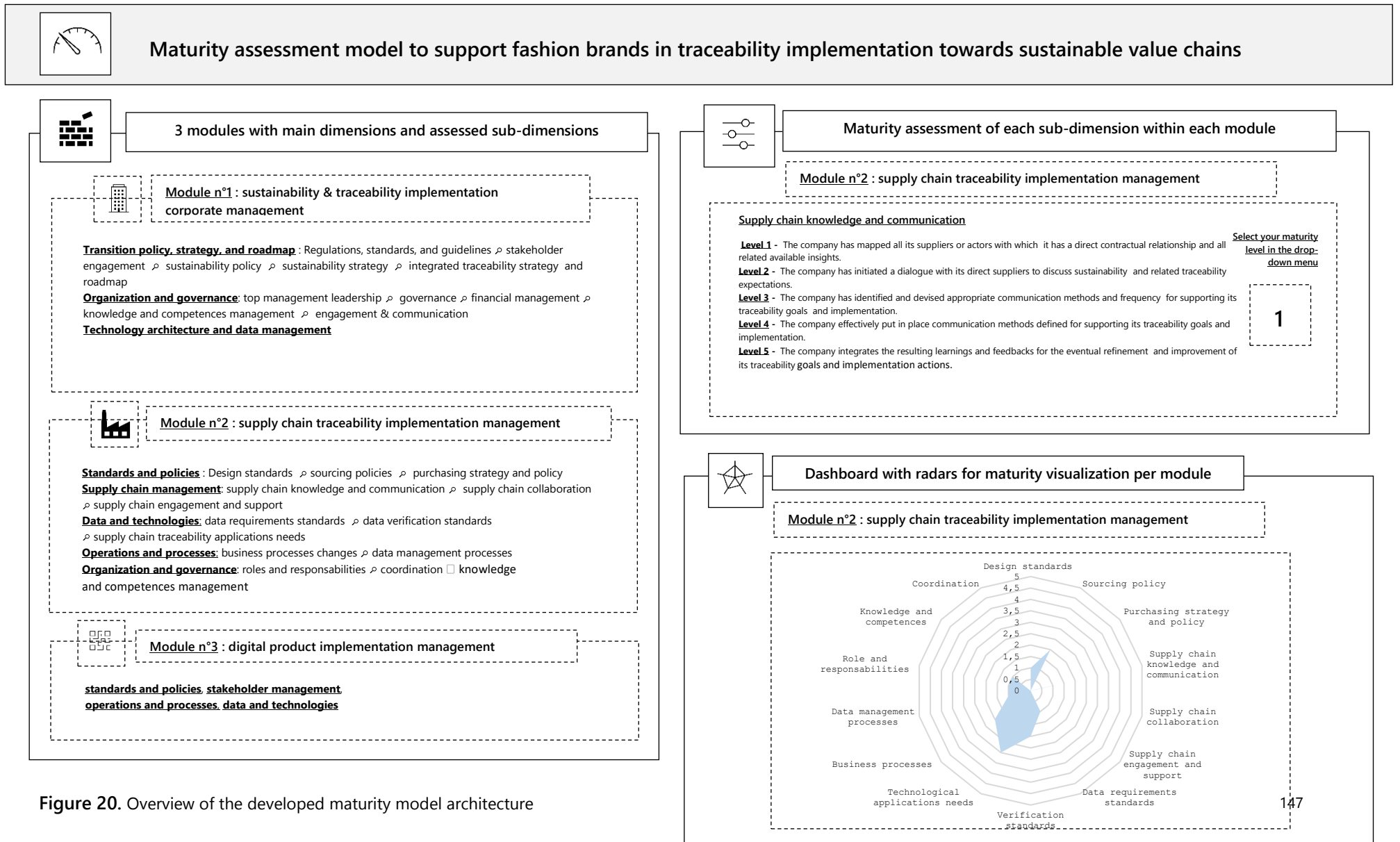


Figure 20. Overview of the developed maturity model architecture

4.2.5. Limitations and perspectives

It clearly emerged from this research the relevance to develop a maturity model to guide brands in the management of their traceability implementation towards sustainable value chains. Given the emergence and complexity of this significant issue, it required special care for the definition of an appropriate research method, anchored on action-research, to elaborate a soundly robust and pertinent model. For that very reason, it was not possible at this stage to precise certain sub-dimensions and to determine all associated maturity levels. However, this architecture with identified dimensions and sub-dimensions already provides a strong framework and beneficial empirical knowledge to guide practitioners, while advancing research on this issue. Indeed, anchored on a dialogue between significant empirical knowledge generated as part of this action-research, still limited in the industry, with relevant extant, it provides an initial and common source of aggregation of knowledge and a grounded foundation for the incorporation of future learnings. Accordingly, it opens up significant perspectives. It provides a robust base for its experimentation and subsequent precision on the field with practitioners, to also incorporate key elements for its deployment within companies. In this regard, the model could be confronted to other industrial sectors, potentially more experimented, to transfer possibly relevant knowledge. As such, the extant research at the intersection of sustainability and traceability in other sectors was not included, as it was given priority at this stage, to already incorporate existing empirical knowledge pertaining to the sector and to anchor the maturity model on the numerous sustainability standards, reports, and guidelines. Therefore, it could also be pertinent to examine this empirical knowledge from other sectors, for the inclusion of potential learnings or best practices. Finally, while traceability is one important aspect towards sustainable value chains, it is definitely not a sufficient condition per se. Its implementation along value chains in the industry must be deeply grounded on a sustainability transition. Accordingly, the model aims, specially through strategic sub-dimensions, to position traceability in support of such a transition strategy, also by encompassing connected enablers (e.g. sourcing) to provide the necessary holistic perspective for its meaningful implementation, beyond the prevalent exclusive technological standpoint. However, it is evident that this is not sufficient and one of the critical priorities to reduce and improve the industry impacts lies in the reduction of production and consumption. Therefore, already providing essential aspects for traceability implementation, the model should further evolve towards a more widely maturity assessment tool to guide companies in this sustainability transition. It would contribute to significant impactful practical and scientific benefits for the sector. However, it would require the prior definition of a common and systematic transition roadmap, which is currently lacking. Consequently, if based on a scientific and fair approach, such a roadmap would provide the critical missing piece of this puzzle for the effective sustainability transition of the fashion sector.

4.2.6. Conclusion

In view of the recognized essential role of traceability for enabling sustainable value chains, and the raised considerable challenges in the fashion industry in its improvement, this paper explored the development of a specific maturity model to support brands in its implementation, as part of a dedicated action-research on this topic in the sector. Accordingly, based on prevailing guidelines, the maturity research domain, along with extant models and more widely professional assessment tools related to this issue were reviewed, evidencing the strong relevance of the maturity field and the significant gap in existing developments. Therefore, an architecture of a novel maturity model was elaborated following a methodological and iterative process, based on action-research, through the immersion on the field with practitioners and specially the involvement in several collective experimental projects of digital platforms to enhance traceability implementation along supply networks in the industry. While requiring further developments and its ultimate experimental implementation, this architecture already provides a grounded framework and with a beneficial source of aggregated knowledge, to guide practitioners on critical dimensions to carefully consider in their improvement actions. As such, it enables concurrently to support the enhancement of scientific research on this strategic issue in the industry, but in all sectors considered. Besides, the paper also entails significant methodological contributions, by formalizing a research procedure, based on most prominent guidelines, for the action-research based development of a maturity model, which has not been found in the extant research.

Finally, the development of this architecture model opens significant practical and research perspectives. In this regard, the advancement of the model, with possibly transfer of best practices from other sectors and its operational deployment represent logical and relevant continuations of this research. Beyond, the extension of the model towards a more widely maturity assessment tool, to guide companies in this sustainability transition along with the complementary formalization of a scientific industry roadmap would provide considerable practical and scientific contributions on and for its effective transformation.

References

- ADEME (2023). Environmental labelling in the clothing and footwear sector: experimentation 2021/2022. Available at: [link](#) (Accessed on 19 May 2023).
- Almeida Santos, D. ; Luiz Gonçalves Quelhas, O.; Francisco Simões Gomes, C.; Perez Zotes, L.; Luiz Braga França, S.; Vinagre Pinto de Souza, G.; Amarante de Araújo, R.; da Silva Carvalho Santos, S. (2020). Proposal for a Maturity Model in Sustainability in the Supply Chain. *Sustainability*, 12, 9655.
- AMFORI (2023). Amfori BSCI Platform. Available at: [access link](#) (Accessed on 28 May 2023).
- Agreement on Sustainable Garments and Textile (ASGT) (2023). Practical Guide for Companies on IRBC and OECD Due Diligence. Available at: [access link](#) (Accessed on 28 May 2023).
- Association Française de Normalisation (AFNOR) (2023). Corporate Social Responsibility e-Commitment Label. Available at: [access link](#) (Accessed on 31 May 2023).
- B Corp (2023). B Impact Assessment. Available at [access link](#) (Accessed on 28 May 2023).
- Becker, J.; Knackstedt, R. & Pöppelbuß, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1, 213–222.
- Betti, F.; Hinkel, J.; Saenz, H. (2021). Digital Traceability: a Framework for More Sustainable and Resilient Value Chains. *World Economic Forum*. Available at: [access link](#) (Accessed on 26 May 2023)
- Crosby P.B. (1979) *Quality is Free: The Art of Making Quality Certain*, McGraw-Hill, New York, 1979.
- Baumgartner, R. J., & Ebner, D. (2010). Corporate sustainability strategies : Sustainability profiles and maturity levels. *Sustainable Development*, 18(2), 76-89.
- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company (2021). *The Year Ahead: What Product Passports Will Do for Brands*. Available at: www.businessoffashion.com (Accessed on 20 May 2023).
- Cagnin, C-H.; Loveridge, D.; Butler, J. (2005). Business Sustainability Maturity Model. Available at: hwww.crrconference.org (Accessed on 31 May 2023).
- Cambridge Dictionary (2023). Definition of "maturity". Available at : [link](#) (Accessed on 5 February 2023).
- CIRPASS Digital Product Passport (2023). D3.1 Benchmark of Existing DPP-Oriented Reference Architectures. Funded by the European Union. [access link](#) (Accessed on 27 May 2023).
- CIRPASS (2022). CIRPASS – Shaping the Future of the Digital Product Passport. Available at: [link](#) (Accessed on 20 May 2023).
- Correia, E., Carvalho, H., Azevedo, S., & Govindan, K. (2017). Maturity Models in Supply Chain Sustainability: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 9(1), 64.
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 220-240.
- Cornell, S.; Häyhä, T.; Palm, C. (2021). *A Sustainable and Resilient Circular Fashion and Textiles Industry. Towards a Circular Economy that Respects and Responds to Planetary Priorities*. Stockholm Resilience Centre. Disponible sur : [access link](#) (Accessed on 23/01/2023).
- Correia, E.; Carvalho, H.; Azevedo, S.G.; Govindan, K. (2017). Maturity Models in Supply Chain Sustainability: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 9(1):64.

- Crowley, J.; Rademan, K.; Tan, E. (2022). The Textile Tracer Assessment: an Analysis and User Guide for Physical Tracer Technologies in the Textile Industry. Fashion for Good & Textile Exchange. Available at : <https://reports.fashionforgood.com> (Accessed on 29 July 2022).
- De Bruin, T.; Freeze, R.; Kaulkarni, U.; Rosemann, M. (2005). "Understanding the main phases of developing a maturity assessment model", Australasian Conference on Information Systems (ACIS), 30 November – 2 December 2005, New South Wales, Sydney
- Doorey, D.J. (2011). The transparent supply chain: from resistance to implementation at Nike and Levi-Strauss. *Journal of Business Ethics*, 103(4), 587-603.
- Doyle (2022). The Traceability Playbook for Fashion Supply Chains. Trustrace. Available at: <https://trustrace.com> (Accessed on 15 July 2022).
- Egels-Zandén, N., Hulthén, K., & Wulff, G. (2015). Trade-offs in supply chain transparency: The case of Nudie Jeans Co. *Journal of Cleaner Production*, 107, 95-104.
- Eisner, E.; Hsien, C.; Mennenga, M.; Khoo, Z.-Y.; Dönmez, J.; Herrmann, C.; Low, J.S.C. Self-(2022). Assessment Framework for Corporate Environmental Sustainability in the Era of Digitalization. *Sustainability*, 14, 2293.
- European Commission (EC) (2023a). EU strategy for sustainable and circular textiles. Available at: <https://environment.ec.europa.eu> (Accessed on 31 May 2023).
- European Commission (EC) (2023b). Corporate Sustainability Reporting. Available at: <https://finance.ec.europa.eu> (Accessed on 28 May 2023).
- European Commission (EC) (2022a). Corporate Sustainability Due Diligence. Fostering sustainability in corporate governance and management systems. Available at: <https://commission.europa.eu> (Accessed on 28 May 2023).
- European Commission (EC) (2022b). Deforestation-Free Products. Available at: <https://environment.ec.europa.eu> (Accessed on 28 May 2023).
- European Commission (EC) (2023). Proposal for a Directive on Green Claims. Available at: <https://environment.ec.europa.eu> (Accessed on 30 May 2023).
- European Commission (EC) (2022). Proposal for Ecodesign for Sustainable Products Regulation. Available at: <https://commission.europa.eu> (Accessed on 20 May 2023).
- European Commission (EC) (2022c). Ecodesign for Sustainable Products. Available at: <https://commission.europa.eu> (Accessed on 28 May 2023).
- Fashion for Good (2019) Successfully Tracing Organic Cotton with Innovative Technologies. Available online: <https://fashionforgood.com> (Accessed on 20 September 2021).
- Fair Labor Association (FLA) (2022a). Recommendations for Stakeholder and Civil Society Organisation Engagement. Fair Labor Association, IRBC Agreements, Agreement on Sustainable Garments and Textile, supported by SER. Available at: access link (Accessed on 27 May 2023).
- Fair Labor Association (FLA) (2022b). Supply Chain Mapping. Steps and Recommendations for Garment Production Units. Fair Labor Association, IRBC Agreements, Agreement on Sustainable Garments and Textile, supported by SER. Available at : access link (Accessed on 27 May 2023).
- Fair Labor Association (FLA) (2017). Supply Chain Mapping, Transparency, Traceability-1.0. Available at: www.fairlabor.org
- Farsan, A.; Chang, A.; Kerkhof, A.; Cserna, B.; Yan, C.; Rangel Villasana, F.; Labutong, N. (2018). Value Change in the Value Chain: Best Practices In Scope 3 Greenhouse Gas Management. Version 3.0. Science Based Targets Initiative, Navigant & Gold Standard. <https://sciencebasedtargets> (Accessed on 31 May 2023).
- Fashion Revolution (2022). Fashion Transparency Index 2022 Edition. Available at: access link (Accessed on 25 May 2023).
- Franck et al. (2022). Industry-Aligned Action Plan: Digital ID to Scale Circular Systems. Available at: <https://www.eon.xyz> (Accessed on 27 May 2023).
- Garcia-Torres, S., Rey-Garcia, M., Sáenz, J., & Seuring, S. (2021). Traceability and transparency for sustainable fashion-apparel supply chains. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, ahead-of-print (ahead-of-print).

- Global Fashion Agenda (GFA) (2017). Pulse of the Fashion Industry. Available: <https://globalfashionagenda.org> (Accessed on 29 May 2023).
- Global Reporting Standards (2023). Available at : [access link](#) (accessed on 27 May 2023).
- Haegglblom, J.; Palmer, C. (2019). Circularity.ID. The Transformation to Data-Driven Circularity in Fashion. Available at: <https://circularity.id> (Accessed on 31 May 2023).
- Hynds, E. J., Brandt, V., Burek, S., Jager, W., Knox, P., Parker, J. P., Schwartz, L., Taylor, J., & Zietlow, M. (2014). A Maturity Model for Sustainability in New Product Development. *Research-Technology Management*, 57(1), 50-57.
- Initiative for Compliance & Sustainability (ICS). Available at : [access link](#) (Accessed on 29 May 2023).
- ISO 26000:2010 (2020). Social Responsibility. Available at: www.iso.org (Accessed on 29 May 2023).
- Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Gozacan-Chase, N., Lafci, C., & Batista, L. (2022). Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises. *Journal of Business Research*, 149, 375-392.
- Kearney (2022). Fashion Perspective: the Counterweights of Traceability. Available at: [access link](#) (consulté le 5 juin 2023).
- Kohlegger, M., Maier, R.; Thalmann, S. (2009). Understanding Maturity Models. Results of a Structured Content Analysis. Conference: I-KNOW '09 and I-SEMANTICS '09. Available at: www.researchgate.net
- Klimko, G. (2001). Knowledge Management and Maturity Models: Building Common Understanding. *Proceedings of the 2nd European Conference on Knowledge Management*, 2001, pp. 269–278.
- Gavard-Perret, M-L. ; Gotteland, D.; Haon, C.; Jolibert, A. (2018). *Méthodologie de la Recherche en Sciences de Gestion*. 3ème Edition. Pearson Education. France.
- Gonçalves Machado, C.; Pinheiro De Lima, E.; Gouvea Da Costa, S. ; Angelis, J-J. (2015). A maturity framework for sustainable operations management. *The International Conference for Production Research (ICPR23)*.
- McBride, T. (2010). Organisational theory perspective on process capability measurement scales, *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 22, 243–254.
- Merton, R.K., Fiske, M. and Kendall, P.L. (1990) *The Focused Interview: A Manual of Problems and Procedures*. 2nd Edition, Free Press, New York.
- Morlet, A.; Opsomer, R.; Herrmann, S.; Gillet, C.; Fuchs, L. (2017). A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future. Ellen MacArthur Foundation (EMF) & Circular Fibres Initiative. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org> (Accessed on 31 May 2023).
- Musante, K.; Dewalt, B.R. (2010). *Participant Observation: A Guide for Fieldworkers*. AltaMira Press. United Kingdom.
- Nolan, R.L. (1979). Managing the Crisis in Data Processing, *Harvard Business Review*. 57, 115–126
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2018). *OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains in the Garment and Footwear Sector*. Available at : www.oecd.org (Accessed on 28 May 2023).
- Okongwu, U., Morimoto, R., & Lauras, M. (2013). The maturity of supply chain sustainability disclosure from a continuous improvement perspective. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62(8), 827-855.
- Open Supply Hub (2023). Available at: <https://opensupplyhub.org/> (Accessed on 5 May 2023).
- Paulk, M.C. Curtis, B. Chrissis, M.B. Weber, C.V. (1993). *Capability Maturity ModelSM for Software, Version 1.1*, Technical Report, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania, 1993.
- Peng, X., Kurnia, S., & Cui, T. (2021). IT-Enabled Sustainable Supply Chain Management Capability Maturity. *Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Pigosso, D. C. A., Rozenfeld, H., & McAloone, T. C. (2013). Ecodesign maturity model : A management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 59, 160-173.
- Product Environmental Footprint (PEF) Apparel & Footwear (2023). Available at: <https://pefapparelfootwear.eu/> (Accessed on 31 May 2023).
- Reason, P., & Bradbury, H. (2008). *The SAGE Handbook of Action Research*. SAGE Publications Ltd.

- Rahim, M-M.; Kurnia, S; Singh, P.; Samson, D-A. (2014). Developing an It Maturity Model for Sustainable Supply chain Management Implementation. Available at: www.researchgate.net (Accessed on 31 May 2023).
- Reefke, H., Ahmed, M. D., & Sundaram, D. (2014). Sustainable Supply Chain Management—Decision Making and Support : The SSCM Maturity Model and System. *Global Business Review*, 15(4_suppl), 1S-12S.
- Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lassagne, M., & Lamouri, S. (2023). Apprehending traceability implementation in support of sustainable value chains : A novel analysis framework for the fashion industry. *Journal of Cleaner Production*, 137501.
- Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lamouri, S., & Garnier, L. (2021). A Delphi-Régner Study Addressing the Challenges of Textile Recycling in Europe for the Fashion and Apparel Industry. *Sustainability*, 13(21), 11700.
- Shewhart, W.A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, Macmillan, London, 1931.
- Sari, Y., Hidayatno, A., Suzianti, A., Hartono, M., & Susanto, H. (2021). A corporate sustainability maturity model for readiness assessment : A three-step development strategy. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(5), 1162-1186.
- Sedex (2023). Sustainable Data Software Platform. Available at: <https://www.sedex.com> (Accessed on 23 May 2023).
- Srai, J. S., Alinaghian, L. S., & Kirkwood, D. A. (2013). Understanding sustainable supply network capabilities of multinationals : A capability maturity model approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227(4), 595-615.
- Strauss, A.; Corbin, J.M. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Sage Publications.
- Sustainable Apparel Coalition (2023). Available at: <https://apparelcoalition.org/the-higg-index/> (Accessed on 23 May 2023).
- Trace4Value (2023). Digital Product Passport in Textiles. Available at: <https://trace4value.se> (Accessed on 20 May 2023).
- United Nations Global Compact (UNGC) & Business and Social Responsibility (BSR) (2015). *Supply Chain Sustainability: A Practical Guide for Continuous Improvement, Second Edition*. Available at: <https://unglobalcompact.org/library/205> (Accessed on 23 May 2023).
- Webb, B. (2023a). France has laid down the law on sustainability: What does it mean for fashion? *Vogue Business*. Available at: www.voguebusiness.com (Accessed on 31 May 2023).
- Webb, B. (2023b). Is it Time to Hire a Head of Traceability? *Vogue Business*. Available at: www.voguebusiness.com (Accessed on 28 May 2023).
- Webber, R.P. (1990). *Basic Content Analysis*. Sage Publications. London.
- Weerabahu, W. M. S. K., Samaranayake, P., Nakandala, D., & Hurriyet, H. (2022). Digital supply chain research trends : A systematic review and a maturity model for adoption. *Benchmarking: An International Journal*. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print.
- Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research : A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 54(12), 1317-1339.

Chapitre 5

Limites & perspectives des recherches

Pour clôturer ce manuscrit, ce dernier chapitre propose une discussion sur les limites des recherches menées, et au regard de celles-ci, quant aux perspectives pratiques et scientifiques. En effet, cette thèse portait sur un enjeu majeur de transformation, dans l'industrie de la mode, pour sa transition vers un développement durable. Compte tenu de l'ampleur de la problématique de la mise en œuvre de la traçabilité à cet égard et sur l'ensemble de la chaîne de valeur, et par conséquent de sa complexité, ces recherches présentent des limites qui doivent être soulignées. Néanmoins, cette thèse a tenté de contribuer à l'élaboration de fondations qui sont apparues indispensables pour le développement de la recherche et des pratiques en vue de son amélioration dans l'industrie. Dès lors, les différentes contributions de cette thèse et les limites rencontrées ont permis l'identification et la formalisation de perspectives scientifiques et pratiques significatives et étroitement liées, pour la progression de la mise en œuvre de la traçabilité par les praticiens et de la recherche.

Dès lors, la première section de ce chapitre présente les principales limites des recherches menées ([5.1](#)) et la deuxième section détaille par la suite les perspectives identifiées en conséquence ([5.2](#)).

5.1. Principales limites des recherches menées

Cette première sous-section décrit les principales limites identifiées, tant d'un point de vue du sujet étudié, de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie de la mode, que des différentes recherches menées pour contribuer à sa meilleure compréhension et à son amélioration. Dès lors, la première limite importante qu'il convient de mettre en avant est celle même de la mise en œuvre de la traçabilité comme levier de développement durable de l'industrie (5.1.1). En effet, bien qu'ayant un rôle clé, celle-ci doit nécessairement s'accompagner d'actions concurrentes pour une transition effective de l'industrie. D'autre part, la mise en œuvre d'une telle traçabilité de bout en bout étant un phénomène profondément émergent et multidimensionnel, impliquant nécessairement des limites dans les différentes recherches menées (5.1.2).

5.1.1. Limite inhérente au sujet étudié : de nécessaires actions concurrentes à la traçabilité pour un développement durable de l'industrie

Tout d'abord, une des principales limites identifiées est celle même de la mise en œuvre de la traçabilité pour un développement durable de l'industrie, qui bien qu'ayant un rôle clé qu'il a été tenté de préciser, doit nécessairement s'inscrire plus largement dans un ensemble d'actions concurrentes et dans une démarche de réduction de l'augmentation et de l'accélération actuelles de la production et de la consommation pour assurer une transition effective de l'industrie.

- **La réduction et l'amélioration des impacts environnementaux et sociaux nécessitent des changements, solutions et investissements importants concurrents**

Malgré le rôle significatif de la traçabilité reconnu pour un développement durable de l'industrie à travers les différents objectifs et applications associées présentées tout au long de la chaîne de valeur (Riemens et al., 2023), il est évident que celle-ci n'est pas suffisante en tant que telle et qu'elle doit s'inscrire en soutien des solutions concurrentes nécessaires pour la transition de l'industrie (Ley et al., 2021).

- **Une des problématiques majeures demeure celle de l'augmentation et de l'accélération de la production et de la consommation dans l'industrie**

D'autre part, il est évident que pour être effective, sa mise en œuvre doit s'inscrire plus largement dans une démarche de réduction de l'augmentation et de l'accélération et de la production et de la consommation dans l'industrie. À cet égard, les différents rapports ayant estimé les émissions de GES et ainsi l'impact sur le changement climatique de l'industrie et sa projection ont clairement démontré que cette augmentation est à l'origine de son accroissement, qui est amené à se poursuivre de façon considérable si de telles tendances ne sont pas enrayerées (Berg et al., 2020 ; Sadowski et al., 2021 ; Chrobot et al., 2018).

Celles-ci conduisent également à une faible durabilité des produits et une baisse de leur utilisation, impliquant une augmentation des volumes de produits collectés en fin de vie et de moins bonne qualité avec des conséquences sociales et environnementales désastreuses du fait de leur exportation massive à l'étranger (Changing Markets Foundation, 2023). Aussi, cette même augmentation et accélération est donc directement à l'origine d'impacts sociaux significatifs tout au long de la chaîne de valeur (Changing Markets Foundation, 2022 ; Kashyap, 2019). Dès lors, au-delà de la traçabilité et des actions concurrentes nécessaires à engager pour la réduction de l'impact de l'industrie, cette baisse de la production et de la consommation sont indispensables pour remédier de façon

significativement à celui-ci (Sadowski et al., 2021) et assurer une transition durable du secteur tant sur plan environnemental que social.

5.1.2. Limites des recherches menées : le phénomène émergent et multidimensionnel de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables

Tout au long de ce manuscrit, il a pu être mis en évidence la nature profondément émergente et complexe de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables, du fait des multiples dimensions associées (Riemens et al., 2023 ; Betti et al., 2021 ; UNECE, 2020). Face à ces constats, et au regard des difficultés impliquées dans la gestion de sa mise en œuvre par les praticiens, ainsi que du caractère fragmenté et embryonnaire de la recherche en résultant, une perspective holistique a été adoptée pour contribuer à la meilleure compréhension du phénomène dans son ensemble, et ainsi, à la proposition de solutions utiles et cohérentes. Dès lors, compte tenu de l'ampleur du sujet et de sa multidisciplinarité significative, il est évident que cette thèse n'a pas pu couvrir l'ensemble, et de façon approfondie, des enjeux de traçabilité dans l'industrie pour son développement durable (5.1.2.1), des dimensions impliquées dans sa mise en œuvre (5.1.2.2) et des capacités, exigences et critères clés de succès à considérer à cette fin (5.1.2.3).

5.1.2.1. Un approfondissement essentiel des enjeux de traçabilité

Bien que la première année de la thèse ait consisté en l'appréhension des enjeux de traçabilité pour la progression vers un développement durable dans l'industrie, avec une étude spécifique sur la fin de vie pour l'amélioration du recyclage textile, qui ont par la suite été développés à l'occasion de la revue systématique de la littérature (Riemens et al., 2023a) puis intégrés dans le développement de l'architecture du modèle de maturité (Riemens et al., 2023b), ces enjeux n'ont pas toutefois pas fait l'objet d'un article spécifique. Or, compte tenu de la multiplicité et de l'importance de ces enjeux, la formalisation de leur identification holistique et approfondie s'avère indispensable pour guider les entreprises dans la mise en œuvre de la traçabilité, ce qui permettrait ainsi de contribuer au développement du modèle de maturité initié, mais également à la définition d'actions nécessaires au niveau collectif pour son amélioration et son déploiement effectif.

Par exemple, il a pu être souligné dans les différentes contributions de recherche, l'enjeu important de la standardisation des données et de l'interopérabilité des systèmes d'information pour faciliter leur échange (Riemens et al., 2023a ; UNECE, 2023 ; UNECE, 2020 ; Kumar et al., 2017), ce qui implique nécessairement des actions collectives pour le développement et le déploiement de tels standards. Aussi, l'identification étayée et commune de ces enjeux permettrait ainsi la formalisation d'une feuille de route claire des priorités critiques pour l'amélioration de la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur, en vue de la prise de décision et d'actions collectives éclairées à l'échelle de l'industrie. Cependant, la formalisation d'une telle analyse exhaustive et approfondie ne pouvait être réalisée dans le cadre de cette thèse, au vu de l'ampleur des recherches qui nécessiteraient d'être menées et des diverses méthodes qualitatives et quantitatives qui devraient être mobilisées à cette fin. À cet égard, le chercheur a fait part de cette nécessité dans le cadre du projet collectif national (projet n°2) dans lequel il était impliqué, et des travaux ont été réalisés à cette fin, à travers des ateliers collaboratifs avec les entreprises, pour mieux identifier les principaux défis de l'amélioration de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement rencontrés par les diverses parties prenantes.

Dès lors, cette limite met toutefois en évidence la perspective d'une étude scientifique dédiée, dans la continuité de ces premiers travaux engagés, qui présenterait ainsi des contributions significatives à la fois sur le plan pratique et scientifique et ce qui sera donc développé dans la seconde section de ce chapitre.

5.1.2.2. Des expérimentations complémentaires opportunes du cadre d'analyse

Le cadre d'analyse développé dans le cadre de cette thèse, pour améliorer l'appréhension de la traçabilité et de sa mise en œuvre vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie, présente également des limites qu'il convient de souligner. En effet, ce cadre a été développé à partir de la revue de la recherche scientifique et des principales références dans la littérature grise sur le secteur. Bien que celles-ci soient émergentes, leurs développements significatifs, tout particulièrement ces deux dernières années, ainsi que l'absence d'état de l'art holistique sur le sujet, ont conduit à la conclusion de la nécessité et de l'opportunité de formaliser ces connaissances et de développer un cadre d'analyse initial à partir de celles-ci. De plus, les projets collectifs et les expérimentations associées s'étant principalement déroulés dans le courant de la deuxième année, le chercheur ne disposait pas encore de données empiriques suffisamment conséquentes à ce moment de la thèse pour s'appuyer sur celles-ci pour son élaboration. Dès lors, il a été considéré que ce cadre d'analyse consisterait une première tentative de systématisation de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durable dans l'industrie, appuyée sur une analyse scientifique itérative et inductive de la littérature, qui donnerait une première base nécessaire pour son expérimentation par la suite. Une telle expérimentation formelle n'a toutefois pas pu être réalisée dans le cadre de la thèse, mais ce cadre d'analyse a été partagé à de nombreuses occasions auprès des praticiens et a fait l'objet de retours positifs.

Néanmoins, des expérimentations dédiées complémentaires doivent être menées pour confirmer sa validité, et l'amender ou le préciser, en vue du développement d'une vision claire et partagée de la traçabilité et de sa mise en œuvre au regard des enjeux de développement durable dans l'industrie qui fait aujourd'hui défaut, ainsi que dans la recherche. Cela ouvre, à nouveau, une perspective importante pour la suite, qui sera également développée dans la seconde section de ce chapitre.

5.1.2.3. De nécessaires développements et tests du modèle de maturité

Enfin, l'architecture du modèle de maturité élaborée, en vue de guider les marques dans la mise en œuvre d'une telle traçabilité, nécessite également des développements et des expérimentations complémentaires pour permettre sa finalisation et confirmer sa validité. En effet, compte tenu de son émergence et de sa nature multidimensionnelle, certaines sous-dimensions n'ont pas pu être précisées, comme sur la gestion de l'architecture technologique et des données, et les niveaux de maturité n'ont pas pu tous être totalement définis. D'autre part, il est fort probable, pour ces mêmes raisons, que certaines dimensions et sous-dimensions soient manquantes dans l'architecture du modèle développé. Pour autant, il a été tenté autant que possible, d'intégrer les sources de données les plus pertinentes, au-delà des retours des projets, des échanges dédiés et des interactions sur le terrain, et de les croiser, pour s'appuyer sur les meilleures connaissances existantes et garantir la validité de cette élaboration. De plus, le chercheur a également confronté, autant que possible et au fur et à mesure de cette élaboration, les différentes dimensions et sous-dimensions identifiées à travers les discussions avec les praticiens dans le cadre des projets, échanges et interactions, qui ont permis d'appuyer progressivement leur formalisation. Cependant, cette architecture nécessite des développements et des expérimentations complémentaires sur le terrain, pour l'amendement et le développement éventuels des dimensions et sous dimensions identifiées, la finalisation des niveaux de maturité ainsi que la confirmation de sa validité. De plus, ces tests du modèle sont également nécessaires pour intégrer les retours d'expérience de son application, en vue de la conduite de son déploiement opérationnel par la suite dans les entreprises et notamment de la gestion du changement nécessaire associée. Néanmoins, cette architecture de modèle offre à nouveau une première base, qui s'est avérée indispensable pour concevoir une structure réfléchie et robuste en vue d'accompagner l'amélioration de la gestion du déploiement de la traçabilité par les praticiens et qui

nécessitait des développements itératifs significatifs, mais qui aboutit également à d'importantes perspectives de recherche pour la continuité de son développement.

Dès lors, les différentes perspectives pratiques et scientifiques sont présentées dans la deuxième section suivante de ce chapitre.

5.2. Mise en évidence d'importantes perspectives pratiques et scientifiques

Les différentes contributions de cette thèse, ainsi que les principales limites présentées, ont permis l'identification et la formalisation de perspectives significatives tant pratiques que scientifiques, tout en étant étroitement liées, pour l'amélioration de la mise en œuvre de la traçabilité vers des chaînes de valeur durables dans l'industrie et sa meilleure connaissance. Ces principales perspectives sont ainsi les suivantes et sont présentées dans les prochaines sous-sections :

- L'expérimentation du cadre d'analyse en vue d'une compréhension claire et partagée de la traçabilité et de sa mise en œuvre tout au long de la chaîne de valeur ([5.2.1](#))
- La définition d'une feuille de route commune de transition de développement durable de l'industrie et de la traçabilité des chaînes de valeur en conséquence ([5.2.2](#))
- Le développement et déploiement de standards pour une amélioration uniforme et effective de la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable dans l'industrie ([5.2.3](#))
- La formalisation de l'identification des outils, méthodes et solutions pour l'amélioration de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur ([5.2.4](#))
- La réflexion sur l'organisation et la gouvernance des échanges de données nécessaires pour la mise en place d'un écosystème viable de traçabilité dans l'industrie ([5.4.5](#))
- La poursuite des expérimentations, la centralisation et le partage des enseignements et des bonnes pratiques pour l'accélération de la traçabilité dans l'industrie ([5.4.6](#))
- La finalisation du modèle de maturité et son extension plus largement à la mise en œuvre d'une transition de développement durable ainsi que son expérimentation ([5.4.7](#))

5.2.1. Expérimentation du cadre d'analyse pour une compréhension claire et partagée de la traçabilité et de sa mise en œuvre tout au long de la chaîne de valeur

Tout d'abord, au regard des limites présentées et de l'importante confusion autour de la traçabilité et de sa mise en œuvre tant dans l'industrie et dans la recherche, des expérimentations dédiées du cadre d'analyse développé apparaissent opportunes pour poursuivre les recherches menées et corroborer sa validité scientifique ainsi qu'auprès des professionnels. À cet égard, les difficultés que soulève cette absence de compréhension partagée et de langage commun sur la traçabilité ont été réitérées à l'occasion des échanges conclusifs dans le cadre du projet national (projet n°2) dans lequel le chercheur était impliqué. Dès lors, ces expérimentations scientifiques complémentaires permettraient le déploiement opérationnel de ce cadre d'analyse par la suite, et celui-ci serait alors bénéfique dans la pratique à plusieurs titres, tant dans les entreprises qu'à l'échelle collective (e.g. outil pédagogique et de gestion du changement, outil de benchmark, cadre commun dans les différents projets collectifs menés...). Aussi, ce cadre pourrait également être expérimenté auprès d'autres secteurs industriels. De plus, sa validation empirique permettrait de contribuer à cette structuration nécessaire de la recherche scientifique qui s'avère extrêmement fragmentée. En effet, la traçabilité nécessite de pouvoir être considérée de façon systémique, pour permettre la conduite de revues de la littérature, préciser les perspectives scientifiques les plus significatives, ainsi que permettre le dialogue indispensable entre les disciplines pour son étude et son amélioration dans la pratique.

5.2.2. Définition et formalisation d'une feuille de route commune de transition de développement durable de l'industrie et de la traçabilité des chaînes de valeur

Un autre défi important identifié dans la mise en œuvre de la traçabilité sur le terrain a été celui de l'absence de feuille de route holistique et commune de transition de développement durable et de traçabilité des chaînes de valeur dans l'industrie. En effet, bien que des coalitions pour la transition de l'industrie vers un développement durable aient été mises en place et aient développé des plans d'action à cette fin, ces derniers se concentrent essentiellement sur la dimension environnementale (UNFICCA, 2022 ; Fashion Pact, 2019) ne permettant donc pas une vision nécessairement holistique et commune de sa mise en œuvre (UN, 2015). Dès lors, une feuille de route sur les principales catégories d'impacts environnementaux et sociaux dans l'industrie, et des ambitions de transition associées, permettrait la définition et la mise en place d'objectifs et d'actions uniformes notamment sur la traçabilité dont la mise en œuvre se heurte à d'importantes difficultés notamment pour cette raison. La définition d'une telle feuille de route, s'appuyant sur les développements existants, devrait nécessairement reposer sur une démarche scientifique. Dès lors, elle constitue une perspective de recherche ambitieuse qui a été identifiée et qui aurait des impacts pratiques significatifs. À cet égard, la définition de cette feuille de route, quant à la traçabilité, nécessiterait l'identification concurrente des enjeux de sa mise en œuvre précédemment mentionnée, en vue de définir de façon éclairée les actions nécessaires et prioritaires à mettre en place notamment au niveau collectif (e.g. financement, sensibilisation et engagement des acteurs, innovation...) en vue de l'atteinte des ambitions. En outre, une telle recherche exhaustive et approfondie quant à ces enjeux permettrait de guider les acteurs sur les plus critiques à prendre en compte, et par conséquent, de contribuer également au développement du modèle de maturité initié.

5.2.3. Développement de standards pour une amélioration uniforme et effective de la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable dans l'industrie

Dans le cadre de ces recherches et à travers les différents projets expérimentaux, le manque de standardisation des données à collecter et partager est ressorti comme un frein significatif à l'amélioration de la traçabilité, notamment en vue de permettre l'interopérabilité entre les différents systèmes d'information entre les acteurs tout au long de la chaîne de valeur et les différentes bases de données existantes dans l'industrie (AMFORI, 2023; ICS, 2023; Open Supply Hub, 2023; Sedex, 2023; Sustainable Apparel Coalition, 2023). Au-delà des aspects techniques, une telle standardisation nécessite en premier lieu l'identification d'un modèle des données nécessaires à collecter et échanger pour la progression de l'industrie vers un développement durable, qui fait aujourd'hui défaut. D'autre part, à l'occasion de l'élaboration du modèle de maturité, il a également été constaté l'opportunité, plus largement, de centraliser les différents standards existants sur les différents leviers impliqués dans sa mise en œuvre, comme en matière de politiques d'achats ou de sourcing, et d'en développer éventuellement en l'absence.

À cet égard, le modèle de maturité visant justement à identifier et formaliser les capacités, prérequis et facteurs clés de succès pour la mise en œuvre de la traçabilité pourrait alors servir de base utile pour l'identification de ces besoins de standardisation, et ceux-ci pourraient ainsi faire l'objet de recherches dédiées.

5.2.4. Formalisation de l'identification des outils, méthodes et solutions pour l'amélioration de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur

À l'occasion de ces recherches et des différents projets expérimentaux, il a aussi pu être constaté la multiplicité et la diversité des solutions technologiques pour l'amélioration de la traçabilité tout au long des chaînes de valeur, et en conséquence, des nombreux offreurs de solutions existants (UNECE, 2022 ; Doyle, 2022 ; Franck et al., 2022),

rendant ainsi leur appréhension difficile pour les entreprises dans l'industrie, mais également plus largement (Betti et al., 2021). Ces différents offreurs de solutions technologiques ont progressivement été identifiés dans le cadre de ces recherches, avec pour objectif principal de mieux comprendre les différentes applications existantes et uniquement de permettre leur appréhension par les entreprises dans le cadre du modèle de maturité. Par exemple, sur la question de la vérification des données, un des niveaux de maturité identifiés correspond à la cartographie des solutions existantes à cette fin par rapport aux objectifs de traçabilité envisagés. En outre, au regard du déploiement émergent de ces solutions et des multiples dimensions à considérer pour leur sélection (UNECE, 2020) impliquant une compréhension très approfondie de celles-ci, il n'était pas possible et pertinent de les formaliser avec leurs différentes caractéristiques et de suggérer celles qui seraient les plus appropriées. Néanmoins, la formalisation et la mise à disposition des entreprises d'une telle étude approfondie des différentes solutions technologiques, des offreurs de solutions correspondants et de leurs caractéristiques, seraient utiles pour faciliter leur compréhension. De telles études ont commencé à être réalisées sur certains types de solutions comme les traceurs physiques (Crowley et al., 2022). De plus, au-delà des solutions technologiques, de nombreux outils et méthodes pourraient être utiles pour faciliter le déploiement de la traçabilité, comme des matrices pour l'identification des données à collecter et leur priorisation par exemple (Betti et al., 2021). Dès lors, la cartographie de l'ensemble de ces différentes solutions technologiques, outils et méthodes représente une autre opportunité importante de recherche identifiée, qui serait à nouveau utile pour la pratique. À cet égard, elle permettrait d'alimenter le modèle de maturité, en permettant leur identification dans les dimensions correspondantes. Sur le plan scientifique, une telle cartographie permettrait également leur meilleure connaissance pour la recherche, ainsi que l'identification complémentaire de perspectives d'expérimentations.

5.2.5. Réflexion sur la structuration des échanges de données dans l'industrie pour la mise en place d'un écosystème viable de traçabilité

Comme évoqué dans le chapitre dédié au modèle de maturité, la mise en œuvre de la traçabilité implique une réflexion stratégique quant à l'architecture technologique et la gestion des données au regard des systèmes d'information internes dans les entreprises ainsi que des solutions digitales pour faciliter la collecte, le partage et la gestion des données tout au long de la chaîne. Néanmoins, au-delà, de nombreuses bases de données existent en parallèle dans l'industrie en vue de favoriser leur mutualisation (AMFORI, 2023; ICS, 2023; Open Supply Hub, 2023; Sedex, 2023; Sustainable Apparel Coalition, 2023). Dès lors, l'amélioration de la traçabilité soulève plus largement, à l'échelle de l'industrie, la problématique de la structuration des données nécessaires à partager, afin de faciliter leurs échanges, éviter les multiples saisies, et optimiser leur mutualisation, en vue de permettre la mise en place d'un écosystème viable de traçabilité à long terme (Betti et al., 2021). À nouveau, il s'agit d'une perspective aux implications importantes, mais pertinentes pour la pratique et recherche. Dans tous les cas, il s'agit d'une problématique significative qui a été identifiée dans la pratique et qui mériterait une réflexion et la mise en place d'actions dédiées.

5.2.6. Poursuite d'expérimentations collectives, centralisation des retours d'expérience et des bonnes pratiques pour l'amélioration de la traçabilité

Une autre perspective importante, tant pour la pratique que la recherche, est celle de la poursuite d'expérimentations collectives du déploiement de solutions technologiques et leur étude, ainsi que plus largement, de démarches d'amélioration de la traçabilité tout au long de la chaîne de valeur en vue d'en améliorer la compréhension et notamment des différents freins et leviers associés. Ces retours d'expérience et les bonnes pratiques identifiées permettraient ainsi, sur le plan pratique, d'apporter des connaissances bénéfiques pour guider les entreprises dans de telles démarches, mais également pour préciser et développer la prise d'actions au niveau collectif. À cet égard, ces enseignements permettraient à nouveau d'alimenter le modèle de maturité initié.

Concernant la mise en œuvre de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement, la poursuite d'expérimentations collectives sur le déploiement industriel de plateformes digitales, mais également d'autres solutions technologiques qui se développent comme les traceurs physiques seraient utiles, tant sur le plan pratique que de la recherche, pour mieux prendre la mesure des prérequis de leur mise à l'échelle et des facteurs de motivation clés pour l'engagement des acteurs. En aval, il apparaît également important de développer les expérimentations pour la mise en place de passeports produits digitaux, en vue d'améliorer la connaissance encore très limitée des freins et leviers pour leur déploiement. À cet égard, témoignant de la multidisciplinarité nécessaire pour l'amélioration de la traçabilité, il apparaît important de mener des recherches consommateurs pour mieux connaître la réaction de ces derniers par rapport à ces passeports digitaux et aux informations communiquées (Creux-Martelli et al., 2023). De plus, il apparaît indispensable de mener des études scientifiques précisément par rapport aux consommateurs, face à la facilitation poursuivie et qui sera offerte à travers ces passeports digitaux à l'accès à des services notamment de revente, au regard du risque d'effet rebond et d'exacerbation des pratiques de surconsommation. Enfin, compte tenu du fait que le déploiement de tels passeports digitaux est émergent et prendra nécessairement du temps pour leur déploiement à grande échelle, une autre perspective identifiée est celle de l'expérimentation de solutions alternatives et potentiellement complémentaires pour l'amélioration de l'identification des composants des produits en fin de vie (Riemens et al., 2021).

5.2.7. Finalisation du modèle de maturité et extension à la mise en œuvre plus largement d'une transition de développement durable

Enfin, la dernière perspective importante identifiée est celle de la finalisation du modèle de maturité et son expérimentation opérationnelle sur le terrain. En effet, ces recherches ont permis l'élaboration d'une méthodologie de recherche pour son élaboration, à partir des références scientifiques et exigences essentielles en la matière, ainsi qu'une première architecture de modèle. Celle-ci a résulté d'un processus de réflexion approfondie et de développement itératif, à partir du croisement de diverses sources de données, en vue de proposer une première ébauche de modèle pertinente et robuste. Dès lors, la continuité de ces recherches ouvre des opportunités significatives de poursuite de ces premières contributions pratiques et scientifiques. En effet, il est nécessaire de mener des recherches supplémentaires avec les praticiens pour finaliser la formalisation des dimensions, sous-dimensions et niveaux de maturité. À cet égard, il serait pertinent de centraliser et suggérer dans le modèle pour chacune de ces sous-dimensions des leviers ou informations utiles pour la progression de la maturité des entreprises (e.g. standards, lignes directrices, solutions technologiques, outils et méthodes existants, bonnes pratiques...). De plus, afin que le modèle permette de les guider pleinement, il conviendrait d'identifier de grandes étapes de transformation à suivre (e.g. initiation de la démarche, définition de la stratégie...) et les niveaux de maturité associés. En effet, cela permettrait aux entreprises, lors de leur évaluation, d'identifier les prochains niveaux de maturité sur lesquels elles doivent se concentrer, ou ceux qu'elles ne remplissent pas et qui peuvent être problématiques au regard des actions initiées. Pour la finalisation de ce modèle, le plus approprié serait alors la mise en place d'un groupe de travail dédié avec un panel d'entreprises. Par la suite, il conviendrait de procéder à son expérimentation de façon opérationnelle en condition dans les entreprises de ce groupe de travail, mais plus largement, pour bénéficier de nombreux et divers retours d'expérience et ainsi accroître la validité du modèle. Ces expérimentations sont également essentielles pour intégrer les enseignements du déploiement opérationnel du modèle, notamment en vue d'identifier des éventuels prérequis, des bonnes pratiques de gestion du changement ou encore d'animation. Enfin, il apparaît opportun de développer le modèle plus largement que la mise en œuvre de la traçabilité, pour la mise en place d'une démarche de transition de développement durable en vue de guider les entreprises à cette fin.

Conclusion

La présente thèse avait pour objectif l'étude de la problématique de la traçabilité et de sa mise en œuvre pour un développement de l'industrie de la mode. Compte tenu des problèmes concrets qu'elle avait ambition d'approfondir et au regard desquels elle visait à proposer des solutions pour contribuer à son amélioration, elle a reposé sur une démarche de recherche-action qui a été menée au sein de la Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM) et qui s'est déroulée de janvier 2021 à mai 2023. Cette recherche-action a tout particulièrement reposé sur la participation à différents projets collectifs expérimentaux de solutions technologiques en vue de l'amélioration de l'extension de la traçabilité des chaînes d'approvisionnement. Néanmoins, elle s'est également appuyée, tout au long de la thèse, sur de nombreux échanges avec des marques et offreurs de solutions technologiques, ainsi que plus largement des interactions quotidiennes avec l'écosystème industriel grâce à cette position au sein de la FHCM. Compte tenu de l'émergence de la traçabilité en vue d'un développement durable de l'industrie de la mode, cette recherche-action a tenté de contribuer aux premiers développements qui sont apparus indispensables, au regard des enseignements sur le terrain, pour son amélioration effective. Dès lors, les différentes étapes de cette thèse ont permis successivement, au fur et à mesure de la précision des problèmes observés, de mettre en évidence la nécessité d'appréhender la traçabilité et son amélioration sur l'ensemble de la chaîne de valeur ([article n° 1](#)), de développer et de proposer en conséquence un nouveau cadre d'analyse pour une vision holistique du phénomène et des dimensions clés de sa mise en œuvre ([article n°2](#)), et enfin d'élaborer une architecture de modèle de maturité pour guider les marques de mode à cette fin vers des chaînes de valeur durables ([article n°3](#)). Aussi, compte tenu de la vision globale de la mise en œuvre d'une telle traçabilité dans l'industrie que cette thèse a tenté d'apporter et de clarifier, les différentes recherches menées n'ont très certainement pas pu couvrir l'ensemble des aspects impliqués et de façon approfondie, notamment du fait de sa multi dimensionnalité et par conséquent de la multidisciplinarité nécessaire qui en résulte. Néanmoins, elle contribue à poser de premières fondations sur cette problématique, tant sur le plan pratique que théorique, qui sont apparues nécessaires pour l'amélioration de son appréhension et de sa gestion systémique. Dès lors, ces développements offrent de premiers éléments pour commencer à guider les praticiens et plus largement soutenir les actions collectives dans l'industrie en ce sens. De plus, grâce à cette approche holistique, cette thèse a également permis l'identification de nombreuses perspectives pratiques et scientifiques étroitement liées en vue de l'amélioration de l'extension de la traçabilité dans l'industrie. Tout particulièrement, la validation empirique du cadre d'analyse, ainsi que la finalisation et l'expérimentation du modèle de maturité, et leurs déploiements opérationnels par la suite dans l'industrie, représente des opportunités significatives de recherche dans la continuité de ces travaux en vue de la contribution à cette amélioration. Enfin, au regard de l'état général apparent embryonnaire d'une telle traçabilité, cette thèse apporte des connaissances qui peuvent potentiellement informer des démarches dans d'autres secteurs industriels.

Publications scientifiques

- **Revue scientifique**

Riemens, J. ; Lemieux, A.-A., Lamouri S. & Trentesaux, D. (2023) A Novel Maturity Model Architecture to Support Fashion Brands in Traceability Implementation towards Sustainable Value Chains. *International Journal of Production Economics* (article soumis).

Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lassagne, M., & Lamouri, S. (2023). Apprehending Traceability Implementation in Support of Sustainable Value Chains: A Novel Analysis Framework for the Fashion Industry. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137501>

Riemens, J.; Lemieux, A.-A.; Lamouri, S.; Garnier, L. (2021). A Delphi-Régner Study Addressing the Challenges of Textile Recycling in Europe for the Fashion and Apparel Industry. *Sustainability*, 13(21), 11700. <https://doi.org/10.3390/su132111700>

Autres publications dans le cadre de la thèse :

Creux-Martelli, A., Riemens, J., & Lemieux, A.-A. (2023). An Exploratory Investigation of Garments' Production Countries of Origin (COOs) Disclosure to Consumers. *Sustainability*, 15(8), 6927. <https://doi.org/10.3390/su15086927>

- **Conférences et colloques**

Riemens, J.; Lemieux, A.-A. ; Lamouri, S. (2023). La Traçabilité du Cycle de Vie des Produits pour des Chaînes de Valeur Durables : Cadre d'Analyse et Etat de l'Art dans l'Industrie de la Mode. CIGI QUALITA MOSIM 2023. Trois-Rivières.

Riemens, J., Lemieux, A.-A., & Lamouri, S. (2022). Lifecycle Traceability towards Sustainable and Circular Value Chains: Analysis Framework and State of the Art in the Fashion Industry. IFAC-PapersOnLine. MIM 2022. *10th IFAC conference on Manufacturing, Modelling, Management and Control*. Nantes. 55(10), 1705–1710. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.643>

Riemens, J.; Lemieux, A.-A.; Lamouri, S. (2021) Implementation of Traceability in the Fashion Networks Literature review and Conceptual Framework of Traceability Systems Requirements 23rd Conference Sustainable Innovation 2021 *Accelerating Sustainability in Fashion, Clothing, Sportswear and Accessories*. The Centre for Sustainable Design, UCA, UK.

- **Chapitre d'ouvrage**

Riemens, J.; Asseman, M. & Lemieux, A.-A. (2023). Traceability, Transparency & Greenwashing: Highlighting Growing Drivers for Traceability & Transparency in the Sector, & Emerging Challenges Surrounding Greenwashing of Garments. In Charter, M.; Pan, B.; Black, S. (Eds.) *Accelerating Sustainability in Fashion Clothing and Textiles* (1st ed.). Routledge. London. <https://doi.org/10.4324/9781003272878> (lien d'accès)

Références

- Adams, R. J.; Smart, P. & Huff, A. S. (2017). Shades of Grey : Guidelines for Working with the Grey Literature in Systematic Reviews for Management and Organizational Studies: Shades of Grey. *International Journal of Management Reviews*, 19(4), 432-454.
- Agence de la Transition Écologique (ADEME) (2023). Affichage Environnemental dans le Secteur des Textiles d'Habillement et Chaussures : Expérimentation 2021/2022. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Agrawal, T. K. ; Kumar, V.; Pal, R., Wang, L.; & Chen, Y. (2021). Blockchain-Based Framework for Supply Chain Traceability : a Case Example of Textile and Clothing Industry. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107130.
- Agrawal, T. & Pal, R. (2019). Traceability in Textile and Clothing Supply Chains: Classifying Implementation Factors and Information Sets via Delphi Study. *Sustainability*, 11(6), 1698.
- Agreement on Sustainable Garments and Textile (ASGT) (2023). Practical Guide for Companies on IRBC and OECD Due Diligence. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- Ahmed, W. A. H., & MacCarthy, B. L. (2021). Blockchain-Enabled Supply Chain Traceability in the Textile and Apparel Supply Chain : A Case Study of the Fiber Producer, Lenzing. *Sustainability*, 13(19), 10496.
- Allard-Poesi, F. ; Perret, V. (2003). La Recherche Action - Conduire un Projet de Recherche, une Perspective Qualitative, Caen. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Allwood, J.M. (2006). Well Dressed? The Present and Future Sustainability of Clothing and Textiles in the United Kingdom; University of Cambridge Institute for Manufacturing: Cambridge, UK. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Almeida Santos, D. ; Luiz Gonçalves Quelhas, O.; Francisco Simões Gomes, C.; Perez Zotes, L.; Luiz Braga França, S.; Vinagre Pinto de Souza, G.; Amarante de Araújo, R.; da Silva Carvalho Santos, S. (2020). Proposal for a Maturity Model in Sustainability in the Supply Chain. *Sustainability*, 12, 9655.
- Alves, L.; Ferreira Cruz, E.; Lopes, S. I.; Faria, P. M., & Rosado da Cruz, A. M. (2022). Towards Circular Economy in the Textiles and Clothing Value Chain Through Blockchain Technology and IoT: A Review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 40(1), 3-23.
- AMFORI (2023). AMFORI BSCI Platform. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- Anguelov, N. (2015). *The Dirty Side of the Garment Industry: Fast Fashion and Its Negative Impact on Environment and Society* (0 éd.). CRC Press.
- Appolloni, A.; D'Adamo, I., Gastaldi, M., Santibanez-Gonzalez, E. D. R., & Settembre-Blundo, D. (2021). Growing E-Waste Management Risk Awareness Points Towards New Recycling Scenarios: The View of the Big Four's Youngest Consultants. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101716.

- Ashton, R. H. (1986). Combining the Judgments of Experts: How Many and Which Ones? *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 38(3), 405-414.
- Association Française de Normalisation (AFNOR) (2023). Corporate Social Responsibility e-Commitment Label. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 31 mai 2023).
- Awaja, F., & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453-1477.
- Baskerville, R. L., & Wood-Harper, A. T. (1996). A Critical Perspective on Action Research as a Method for Information Systems Research. *Journal of Information Technology*, 11(3), 235-246.
- Baumgartner, R. J., & Ebner, D. (2010). Corporate sustainability strategies : Sustainability profiles and maturity levels. *Sustainable Development*, 18(2), 76-89.
- B Corp (2023). B Impact Assessment. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- Becker, J.; Knackstedt, R. & Pöppelbuß, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1, 213–222.
- Bell, J. E., Autry, C. W., Mollenkopf, D. A., & Thornton, L. M. (2012). A Natural Resource Scarcity Typology: Theoretical Foundations and Strategic Implications for Supply Chain Management: A Natural Resource Scarcity Typology. *Journal of Business Logistics*, 33(2), 158-166.
- Berg, A., Magnus, K-H., Kappelmark, S.; Granskog, A.; Libbi, L.; Sawers, C. (2020) Fashion on Climate. How the Fashion Industry can Urgently Act to Reduce Its Greenhouse Gas Emissions. McKinsey & Company in partnership with Global Fashion Agenda (GFA). Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Beswick, C. (2022). Demystifying Traceability. Global Fashion Agenda (GFA). Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Betti, F.; Hinkel, J.; Saenz, H. (2021). Digital Traceability: A Framework for More Sustainable and Resilient Value Chains. World Economic Forum. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Bhatt, T., Buckley, G., & Mcentire, J. C. (2013). Proceedings of the August 2011 traceability research summit. *Journal of Food Science*, 78(s2), B9–B14.
- Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food Traceability as an Integral Part of Logistics Management in Food and Agricultural Supply Chain. *Food Control*, 33(1), 32–48.
- Bour, L.S. & Jönsson, C. (2020). RFID for Transparency, Traceability and End-of-Life Handling of Textiles - The Importance of Harmonized Legislation. *Current Trends in Fashion Technology and Textile Engineering*. 6(1), 2577-2929.
- Bressanelli, G., Sacconi, N., Perona, M., & Baccanelli, I. (2020). Towards Circular Economy in the Household Appliance Industry: An Overview of Cases. *Resources*, 9(11), 128.
- Brun, A., Karaosman, H., & Barresi, T. (2020). Supply Chain Collaboration for Transparency. *Sustainability*, 12(11), 4429.
- Brydges, T. (2021). Closing the Loop on Take, Make, Waste: Investigating Circular Economy Practices in the Swedish Fashion Industry. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126245.
- Bukhari, M. A., Carrasco-Gallego, R., & Ponce-Cueto, E. (2018). Developing a National Programme for Textiles and Clothing Recovery. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 36(4), 321-331.
- Bullón Pérez, J. J., Queiruga-Dios, A., Gayoso Martínez, V., & Martín del Rey, Á. (2020). Traceability of Ready-to-Wear Clothing through Blockchain Technology. *Sustainability*, 12(18), 7491.

- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company (2022). The Traceability Tech Aiming to Unlock a More Sustainable Industry. Disponible sur: [lien d'accès](#) (Consulté le 23 Novembre 2022).
- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company (2021). The Year Ahead: What Product Passports Will Do for Brands. Disponible sur: [lien d'accès](#) (Consulté le 15 Juillet 2022).
- Business of Fashion (BOF) (2018). The State of Fashion 2018. BoF & McKinsey Company. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Business of Fashion (BoF) and McKinsey & Company (2018). The Year Ahead: The Case for Radical Transparency. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 15 juillet 2022).
- Cagnin, C-H.; Loveridge, D.; Butler, J. (2005). Business Sustainability Maturity Model. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 31 mai 2023).
- Caldarelli, G., Zardini, A., & Rossignoli, C. (2021). Blockchain Adoption in the Fashion Sustainable Supply chain: Pragmatically Addressing Barriers. *Journal of Organizational Change Management*, 34(2), 507-524.
- Cambridge Dictionary (2023). Definition of "maturity". Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 février 2023).
- Cappelletti, L. (2010). La Recherche-Intervention: Quels Usages en Contrôle de Gestion ? Communication pour le Congrès de l'Association Francophone de Comptabilité (AFC), Nice, mai 2010. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 4 juin 2023).
- Carrières, V., Lemieux, A.-A., Margni, M., Pellerin, R., & Cariou, S. (2022). Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products. *Sustainability*, 14(4), 2109.
- Changing Markets Foundation (2023). Trashion the Stealth Export of Waste Plastic Cloths to Kenya. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 23 mai 2023).
- Checkland, P., & Holwell, S. (1998). [No title found]. *Systemic Practice and Action Research*, 11(1), 9-21.
- Chen, W.-K., Nalluri, V., Hung, H.-C., Chang, M.-C., & Lin, C.-T. (2021). Apply DEMATEL to Analyzing Key Barriers to Implementing the Circular Economy: An Application for the Textile Sector. *Applied Sciences*, 11(8), 3335.
- Cheng, M. J., & Simmons, J. E. L. (1994). Traceability in Manufacturing Systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(10), 4e16.
- Chrobot, P.; Faist, M.; Gustavus, L.; Martin, A.; Stamm, A.; Zah, R.; Zollinger, M. (2018). Measuring Fashion. Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study. Full Report and Methodological Considerations. Quantis. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- CIRPASS Digital Product Passport (2023). D3.1 Benchmark of Existing DPP-Oriented Reference Architectures. Funded by the European Union. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- CIRPASS (2022). CIRPASS – Shaping the Future of the Digital Product Passport. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 20 mai 2023).
- Clean Clothes Campaign (2022). The Intersections of Environmental and Social Impacts of the Garment Industry. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 juin 2023).
- Color Insight (2021). Color Insight : un Outil pour la Prospective Utilisant le Principe l'Abaque de Régnier. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Colucci, M., & Vecchi, A. (2021). Close the Loop: Evidence on the Implementation of the Circular Economy from the Italian Fashion Industry. *Business Strategy and the Environment*, 30(2), 856-873.
- Correia, E., Carvalho, H., Azevedo, S., & Govindan, K. (2017). Maturity Models in Supply Chain Sustainability: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 9(1), 64.

- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action Research for Operations Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 220-240.
- Crosby P.B. (1979) Quality is Free: The Art of Making Quality Certain, McGraw-Hill, New York, 1979.
- Crowley, J.; Rademan, K.; Tan, E. (2022). The Textile Tracer Assessment : an Analysis and User Guide for Physical Tracer Technologies in the Textile Industry. Fashion for Good & Textile Exchange. Available at : [link](#) (Accessed on 29 July 2022).
- Cura, K., Rintala, N., Kamppuri, T., Saarimäki, E., & Heikkilä, P. (2021). Textile Recognition and Sorting for Recycling at an Automated Line Using Near Infrared Spectroscopy. *Recycling*, 6(1), 11.
- Cushman, J. (1998). INTERNATIONAL BUSINESS; Nike Pledges to End Child Labor and Apply U.S. Rules Abroad – The New York Times. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- D'Adamo, I., & Lupi, G. (2021). Sustainability and Resilience after COVID-19: A Circular Premium in the Fashion Industry. *Sustainability*, 13(4), 1861.
- Dahlbo, H., Aalto, K., Eskelinen, H., & Salmenperä, H. (2017). Increasing Textile Circulation—Consequences and Requirements. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 44-57.
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. *Management Science*, 9(3), 458-467.
- De Bruin, T.; Freeze, R.; Kaulkarni, U.; Rosemann, M. (2005). "Understanding the main phases of developing a maturity assessment model", Australasian Conference on Information Systems (ACIS), 30 November – 2 December 2005, New South Wales, Sydney.
- Delbecq, A.L.; Van de Ven, A.H.; Gustafson, D.H. (1975) Group Techniques for Program Planning: A Guide to Nominal Group and Delphi Processes; Management Applications Series; Scott Foresman: Glenview, IL, USA.
- Denuwara, N., Maijala, J., & Hakovirta, M. (2019). Sustainability Benefits of RFID Technology in the Apparel Industry. *Sustainability*, 11(22), 6477.
- Djafarova, E., & Bowes, T. (2021). 'Instagram Made Me Buy it' : Generation Z Impulse Purchases in Fashion Industry. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 59, 102345.
- Doorey, D. J. (2011). The Transparent Supply Chain: From Resistance to Implementation at Nike and Levi-Strauss. *Journal of Business Ethics*, 103(4), 587-603.
- Doyle (2022). The Traceability Playbook for Fashion Supply Chains. Trustrace. Disponible sur: [lien d'accès](#) (Consulté le 15 Juillet 2022).
- Dupuy, C.; Botta-Genoulaz, V. ; & Guinet, A. (2005). Batch Dispersion Model to Optimise Traceability in Food Industry. *Journal of Food Engineering*, 70(3), 333–339.
- Duthilleul, A. De Jouvenel, A. (2020). Evaluation de la Mise en Oeuvre de la Loi n°2017-399 du 27 mars 2017 Relative au Devoir de Vigilance des Sociétés Mères et des Entreprises Donneuses d'Ordre - Conseil Général de l'Economie, de l'Industrie, de l'Energie et des Technologies. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Eden, C., & Huxham, C. (1996). Action Research for Management Research. *British Journal of Management*, 7(1), 75-86.
- Egels-Zandén, N., Hulthén, K., & Wulff, G. (2015). Trade-offs in supply chain transparency: The case of Nudie Jeans Co. *Journal of Cleaner Production*, 107, 95-104.
- Eisner, E.; Hsien, C.; Mennenga, M.; Khoo, Z.-Y.; Dönmez, J.; Herrmann, C.; Low, J.S.C. Self-(2022). Assessment Framework for Corporate Environmental Sustainability in the Era of Digitalization. *Sustainability*, 14, 2293.

- Elander, M.; Ljungkvist, A. (2016) Critical Aspects in Design for Fiber-to-Fiber Recycling of Textiles; IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.: Stockholm, Sweden.
- Ellen MacArthur Foundation (EMF) (2013) Towards the Circular Economy: Opportunities for the Goods Sector. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Union (UE) (2002). Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 Laying Down the General Principles and Requirements of Food Law, Establishing the European Food Safety Authority and Laying Down Procedures in Matters of Food Safety. Official Journal of the European Communities, 31, 1-24, 2002.
- European Commission (EC) (2023). Corporate Sustainability Reporting. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- European Commission (EC) (2023). Proposal for a Directive on Green Claims. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 30 mai 2023).
- European Commission (EC) (2022). Corporate Sustainability Due Diligence. Fostering sustainability in corporate governance and management systems. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- European Commission (EC) (2022). Proposal for Ecodesign for Sustainable Products Regulation. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 20 mai 2023).
- European Commission (EC) (2022). Deforestation-Free Products. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- European Commission (EC) (2021) EU Strategy for Sustainable Textiles. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Commission (EC) (2021) Green Deal. Un Pacte Vert pour l'Europe | Commission Européenne. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Commission (EC) (2021) International Trade | Internal Market, Industry, Entrepreneurship, and SMEs. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Commission (EC) (2021) Sustainable Products Initiative. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Commission (EC) (2021) Waste Framework Directive. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Environment Agency (EEA) (2019) Textiles in Europe's Circular Economy. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- European Parliament. (2008) Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives. J. Eur. Union 2008, 312, 312–330.
- Fair Labor Association (FLA) (2022). Recommendations for Stakeholder and Civil Society Organisation Engagement. Fair Labor Association, IRBC Agreements, Agreement on Sustainable Garments and Textile, supported by SER.
- Fair Labor Association (FLA) (2022). Supply Chain Mapping. Steps and Recommendations for Garment Production Units. Fair Labor Association, IRBC Agreements, Agreement on Sustainable Garments and Textile, supported by SER.
- Fair Labor Association (FLA) (2017). Supply Chain Mapping, Transparency, Traceability-1.0. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Farsan, A.; Chang, A.; Kerkhof, A.; Cserna, B.; Yan, C.; Rangel Villasana, F.; Labutong, N. (2018). Value Change in the Value Chain: Best Practices In Scope 3 Greenhouse Gas Management. Version 3.0. Science Based Targets Initiative, Navigant & Gold Standard. <https://sciencebasedtargets> (Accessed on 31 May 2023).

- Fashion for Good (2019) Successfully Tracing Organic Cotton with Innovative Technologies. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Fashion Pact (2019). Fashion Pact G7 France, Biarritz. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2019).
- Fashion Revolution (2022). Fashion Transparency Index 2022 Edition. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 25 mai 2023).
- Fibersort Interreg Northwest Europe. (2020) Overcoming Barriers for Long-Term Implementation. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2019).
- Folinas, D. ; Manikas, I. & Manos, B. (2006). Traceability Data Management for Food Chains. *British Food Journal*, 108(8), 622–633.
- Franck, N.; Bates, C.; Tosi, E.; Brown, J.; Neibert, M.; McDonald, T.; McCullough, C.; Wang, J.; Magruder, K.; Twogood, J.; Schweiger, P.; Coulter, S.; Edwards, S.; Connock, T.; Harrington-Smith, C. (2022). Industry Aligned Action Plan: Digital ID to Scale Circular Systems. EON, Accelerating Circularity & EUNOMIA. Disponible sur: [lien d'accès](#) (Consulté le 23 November 2022).
- Garcia-Torres, S.; Rey-Garcia, M. ; Sáenz, J. ; & Seuring, S. (2021). Traceability and Transparency for Sustainable Fashion-Apparel Supply Chains. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 26(2), 344-364.
- Garcia-Torres, S.; Albareda, L.; Rey-Garcia M. & Seuring, S. (2019). Traceability for Sustainability – Literature Review and Conceptual Framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 85-106.
- Gardas, B. B. ; Raut, R. D. & Narkhede, B. (2018). Modelling the Challenges to Sustainability in the Textile and Apparel (T&A) Sector: A Delphi-DEMATEL Approach. *Sustainable Production and Consumption*, 15, 96-108.
- Geissdoerfer, M.; Savaget, P.; Bocken, N.M.P. & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.
- Gereffi, G. & Frederick, S. (2010). *The Global Apparel Value Chain, Trade And The Crisis: Challenges And Opportunities For Developing Countries*. The World Bank. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 4 juin 2023).
- Germani, M., Mandolini, M., Marconi, M., Marilungo, E., & Papetti, A. (2015). A System to Increase the Sustainability and Traceability of Supply Chains. *Procedia CIRP*, 29, 227-232.
- Ghoreishi, M., Bhandari, K., & Franconi, A. (2022). Smart Fashion Economy through a Data-Driven Circular Ecosystem : A Case Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1009(1), 012012.
- Coghlan, D. & Brannick, T. (2001). Doing Action Research in Your Own Organization. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, Vol 3, No 4 (2002): Special Issue: FQS Reviews II.
- Gavard-Perret, M-L. ; Gotteland, D.; Haon, C.; Jolibert, A. (2018). *Méthodologie de la Recherche en Sciences de Gestion*. 3ème Edition. Pearson Education. France.
- Global Fashion Agenda (GFA) (2017). Pulse of the Fashion Industry 2017 – Global Fashion Agenda (GFA) & Boston Consulting Group (BCG). Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Global Reporting Standards (2023). Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Gobbi, L. & Massa, I. (2015). Supply Chain Management in Textile Sector: The Case of the Italian T-Fashion Traceability System. *International Journal of Environment and Health*, 7(4), 359.
- Gonçalves Machado, C.; Pinheiro De Lima, E.; Gouvea Da Costa, S. ; Angelis, J-J. (2015). A maturity framework for sustainable operations management. *The International Conference for Production Research (ICPR23)*.

- Gordon, T.J. (1994) The Delphi Method. In *Future Research Methodology—Version 3.0*; AC/UNU Millennium Project: Washington, DC, USA. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Gummesson, E. (2000). *Qualitative Methods in Management Research* – Sage Publications, Inc. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Haegglblom, J.; Palmer, C. (2019). *Circularity.ID. The Transformation to Data-Driven Circularity in Fashion*. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 31 mai 2023).
- Harmsen, P., Scheffer, M., & Bos, H. (2021). Textiles for Circular Fashion: The Logic behind Recycling Options. *Sustainability*, 13(17), 9714.
- Hawley, J. M. (2006). Textile recycling: A System Perspective. In *Recycling in Textiles* (p. 7-24). Elsevier.
- Hole, G., & Hole, A. S. (2020). Improving Recycling of Textiles Based on Lessons from Policies for Other Recyclable Materials: A Minireview. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 42-51.
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (s. d.) (2007). The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 12 (10), 1-9.
- Hynds, E. J., Brandt, V., Burek, S., Jager, W., Knox, P., Parker, J. P., Schwartz, L., Taylor, J., & Zietlow, M. (2014). A Maturity Model for Sustainability in New Product Development. *Research-Technology Management*, 57(1), 50-57.
- Initiative for Compliance & Sustainability (ICS). Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 29 mai 2023).
- International Labor Organization (ILO) (2014). *Wages and Working Hours in the Textiles, Clothing, Leather, and Footwear Industries*. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 juin 2023).
- International Organization for Standardization (ISO) 26000:2010 (2020). *Social Responsibility*. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 juin 2023).
- International Organization for Standardization (ISO) 14040:2006. *Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework*. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 avril 2023).
- International Organization for Standardization (ISO) 14044:2006. *Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines*. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 avril 2023)
- International Organization for Standardization (ISO) 9001:2015 (2015). *Systèmes de Management de la Qualité – Exigences*. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 2 juin 2023).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021) *Climate Change 2021 the Physical Science Basis: Summary for Policymakers*. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Islam, S., & Cullen, J. M. (2021). Food traceability: A Generic Theoretical Framework. *Food Control*, 123, 107848.
- Jacomet, D. & Minvielle, G. (2012). *De-Industrialisation Re-Industrialisation in the Fashion Industry*. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023)
- Jansen-Vullers, M. H., van Dorp, C. A., & Beulens, A. J. (2003). Managing Traceability Information in Manufacture. *International Journal of Information Management*, 23(5), 395–413.
- Jestratijevic, I., Rudd, N. A., & Uanhoro, J. (2020). Transparency of Sustainability Disclosures Among Luxury and Mass-Market Fashion Brands. *Journal of Global Fashion Marketing*, 11(2), 99-116.
- Jia, F., Yin, S., Chen, L., & Chen, X. (2020). The Circular Economy in the Textile and Apparel Industry: A Systematic Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120728.
- Jones, C.G. (1975) *A Delphi Evaluation of Agreement between Organizations*. In *The Delphi Method: Techniques and Applications*; Addison-Wesley: Boston, MA, USA, 1975, 160–167.

- Joy, A., & Peña, C. (2017). Sustainability and the Fashion Industry : Conceptualizing Nature and Traceability. In C. E. Henninger, P. J. Alevizou, H. Goworek, & D. Ryding (Éds.), *Sustainability in Fashion* (p. 31-54). Springer International Publishing.
- Kamann, D. J. F., Alfaro, J. A., & Sebrek, S. S. (2019). 28 years of Traceability Management : Trends, Bottlenecks and Opportunities. *International Journal of Procurement Management*, 12(1), 56.
- Karaosman, H.; Perry, P.; Brun, A. & Morales-Alonso, G. (2020). Behind the Runway: Extending Sustainability in Luxury Fashion Supply Chains. *Journal of Business Research*, 117, 652-663.
- Karlsen, K. M.; Dreyer, B.; Olsen, P. & Elvevoll, E. O. (2013). Literature Review: Does a Common Theoretical Framework to Implement Food Traceability Exist? *Food Control*, 32(2), 409-417.
- Karlsen, K. M.; Donnelly, K. M. & Olsen, P. (2011). Granularity and Its Importance for Traceability in a Farmed Salmon Supply Chain. *Journal of Food Engineering*, 102(1),1-8.
- Kashyap, A. (2019). Paying For a Bus Ticket and Expecting to Fly. How Apparel Brand Purchasing Practices Drive Labor Abuses. Human Rights Watch. Disponible sur [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Gozacan-Chase, N., Lafci, C., & Batista, L. (2022). Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises. *Journal of Business Research*, 149, 375-392.
- Kazancoglu, I.; Kazancoglu, Y.; Yarimoglu, E. & Kahraman, A. (2020). A Conceptual Framework for Barriers of Circular Supply chains for Sustainability in the Textile Industry. *Sustainable Development*, 28(5), 1477-1492.
- Kearney (2022). Fashion Perspective: the Counterweights of Traceability. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 juin 2023).
- Khurana, K. & Ricchetti, M. (2016). Two Decades of Sustainable Supply chain Management in the Fashion Business, an Appraisal. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 20(1), 89-104.
- Kim, H. M.; Fox, M. S. & Gruninger, M. (1999). An Ontology for Enterprise Modelling. In Proceedings of the fourth Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises WET ICE '95 (pp. 105e116). Los Alamitos, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Computer Society Press.
- Klimko, G. (2001). Knowledge Management and Maturity Models: Building Common Understanding. Proceedings of the 2nd European Conference on Knowledge Management, 2001, 269-278.
- Kohlegger, M., Maier, R.; Thalmann, S. (2009). Understanding Maturity Models. Results of a Structured Content Analysis. Conference: I-KNOW '09 and I-SEMANTICS '09. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 juin 2023).
- Koszewska, M. (2018). Circular Economy—Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*, 18(4), 337-347.
- Kumar, V., Agrawal, T. K., Wang, L., & Chen, Y. (2017). Contribution of Traceability Towards Attaining Sustainability in the Textile Sector. *Textiles and Clothing Sustainability*, 3(1), 5.
- Kumar, V.; Hallqvist, C. & Ekwall, D. (2017). Developing a Framework for Traceability Implementation in the Textile Supply Chain. *Systems*, 5(2), 33.
- Leal Filho, W., Ellams, D.; Han, S.; Tyler, D.; Boiten, V. J.; Paço, A., Moora, H. & Balogun, A.-L. (2019). A Review of the Socio-Economic Advantages of Textile Recycling. *Journal of Cleaner Production*, 218, 10-20.
- Leonas, K. K. (2017). The Use of Recycled Fibers in Fashion and Home Products. In S. S. Muthu (Éd.), *Textiles and Clothing Sustainability* (p. 55-77). Springer Singapore.
- Lewin, K. (1946). Action Research and Minority Problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34-46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>

- Ley, K.; Perkins, L.; Van Mazijk, R.; Gaines, R. & Hugill, R. (2021). Unlocking the Trillion-Dollar Fashion Decarbonization Opportunity: Existing and Innovative Solutions. Fashion for Good and Apparel Impact Institute. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Macchion, L. ; Furlan, A. & Vinelli, A. (2017). The Implementation of Traceability in Fashion Networks. In L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, & R. Fornasiero (Éds.), *Collaboration in a Data-Rich World* (Vol. 506, p. 86-96). Springer International Publishing.
- Marconi, M.; Marilungo, E.; Papetti, A. & Germani, M. (2017). Traceability as a Means to Investigate Supply Chain Sustainability: The Real Case of a Leather Shoe Supply Chain. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6638-6652.
- Marshall, D.; McCarthy, L.; McGrath, P. & Harrigan, F. (2016). What's Your Strategy for Supply Chain Disclosure? – Harvard Business Review. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- McBride, T. (2010). Organisational theory perspective on process capability measurement scales, *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 22, 243–254.
- McManners, P. (2016). The Action Research Case Study Approach: A Methodology for Complex Challenges such as Sustainability in Aviation. *Action Research*, 14(2), 201-216.
- Mejías, A.; M., Bellas, R.; Pardo, J. E. & Paz, E. (2019). Traceability Management Systems and Capacity Building as New Approaches for Improving Sustainability in the Fashion Multi-tier Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 217, 143-158.
- Merton, R.K., Fiske, M. and Kendall, P.L. (1990) *The Focused Interview: A Manual of Problems and Procedures*. 2nd Edition, Free Press, New York.
- Mgonja, J. T.; Luning, P. & Van der Vorst, J. G. (2013). Diagnostic Model for Assessing Traceability System Performance in Fish Processing Plants. *Journal of Food Engineering*, 118(2), 188–197.
- Moe, T. (1998). Perspectives on Traceability in Food Manufacture. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 211e214.
- Moeuf, A.; Lamouri, S.; Pellerin, R.; Tamayo-Giraldo, S.; Tobon-Valencia, E. & Eburdy, R. (2020). Identification of Critical Success Factors, Risks and Opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1384-1400.
- Moretto, A., & Macchion, L. (2022). Drivers, Barriers, and Supply Chain Variables Influencing the Adoption of the Blockchain to Support Traceability Along Fashion Supply Chains. *Operations Management Research*. 15, 1470–1489.
- Morlet, A.; Opsomer, R.; Herrmann, S.; Gillet, C.; Fuchs, L. (2017). A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future. Ellen MacArthur Foundation (EMF) & Circular Fibres Initiative. Disponible sur [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Murphy, L. (2021). Laundering cotton – How Xinjiang Cotton is Obscured in International Supply Chains. Sheffield Hallam University. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The Environmental Price of Fast Fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189-200.
- Nolan, R.L. (1979). Managing the Crisis in Data Processing, *Harvard Business Review*. 57, 115–126.
- Norton, T.; Beier, J.; Shields, L. (2014). A Guide to Traceability : A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 19 juillet 2022).
- Nørup, N., Pihl, K., Damgaard, A., & Scheutz, C. (2019). Evaluation of a European Textile Sorting Centre: Material Flow Analysis and Life Cycle Inventory. *Resources, Conservation and Recycling*, 143, 310-319.

- Notten, P. (2020). Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: Global Stocktaking. United Nations Environment Programme (UNEP). Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Okongwu, U., Morimoto, R., & Lauras, M. (2013). The maturity of supply chain sustainability disclosure from a continuous improvement perspective. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62(8), 827-855.
- Olsen, P. (2018). Food Traceability in Theory and in Practice. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 4 Avril 2023).
- Olsen, P., & Borit, M. (2013). How to Define Traceability. *Trends in Food Science & Technology*, 29(2), 142-150.
- Opara, L. U. (2003). Traceability in Agriculture and Food Supply Chain: A Review of Basic Concepts, Technological Implications, and Future Prospects. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 101-106.
- Open Supply Hub (2023). Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 5 mai 2023).
- Organization for Economic Cooperation & Development (OECD) (2018). Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains in the Garment and Footwear Sector. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 5 mai 2023).
- Palacios-Mateo, C.; Van der Meer, Y. & Seide, G. (2021). Analysis of the Polyester Clothing Value Chain to Identify Key Intervention Points for Sustainability. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 2.
- Palm, D. (2014) Towards a Nordic Textile Strategy: Collection, Sorting, Reuse and Recycling of Textiles; Nordic Council of Ministers. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 5 mai 2023).
- Papetti, A. ; Marconi, M. ; Rossi, M., & Germani, M. (2019). Web-Based Platform for Eco-Sustainable Supply Chain Management. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 215-228.
- Paulk, M.C. Curtis, B. Chrissis, M.B. Weber, C.V. (1993). Capability Maturity ModelSM for Software, Version 1.1, Technical Report, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania, 1993.
- Payne, A. (2015). Open and Closed-Loop Recycling of Textile and Apparel Products. In Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing. Woodhead Publishing Series in Textiles, 103-123.
- Peng, X., Kurnia, S., & Cui, T. (2021). IT-Enabled Sustainable Supply Chain Management Capability Maturity. Hawaii International Conference on System Sciences.
- Pensupa, N. ; Leu, S.-Y. ; Hu, Y. ; Du, C. ; Liu, H. ; Jing, H. ; Wang, H. & Lin, C. S. K. (2017). Recent Trends in Sustainable Textile Waste Recycling Methods: Current Situation and Future Prospects. *Topics in Current Chemistry*, 375(5), 76.
- Peters, G. M.; Sandin, G. & Spak, B. (2019). Environmental Prospects for Mixed Textile Recycling in Sweden. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(13), 11682-11690.
- Pigosso, D. C. A., Rozenfeld, H., & McAlloone, T. C. (2013). Ecodesign maturity model : A management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 59, 160-173.
- Piribauer, B. & Bartl, A. (2019). Textile Recycling Processes, State of the Art and Current Developments : A mini review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 37(2), 112-119.
- Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E.; Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring Innovation in The Product Chain; PBL Publishers: The Hague, The Netherlands. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Première Vision Paris (2022). Talk – Quelle Traçabilité dans l'Industrie de la Mode ? Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 5 mai 2023).
- Product Environmental Footprint (PEF) Apparel & Footwear (2023) [lien d'accès](#) (consulté le 4 juin 2023).

- Quantis (2021) Draft Product Environmental Footprint—Representative Product (PEF-RP) Study Report Apparel and Footwear, Version 1.2. PEFCR for Apparel and Footwear—Stakeholder Workspace—EU Environmental Footprint—EC Extranet Wiki. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Quantis. (2018). Measuring Fashion Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Reason, P. (1999). Integrating Action and Reflection Through Co-Operative Inquiry. *Management Learning*, 30(2), 207-225.
- Reason, P., & Bradbury, H. (2008). The SAGE Handbook of Action Research. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781848607934>
- Re_Fashion. (2020) Annual Report. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Reefke, H., Ahmed, M. D., & Sundaram, D. (2014). Sustainable Supply Chain Management—Decision Making and Support : The SSCM Maturity Model and System. *Global Business Review*, 15(4_suppl), 1S-12S.
- Regattieri, A.; Gamberi, M. & Manzini, R. (2007). Traceability of Food Products : General Framework and Experimental Evidence. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 347-356.
- Régnier, F. (1983). L'Abaque de Régnier : Pour une Lecture Musicale de la Communication: Exemple d'Application en Education Permanente. *Acta Endoscopica*, 13(5-6), 361-373.
- Remy, N.; Speelman, N.; Swartz, S. (2016). Style That's Sustainable: A New Fast-Fashion Formula – McKinsey Sustainability. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Reverse Resources (2017) The Undiscovered Business Potential of Production Leftovers within Global Fashion Supply Chains: Creating a Digitally Enhanced Circular Economy. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Riba, J.-R., Cantero, R., Canals, T., & Puig, R. (2020). Circular Economy of Post-Consumer Textile Waste : Classification Through Infrared Spectroscopy. *Journal of Cleaner Production*, 272, 123011.
- Richero, P., Ferrigno, S. (2016). A Background Analysis on Transparency and Traceability in the Garment Value Chain. Project No. 2016/378769. Implemented by DAI Europe & Funded by the European Commission. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 4 avril 2023).
- Riemens, J. ; Lemieux, A.-A. ; Lassagne, M. & Lamouri, S. (2023). Apprehending Traceability Implementation in Support of Sustainable Value Chains: A Novel Analysis Framework for the Fashion Industry. *Journal of Cleaner Production*, 137501.
- Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lamouri, S. (2022). Lifecycle Traceability Towards Sustainable and Circular Value Chains: Analysis Framework and State of the Art in the Fashion Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1705-1710.
- Riemens, J. ; Lemieux, A.-A. : Lamouri, S. & Garnier, L. (2021). A Delphi-Régnier Study Addressing the Challenges of Textile Recycling in Europe for the Fashion and Apparel Industry. *Sustainability*, 13(21), 11700.
- Roos, S., Sandin, G., Peters, G., Spak, B., Bour, L. S., Perzon, E., & Jönsson, C. (2019). White paper on textile recycling. Mistra Future Fashion. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 4 juin 2023).
- Rosa, P. ; Sassanelli, C. & Terzi, S. (2019). Towards Circular Business Models: A Systematic Literature Review on Classification Frameworks and Archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117696.
- Rotimi, E. O. O., Toppo, C., & Hopkins, J. (2021). Towards A Conceptual Framework of Sustainable Practices of Post-consumer Textile Waste at Garment End of Lifecycle: A Systematic Literature Review Approach. *Sustainability*, 13(5), 2965.

- Sadowski, M.; Yan, C.; Cummis, C. & Aden, N. (2019). Apparel & Footwear Sector. Science-Based Targets Guidance. Science-Based Targets. World Resources Institute. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Sajn, N. (2019) Environmental Impact of the Textile and Clothing Industry: What Consumers Need to Know; European Parliament: Brussels, Belgium. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental Impact of Textile Reuse and Recycling – A Review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353-365.
- Sandvik, I. M., & Stubbs, W. (2019). Circular Fashion Supply Chain Through Textile-to-Textile Recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 23(3), 366-381.
- Sedex (2023). Sustainable Data Software Platform. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 23 mai 2023).
- Shahbazi, S., & Jönbrink, A. K. (2020). Design Guidelines to Develop Circular Products: Action Research on Nordic Industry. *Sustainability*, 12(9), 3679.
- Shewhart, W.A. (1931). Economic Control of Quality of Manufactured Product, Macmillan, London, 1931. Sari, Y., Hidayatno, A., Suzianti, A., Hartono, M., & Susanto, H. (2021). A corporate sustainability maturity model for readiness assessment: A three-step development strategy. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(5), 1162-1186.
- Shirvanimoghaddam, K.; Motamed, B.; Ramakrishna, S. & Naebe, M. (2020). Death by Waste: Fashion and Textile Circular Economy Case. *Science of The Total Environment*, 718, 137317.
- Shou, M., & Domenech, T. (2022). Integrating LCA and Blockchain Technology to Promote Circular Fashion – A Case Study of Leather Handbags. *Journal of Cleaner Production*, 133557.
- Siddaway, A. P.; Wood, A. M. & Hedges, L. V. (2019). How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. *Annual Review of Psychology*, 70(1), 747-770.
- Srai, J. S., Alinaghian, L. S., & Kirkwood, D. A. (2013). Understanding sustainable supply network capabilities of multinationals: A capability maturity model approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227(4), 595-615.
- Statista (2023) Global Apparel Market - Statistics & Facts Statista. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Strauss, A.; Corbin, J.M. (1990). Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques. Sage Publications.
- Storøy, J., Senneset, G., Forås, E., Olsen, P., Karlsen, K. M., & Frederiksen, M. (2008). Improving Traceability in Seafood Production. In T. E. Børresen (Ed.), *Improving Seafood Products for the Consumer*, part VI Seafood Traceability to Regain Consumer Confidence (pp. 516e538). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Sustainable Apparel Coalition (2023). Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 23 mai 2023).
- Textile Exchange Preferred Fiber and Materials Market Report (2020). Textile Exchange. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Trace4Value (2023). Digital Product Passport in Textiles. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 20 mai 2023).
- Tranfield, D.; Denyer, D. & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222.
- United Nations Climate Change (UNCC) (2018). UN Helps Fashion Industry Shift to Low Carbon. United Nations Climate Change. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).

- United Nations Fashion Industry Climate Charter Action (UNFICCA) (2022). Fashion Industry Charter for Climate Action. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 2 juin 2023).
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2023). Business Process Analysis for Sustainability and Circularity in Textile Value Chains – United Nations (UN) Geneva. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2023). Enhancing Traceability of Products along International Value Chains for the Circular Economy and Sustainable Use of Resources. Disponible sur: [lien d'accès](#) (Accessed on 4 April 2023).
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2022). Recommendation n°46: Enhancing Traceability and Transparency of Sustainable Value Chains in the Garment and Footwear Sector (ECE/TRADE/463). United Nations Geneva. Disponible sur : [lien d'accès](#) (Accessed on 4 April 2023).
- United Nations Economic Commission for Europe (2021). Mapping of policies, regulations, and guidelines: Report, Policy developments on traceability and transparency, United Nations (UN) Geneva. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2020). Report – Enhancing Sustainability and Circularity of Value Chains in the Garment and Footwear Sector: Policy Developments on Traceability and Transparency – United Nations (UN) Geneva. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2020) Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2015). Paris Agreement. Geneva, Switzerland: UNFCCC. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 4 avril 2023).
- United Nations (UN) General Assembly (2015). Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 4 avril 2023).
- United Nations Global Compact (UNGC) & Business and Social Responsibility (BSR) (2015). Supply Chain Sustainability: A Practical Guide for Continuous Improvement, Second Edition. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 23 mai 2023).
- Ütebay, B.; Çelik, P. & Çay, A. (2019). Effects of Cotton Textile Waste Properties on Recycled Fiber quality. *Journal of Cleaner Production*, 222, 29-35.
- Van Duijn, H.; Papú Carrone, N.; Bakowska, O.; Huang, Q.; Akerboom, M.; Rademan, K.; Vellanki, D. (2022). Sorting for Circularity Europe. An Evaluation and Commercial Assessment of Textile Waste across Europe. Fashion for Good & Circle Economy. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 22 novembre 2022).
- Wazir, B. (2001). Nike Accused of Tolerating Sweatshops – The Guardian. Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- Webb, B. (2023). France has laid down the law on sustainability: What does it mean for fashion? Vogue Business. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 31 mai 2023).
- Webb, B. (2023). Is it Time to Hire a Head of Traceability? Vogue Business. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 28 mai 2023).
- Webber, R.P. (1990). Basic Content Analysis. Sage Publications. London.
- Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research : A Systematic Mapping Study. *Information and Software Technology*, 54(12), 1317-1339.

- Weerabahu, W. M. S. K., Samaranayake, P., Nakandala, D., & Hurriyet, H. (2022). Digital supply chain research trends : A systematic review and a maturity model for adoption. *Benchmarking: An International Journal*. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print.
- Wilber, D. (2010). Book Review: *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. William McDonough and Michael Braungart. 2002. North Point Press, New York. 208 pp. \$27.50 paperback (978-0-86547-587-8). *Environmental Practice*, 12(1), 92-94.
- Wilhelm, M.; Blome, C.; Wieck, E. & Xiao, C. Y. (2016). Implementing Sustainability in Multi-tier Supply Chains: Strategies and Contingencies in Managing Sub-Suppliers. *International Journal of Production Economics*, 182, 196-212.
- Wiltling, J.; Hilde, V.D. (2020) Clothing Labels: Accurate or Not? *Circle Economy* Disponible sur : [lien d'accès](#) (consulté le 27 mai 2023).
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). *Our Common Future*. Disponible sur: [lien d'accès](#) (consulté le 4 avril 2023).
- Zellner, G. (2011). A Structured Evaluation of Business Process Improvement Approaches. *Business Process Management Journal*, 17(2), 203-237.
- Zimmermann, W. (2020). Biocatalytic Recycling of Polyethylene Terephthalate plastic. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2176), 20190273

Résumé

La traçabilité tout au long des chaînes de valeur a été identifiée comme un prérequis indispensable pour la transition vers un développement durable. Elle connaît ainsi une préoccupation croissante dans l'industrie de la mode et a été reconnue comme une priorité critique à cet égard. Héritée du management de la qualité et de la sécurité, la traçabilité en réponse aux enjeux de développement durable s'avère cependant complexe et difficile à appréhender dans l'industrie au regard de l'ampleur de ses implications. Quelles sont les problématiques de traçabilité au regard des enjeux de développement durable de l'industrie de la mode ? Comment appréhender sa mise en œuvre de façon holistique ? Comment les marques peuvent-elles définir une feuille de route en soutien de leurs objectifs stratégiques de développement durable, tout en prenant en compte la maturité de leur entreprise sur ces enjeux ? Cette recherche-action conduite au sein de la Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM) a tenté de répondre à ces problématiques identifiées au fur et à mesure sur le terrain. Une étude Delphi-Régnier sur les freins au développement du recyclage textile a tout d'abord mis en lumière l'existence d'enjeux de traçabilité jusqu'en fin de vie des produits. Au regard de ce constat de la nécessité d'appréhender la mise en œuvre de la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur et de sa nature multidimensionnelle, un cadre d'analyse a été développé à partir d'une revue systématique de la littérature. Dans la continuité de ces travaux et au regard des défis importants soulevés par la mise en œuvre de la traçabilité, une architecture de modèle de maturité a été développée pour permettre aux marques d'identifier et de prioriser les actions à mettre en place, pour améliorer la traçabilité de leurs chaînes de valeur en soutien d'une stratégie de développement durable. Ces travaux peuvent aider les praticiens dans la compréhension des enjeux de traçabilité et soutenir la définition d'actions et la prise de décisions. Ils contribuent également à la progression de la recherche sur la mise en œuvre de la traçabilité dans les secteurs industriels et des défis associés en réponse aux enjeux de développement durable.

Mots-clés : traçabilité ; chaîne de valeur ; développement durable ; industrie de la mode

Asbtract

Improving traceability along value chains has been identified as an essential prerequisite for the transition of industrial sectors towards sustainable development. Inherited from the quality management field, improving traceability as part of sustainable development transition appears complex and difficult to apprehend in the fashion industry, given the magnitude of traceability implications. Although its key role is recognized, enhancing traceability also raises significant technical and organizational challenges. What are the challenges of traceability in this transition towards sustainable development in the industry ? How to apprehend its implementation holistically ? How can brands define an integrative and progressive roadmap in support of their strategic sustainability goals, while considering the maturity of their business on these issues ? This research-action carried out within the Fédération de la Haute Couture et de la Mode (FHCM) has attempted to respond to these problems, which were identified progressively on the field. A Delphi-Régnier study on the barriers to the development of textile recycling was first conducted highlighting the need for traceability up to the end of life of products. In view of the conclusion to the need to apprehend traceability implementation across the entire value chain and its multidimensional nature, an analytical framework was developed based on a systematic review of the literature. As a continuation of these contributions and in view of the significant challenges raised by the traceability implementation, a first version of a self-assessment tool was developed for brands to facilitate the identification and the prioritization of actions to be implemented to improve traceability along their value chains in support of a sustainable development strategy. This research-action can help practitioners understand the challenges of traceability and support the definition of actions and decision-making. They also contribute to the progress of research on the implementation of traceability in industrial sectors and the associated challenges in response to sustainable development issues.

Keywords: traceability; value chain ; sustainable development ; fashion industry