CircuSChain : une méthode pour améliorer la circularité dans les chaines logistiques

Une adaptation du framework As-Is/As-If

Asiye Kurt[1,2], Mario Cortes-Cornax[1], Agnès Front[1], Van-Dat Cung[2], Fabien Mangione[2]

1. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP[*] , LIG
prenom.nom@univ-grenoble-alpes.fr

2. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G-SCOP*
prenom.nom@grenoble-inp.fr

RESUME L'économie circulaire représente une solution potentielle aux challenges imposés par la diminution des ressources naturelles et la pollution de l'environnement. Dans le domaine de la logistique, les entreprises cherchent à revoir leurs pratiques et à adopter les principes de l'économie circulaire. En pratique, les entreprises essayent de rendre leurs chaînes logistiques davantage circulaires. Cet article présente une méthode d'évolution continue appelée CircuSChain dont l'objectif est de guider les entreprises pour améliorer la circularité dans leurs chaines logistiques.

ABSTRACT. The Circular Economy has emerged as a potential solution to the challenges due to natural resource depletion and environmental pollution. Pressure from laws, stakeholders and customers leads companies to review their practices and adopt the Circular Economy to improve the circularity of their supply chains. In practice, companies look for a way to make their supply chains more circular. A successful transition towards circular supply chains requires continual measurement of progress towards circularity. The main contribution of this paper is a method called CircuSChain that aims at guiding organizations in order to improve the circularity of their supply chains.

Mots-clés : Méthode d'évolution continue, Chaîne logistique, Économie circulaire.

KEYWORDS: Continual Evolution Method, Supply Chain, Circular Economy

[*] Institute of Engineering, Univ. Grenoble Alpes
30000 Grenoble, France

1. Introduction

L'économie circulaire, par opposition à l'approche linéaire (« take-make-dispose »), vise à minimiser les apports de ressources, les déchets et la pollution en (ré)utilisant le plus longtemps possible les produits, composants et matériaux (Geissdoeerfer et al., 2017). De fait, la circularité est fortement liée aux Cycles de Vie des produits, de la conception jusqu'à la gestion de fin de vie, en passant par l'approvisionnement, la production, la distribution, l'usage, la collecte, etc. Des stratégies de conception de produits et des activités « E-o-L » (End of Life), également appelées activités d'économie circulaire, doivent donc être plus spécifiquement réalisées pour cela, telles que la réutilisation, la remise à neuf, le recyclage, la refabrication, etc. L'économie circulaire est guidée par les principes suivants : (1) appliquer plusieurs activités d'économie circulaires en parallèle (Blomsma et Brennan, 2017), (2) utiliser et réutiliser des matériaux (Genovese et al., 2017), et (3) favoriser des boucles ouvertes entre des secteurs distincts par le biais de la réaffectation, qui consiste à transférer des produits inutiles d'une chaîne logistique dans un domaine d'activité vers un autre domaine d'activité, pour un produit différent (Farooque et al., 2019). D'un point de vue systémique, l'ensemble de ces activités tout au long du Cycle de Vie d'un produit, forme une chaîne logistique constituant une brique fondamentale dans la transition vers l'économie circulaire car elle est au cœur du système de conception et fabrication du produit. Les chaînes logistiques sont décrites comme des structures « gérant les apports de biens ou de services comprenant une gamme d'activités pour les utilisateurs finaux depuis l'approvisionnement en matières premières jusqu'à la fin de vie des produits » (Teck-Yong, 2005 ; Ahi et Searcy, 2013). Diverses notions dans la littérature, telles que Logistique inverse (*Reverse logistics*) ou encore Chaine logistique verte (*Green Supply Chain*), traitent partiellement de ces principes d'économie circulaire (Jain et al., 2018). Une chaine logistique circulaire est donc considérée comme une convergence de toutes les notions mentionnées soutenant les principes d'économie circulaire.

La figure 1 montre un exemple informel d'une chaine logistique circulaire. Dans cet exemple, la chaine logistique circulaire est composée de 2 chaines logistiques destinée à la fabrication de produits différents (*Product 1*, par exemple une voiture électrique, et *Product 2*, par exemple des lampadaires). Chacune de ces chaines logistiques comporte des activités linéaires (e.g. *Linear Supply Chain 1)* telles que l'extraction de matières premières, la fabrication des composants (les roues de la voiture, le capot, le moteur, etc.), l'assemblage du produit, la distribution au client, puis en fin de chaine, la collecte du produit, voire sa destruction. Suite à la collecte du produit usagé, une partie du produit collecté (par ex, certains composants de la voiture) peuvent être réutilisés et réinsérés dans la même chaine logistique pour fabriquer d'autres voitures : la chaine logistique du produit 1 est alors considérée comme une *chaine logistique circulaire en boucle fermée* car elle comporte des activités de réutilisation dans la même chaine logistique. D'autres parties du produit collecté peuvent également être réutilisées pour la fabrication d'autres types de produits et intégrées ainsi dans d'autres chaines logistiques. Par exemple, la batterie d'une voiture électrique usagée pourrait être réutilisée comme élément de batterie

d'un lampadaire (e.g. *Linear Supply Chain 2)*. On parle alors d'une *chaine logistique circulaire en boucle ouverte* permettant de réutiliser des composants ou produits pour une autre activité que celle pour laquelle ils avaient été conçus au départ.

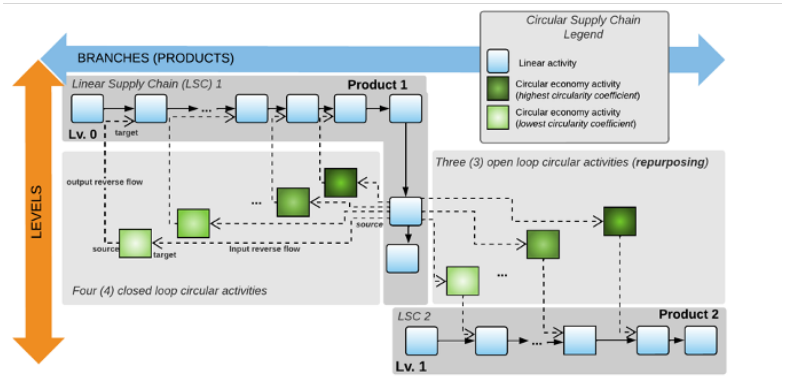

Figure 1. Chaine logistique circulaire : un exemple informel

La pression des lois, des parties prenantes et des clients conduit les entreprises à revoir leurs pratiques pour adopter les principes de l'économie circulaire et améliorer la circularité de leurs chaînes logistiques. Cependant, une transition réussie vers une chaîne logistique circulaire nécessite une mesure continue de la progression vers la circularité (Jain et al., 2018). Le manque de connaissances et de sensibilisation sur les chaînes logistiques circulaires constitue un obstacle difficile pour les gestionnaires de chaînes logistiques et les entreprises désireuses d'améliorer leur circularité. De nouveaux outils et méthodes sont nécessaires pour promouvoir les chaînes logistiques circulaires et accompagner leur conception et leur évolution.

Cet article propose une méthode appelée CircuSChain pour améliorer la circularité dans les chaînes logistiques. La méthode proposée s'appuie sur des travaux antérieurs :

- le framework As-Is/As-If (Cela et al., 2019) destiné aux ingénieurs de méthodes pour les aider à développer des méthodes d'évolution continue. Le framework As-Is/As-If propose un modèle de processus et un méta-modèle de produit qui peuvent être considérés comme des modèles dans la construction de méthodes d'évolution continue ;

- plusieurs outils tels qu'un indicateur de circularité, un outil de classification des indicateurs et un jeu sérieux sur le thème des chaînes logistiques circulaires (Kurt, 2021). La méthode CircuSChain « orchestre » les différents outils proposés afin d'obtenir une amélioration continue de la circularité des chaînes logistiques.

Dans la suite de cet article, la section 2 présente des travaux connexes de l'état de l'art en se concentrant sur les méthodes qui pourraient être appliquées pour améliorer la circularité des chaînes logistiques. La section 3 fournit une définition

détaillée de la notion de chaîne logistique circulaire à l'aide d'un modèle générique de chaines logistiques décrit en UML. L'aperçu de la méthode est présenté dans la section 4, suivi dans la section 5 d'un cas d'utilisation illustratif dans le domaine du textile. La section 6 discute de l'apport de la construction de la méthode CircuSChain dans l'amélioration du framework As-Is/As-If. Enfin, la section 7 conclut l'article et présente quelques perspectives de recherche.

2. Travaux connexes

Les méthodes d'évolution continue répondent à divers besoins d'amélioration allant d'améliorations mineures à des changements radicaux (Cela, 2021). Cette vision holistique de l'évolution continue, que nous proposons dans des travaux antérieurs (Cela et al., 2019), a un impact sur les méthodes à utiliser pour mettre en œuvre cette évolution. Notre point de vue est que ces méthodes doivent d'une part s'appuyer sur des cycles d'évolution continue (par opposition aux approches par projet qui ont un budget et des dates délimités) et d'autre part favoriser au maximum la participation active et collective des acteurs de l'organisation. En ce sens, les approches ludiques et participatives sont particulièrement adaptées afin de réduire la barrière à l'entrée pour les participants. Nous prenons également en compte le niveau de formalisation de la méthode, par exemple par la proposition d'un méta-modèle de produit pour définir les différents composants de la méthode et leurs relations, peut aider la conception de l'outil support à la méthode. De plus, la spécificité du domaine est un avantage important d'une méthode afin d'obtenir une orientation plus fine si les utilisateurs finaux ne sont pas des experts du domaine. L'ensemble de ces critères nous permet de comparer les travaux connexes dans le tableau 1 selon les considérations mentionnées ainsi que de positionner notre approche.

Différents exemples de méthodes d'évolution ou d'amélioration continue peuvent être trouvés dans la littérature. *PDCA (Plan, Do, Check, Act)* (Deming, 2018), *DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)* (Deep et al., 2018), *8D (8 Disciplines)* (Zarghami et Benbow, 2017) et *A3* (Shook, 2008) sont des méthodes génériques utilisant principalement une approche projet. Bien que la plupart d'entre elles aient été appliquées pour améliorer les applications ou les chaînes logistiques vertes/durables, elles n'ont pas été particulièrement appliquées pour améliorer la circularité des chaines logistiques. De plus, aucune de ces méthodes ne favorise une approche participative. À l'exception de DMAIC (Deep et al., 2018), les méthodes susmentionnées n'ont pas été formalisées, ce qui rend difficile la construction d'outils support à ces méthodes. Ces méthodes adoptent et promeuvent une interprétation et une application ad hoc. Par ailleurs, *UN Global Compact Business for Social Responsibility* (UN, 2015) propose un rapport intitulé « *Supply Chain Sustainability : A Practical Guide for Continuous Improvement* » contenant six étapes : *Commit, Assess, Define, Implement, Measure*, et *Communicate*. Ce guide vise à améliorer la durabilité d'une chaîne logistique et propose une approche participative. Malgré la spécificité de son domaine et son approche participative, il n'est cependant pas spécifiquement dédié aux chaines logistiques circulaires ni formalisé.

Table 1. Comparaison de méthodes et positionnement de la méthode CircuSChain

	Méthodes d'évolution continue		**Techniques de résolution de problème**		**Méthodes dédiées**	
Critères	PDCA	DMAIC	8D	A3	*UN Supply Chain Sustainability*	*CircuSChain*
Appliqué aux chaines logistiques	✓	✓	✓		✓	✓
Appliqué aux applications "green » / responsables	✓	✓		✓	✓	✓
Appliqué aux chaines logistiques circulaires						✓
Formalisation		Méta-modèle, outil support				Méta-modèle, outil support en construction
Approche participative					✓	✓

Le framework As-Is/As-If a été intrinsèquement construit et formalisé pour soutenir les cycles d'évolution continue et promouvoir une approche participative afin d'instiller dans les entreprises une culture de l'évolution continue. La méthode CircuSChain, qui est une adaptation de ce framework, hérite de ces caractéristiques. De plus, elle est dédiée aux chaînes logistiques circulaires.

3. Chaînes logistiques circulaires : définition et formalisation

Les principales caractéristiques d'une chaîne logistique circulaire s'appuient sur les principes d'économie circulaire suivants :

- C0**- Au moins une activité d'économie circulaire**. Une structure de chaîne logistique circulaire doit contenir au moins une activité d'économie circulaire (réutilisation, remise à neuf, recyclage, etc.) en plus des activités linéaires de la chaîne logistique (extraction de matériaux, production, distribution, utilisation, collecte et destruction).

- **C1- Boucles consécutives d'utilisation du matériel**. Cette caractéristique est basée sur le principe que les cycles consécutifs d'utilisation des produits, composants ou matériaux usagés prolongent leur durée de vie (« *power of circling longer »* (Ellen Mac Arthur Fondation, 2013, 2014). Par exemple, un téléphone

portable peut être reconditionné et réutilisé en seconde main (2ème boucle), puis ses composants seront eux-mêmes réutilisés pour fabriquer d'autres produits (non nécessairement des téléphones) (3ème boucle), et enfin les composants seront collectés pour être détruits (4ème boucle).

- **C2- Plusieurs options d'activités d'économie circulaire simultanées** : « *power of inner circle* » (Ellen Mac Arthur Fondation, 2013 ; 2014) et « *inertia principle* » (Stahel, 1982 ; 2010) Ainsi, plus la boucle est serrée, moins un produit doit être changé lors du retraitement. Par conséquent, avoir des boucles plus courtes implique une circularité plus élevée. Avoir plusieurs activités d'économie circulaire dans une chaîne logistique implique que l'activité la plus appropriée peut être choisie pour traiter un produit usagé en fonction de sa qualité. Cela évite une perte de valeur en termes d'énergie, de matériaux, de main-d'œuvre et de pollution.

- **C3- Boucles ouvertes (« *open-loops* ») et intégration de chaînes logistiques distinctes**. Cette caractéristique repose sur l'utilisation en cascade d'un produit dans différentes chaines logistiques : « *power of cascaded use* » (Ellen Mac Arthur Fondation, 2013 ; 2014), qui permet à un produit d'être réutilisé pour une autre activité que celle pour laquelle il avait été conçu au départ. Par exemple, les batteries de véhicules électriques peuvent être réutilisées pour être utilisées comme batteries alimentant des lampadaires.

La figure 2 présente sous forme d'un diagramme de classes UML un modèle générique permettant de caractériser les différents composants d'une chaîne logistique circulaire selon ces différentes caractéristiques. Un coefficient de circularité (circularityCoefficient) est défini pour chaque activité circulaire afin de déterminer son degré de circularité.

L'exemple informel présenté dans l'introduction sert d'illustration en partie basse de la figure. Les activités circulaires sont représentées par des carrés verts. Les carrés bleus représentent les activités linéaires telles que l'extraction, la production, la distribution et l'utilisation. Les activités circulaires telles que la réutilisation, la refabrication, le recyclage, etc., ont des dégradés de couleurs différents en fonction de leur coefficient de circularité. Plus les activités sont sombres, plus leur circularité est grande.

Une chaine logistique a deux attributs dérivés selon le type de produit (branche) et ses exigences (niveau) :

- une branche fait référence au type de produit fabriqué tout au long de la chaîne logistique.

- un niveau fait référence aux exigences du produit fabriqué le long de la chaîne logistique linéaire associée : la remise à neuf étant la réutilisation de produits usagés pour des applications moins exigeantes que les applications d'origine, les produits des chaînes logistiques linéaires intégrées ont des exigences moindres : par exemple, les exigences sont moindres pour des téléphones reconditionnés que pour des téléphones neufs.

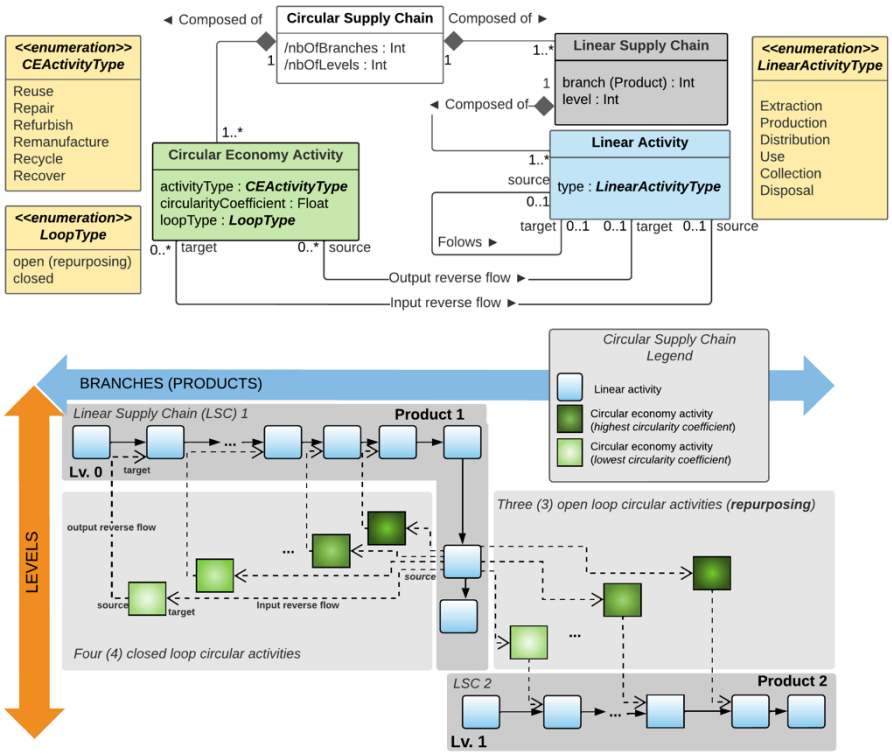

Figure 2. Modèle générique de chaine logistique circulaire

Ce modèle est au cœur de la méthode CircuSChain car il définit les différents composants dans lesquelles l'amélioration de la circularité peut être appliquée. Comme nous le verrons dans la section suivante, ce modèle sera intégré dans un modèle plus large qui formalise les différents aspects de l'évolution continue, comme les points bloquants, les indicateurs ou les changements.

4. Présentation générale de la méthode CircuSChain

Comme mentionné précédemment, le framework As-Is/As-If (Cela et al., 2019) est composé d'un modèle de processus exprimé avec le formalisme intentionnel MAP (Rolland et al., 1999) et d'un méta-modèle de produit formalisé en UML. Les modèles MAP sont des graphes orientés avec des nœuds représentant des intentions et des arcs capturant des stratégies pour atteindre ces buts. La figure 3 présente la map de 1er niveau représentant la vue générale du modèle de processus et les méta-classes de base du méta-modèle de produit du framework As-Is/As-If. En tant qu'adaptation du framework As-Is/As-If, la méthode CircuSChain est également composée d'un modèle de processus et d'un méta-modèle de produit. Comme

mentionné précédemment, CircuSChain est une méthode participative impliquant les acteurs de la chaîne logistique afin d'améliorer la circularité d'une chaîne logistique. Les stratégies de la méthode sont décrites à travers des protocoles et mises en œuvre à travers des séances animées par un animateur avec la participation des acteurs. Un exemple de protocole est donné au paragraphe 5.2. (tableau 2). Les autres protocoles sont accessibles en ligne[†].

La méthode CircuSChain vise à faire évoluer une chaine logistique appelée *As-Is Supply Chain*, en une ou plusieurs chaines logistiques plus circulaires, appelées *As-If Supply Chains*. La chaine logistique « *As-Is* » peut être soit une chaine logistique linéaire dans laquelle l'objectif est d'intégrer la circularité, soit une chaine logistique circulaire dans laquelle l'objectif est d'améliorer la circularité. Par conséquent, le modèle de processus est composé de deux intentions « *Characterize As-Is Supply Chain* » et « *Imagine As-If Supply Chain* ». La stratégie d'analyse vise à identifier les composants de la chaîne logistique « *As-Is Supply Chain* » et à mesurer sa circularité. La stratégie de diagnostic vise à diagnostiquer la chaîne logistique afin de définir des objectifs et des contraintes pour améliorer sa circularité. La stratégie d'évolution vise à faire évoluer la chaîne logistique en une ou plusieurs autres chaînes logistiques plus circulaires appelées « *As-If Supply Chains* ».

Concernant le méta-modèle de produit, le package principal contient la méta-classe *Supply Chain (SC)* et ses deux sous-classes : *As-Is Supply Chain* et *As-If Supply Chain*. Le package d'analyse est composé de deux méta-classes : *Component* et *Circularity Indicator*. La méta-classe *Component* est ensuite spécialisée selon le modèle générique présenté en section 3. Dans le package diagnostic, la notion de « *Best Available Supply Chain* » est introduite afin de diagnostiquer une chaine logistique par rapport au cas idéal de chaine logistique circulaire dans le même domaine. Ainsi lors du diagnostic, des écarts entre la chaine logistique « *As-Is* » et le cas idéal peuvent être détectés ; améliorer la circularité d'une chaine logistique consistera ainsi à essayer de réduire ces écarts par rapport au cas idéal dans le même domaine. Enfin, dans le package d'évolution, une chaine logistique « *As-Is* » pourrait évoluer vers une chaine logistique « *As-If* ». La méta-classe *Change* représente les changements nécessaires pour atteindre une chaine logistique plus circulaire. Un changement est modélisé industriellement par des changements opérationnels et est évalué afin de déterminer si le problème associé est résolu.

5. Illustration de 3 stratégies par l'exemple

Dans cette section, nous présentons une illustration de la méthode CircuSChain sur une chaine logistique dans le domaine du textile. L'évolution du modèle de la chaîne logistique et de l'indicateur de circularité est présentée pour mieux expliquer les étapes de la méthode.

[†]https://drive.google.com/file/d/1hlWQckgH_UweepI0qQEe_rZy8_fVwqRV/view?usp=sharing

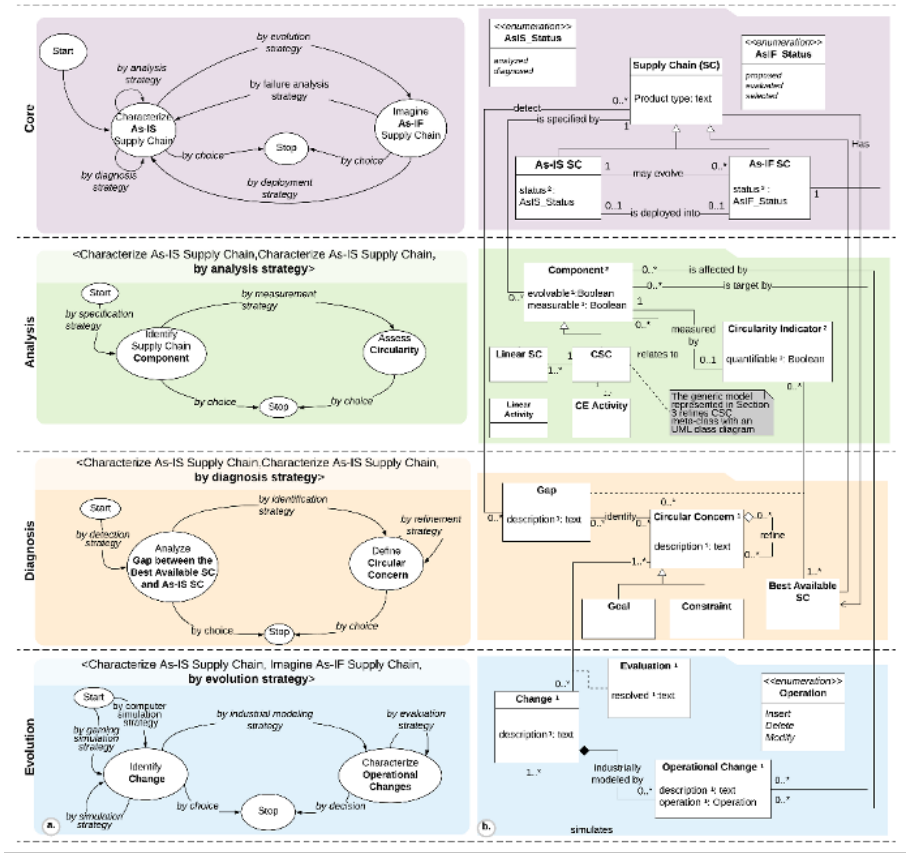

Fig. 3. Modèle de processus (a) et méta-modèle de produit (b) de la méthode CircuSChain

5.1. Stratégie d'analyse

La stratégie d'analyse « *by analysis strategy* » vise à caractériser la chaine logistique actuelle « *As-Is* » en identifiant d'abord ses composants. Dans un premier temps, l'animateur décrit la chaîne logistique avec des informations recueillies lors d'entretiens téléphoniques avec les acteurs, telles que le type de produit, les acteurs, les principales activités, etc. Ensuite, la chaîne logistique est modélisée par des experts de la chaîne logistique à travers un groupe de discussion en utilisant le modèle générique présenté dans la section 3. Un exemple de modèle obtenu est illustré en figure 4 dans le domaine du textile.

Ensuite, la circularité de la chaîne logistique « *As-Is* » doit être mesurée. La mesure commence par le choix des dimensions de circularité à mesurer et des

indicateurs de circularité. Les participants sélectionnent les indicateurs par le biais d'un groupe de discussion en utilisant un outil de classification proposé dans des travaux précédents (Kurt et al., 2021). Ensuite, la circularité de la chaîne logistique est calculée en fonction des indicateurs choisis. L'indicateur de circularité global issu de (Kurt, 2021) peut être utilisé à cette fin.

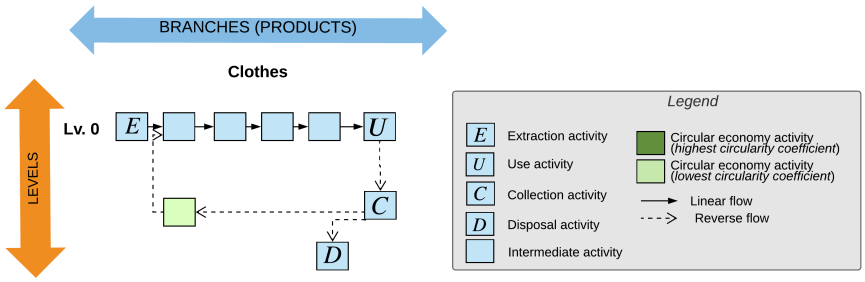

Figure 4. Un exemple de chaine logistique « As-Is » pour le domaine Textile, après exécution de la stratégie d'analyse

Dans l'exemple du domaine Textile, nous supposons que les participants choisissent comme indicateur de circularité la mesure de la pollution. L'animateur calcule alors la circularité de la chaine logistique « As-Is » selon cet indicateur et constate que cette circularité est actuellement calculée à 0,03.

5.2. Stratégie de diagnostic et « Cas idéal de Chaine logistique »

La stratégie de diagnostic « *by diagnosis strategy* » vise à diagnostiquer la chaîne logistique actuelle en tenant compte de son écart en terme de mesure de circularité, avec un « cas idéal de chaine logistique » selon le domaine et le type de produit concerné.

La structure d'une chaine logistique et sa circularité peuvent varier considérablement selon le type de produit. En effet, certaines activités circulaires ne sont pas applicables à tous les types de produits (par exemple, certains vêtements ne peuvent pas être reconditionnés). Le cas idéal de chaine logistique contient toutes les activités circulaires possibles pour le type de produit donné. Il est identifié grâce à la littérature et les caractéristiques de la chaine logistique (type de produit et choix des indicateurs de circularité à améliorer). La figure 5 montre un exemple de modèle du cas idéal de chaine logistique dans le domaine Textile. Dans ce cas idéal, différentes activités circulaires sont possibles pour les vêtements : réutilisation en boucle fermée (redistribution des vêtements via des friperies), réutilisation en boucle ouverte (réutilisation pour la fabrication d'autres types de produits tels que des matériaux d'isolation), réutilisation en boucle fermée et en boucle ouverte... La chaîne logistique linéaire pour les matériaux d'isolation est basée sur les travaux de

(Pavel et Blagneva, 2022). Les produits qui ne peuvent pas être réutilisés ou recyclés peuvent être utilisés pour produire de l'énergie.

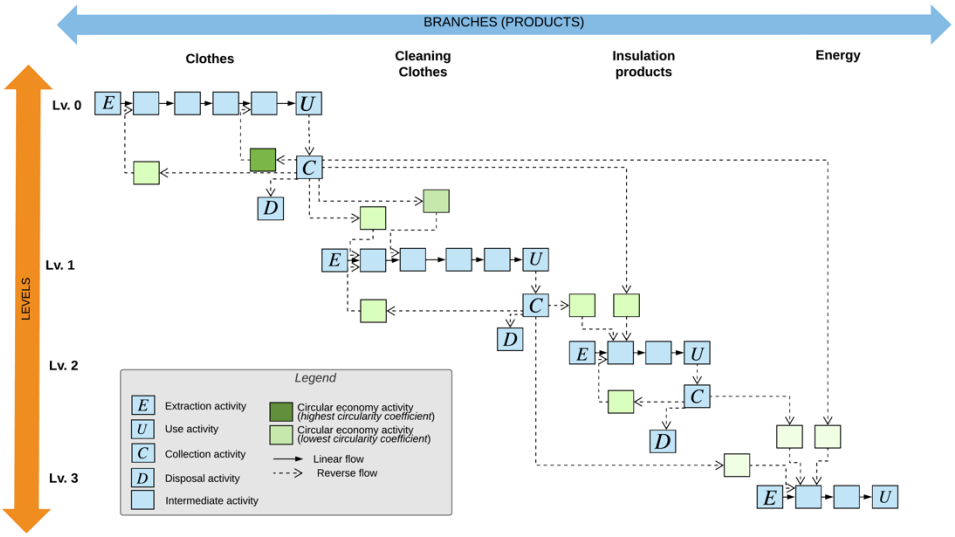

Figure 5. Exemple de chaîne logistique idéale dans le domaine Textile

L'analyse de l'écart entre la chaîne logistique idéale et la chaine logistique « *As-Is* » peut également conduire au calcul des indicateurs retenus pour le cas idéal en fonction de la pollution émise pour chaque activité, ainsi que la quantité optimale de produits collectés et leur répartition entre les activités circulaires. Dans l'exemple, la circularité de la chaîne logistique idéale est calculée à 0,11, cette valeur optimale étant extraite à partir de la littérature ou d'entretiens avec des acteurs industriels. Ensuite, l'écart entre les deux chaînes logistiques est discuté avec les membres participants, et la sous-stratégie « *by identification strategy* » doit permettre de définir les objectifs et les contraintes en terme de circularité. Les participants sont invités à discuter de leurs objectifs et de leurs contraintes dans le cadre d'une séance de focus-group. Les étapes de ce focus-group sont résumées avec le protocole défini dans le tableau 2.

Dans notre exemple, les nouvelles activités en boucle ouverte qui existent dans le cas idéal de chaîne logistique nécessitent une collaboration avec de nouveaux acteurs. Par conséquent, le manque d'acteurs pourrait être une contrainte. L'objectif de circularité à atteindre est défini en tenant compte de ces contraintes et des écarts avec le cas idéal, il peut donc être inférieur au cas idéal selon les contraintes et les indicateurs de circularité choisis. Les contraintes et objectifs identifiés pour le cas Textile sont présentés dans la Fig. 6.

Table 2. Protocole de la stratégie « by identification strategy »

Protocole		<Analyze Gap between Best Available SC and As-IS SC, Define Circular Goal and Constraint, by identification strategy>		
Type de Session		Focus Group		
Participants		Gestionnaire et acteurs de la chaîne logistique		
N°	**Etape**	**Description**	**Rôle des participants**	**Supports**
1	Rappel des écarts avec le cas idéal (10 min)	L'animateur rappelle les principaux écarts entre la chaîne logistique idéale et la chaîne logistique « *As-Is* »	Passif	Modèle et indicateurs de circularité de la chaîne logistique idéale et de la chaîne logistique « *As-Is* »
2	Identification des contraintes (30 min)	L'animateur initie une discussion sur les contraintes liées à l'amélioration de la chaîne logistique : • Contraintes économiques ? • Besoin d'un nouvel acteur ? Si oui, quelles sont les contraintes liées à cet acteur ? • Capacités liées au flux de matières ? • Contraintes du marché ?	Actif/ Collectif	Post-its avec les différents types de contraintes
3	Détermination des objectifs (10 min)	L'animateur initie une discussion sur les objectifs de circularité à atteindre, en considérant le contraintes et le cas idéal de chaîne logistique : • Quels objectifs souhaitez-vous atteindre pour vous rapprocher du cas idéal ?	Actif/ Collectif	Post-its
4	Synthèse (10 min)	L'animateur fait une synthèse des objectifs et des contraintes et établit les priorités avec les participants.	Actif/ Collectif	-

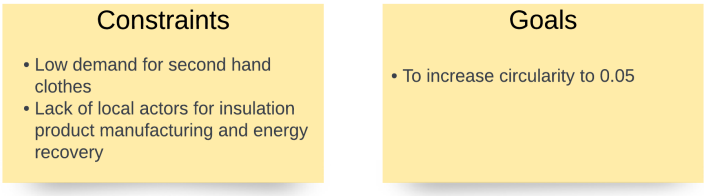

Fig. 6. Exemples de buts et contraintes identifiés pour le cas Textile

5.3. Stratégie d'évolution

La stratégie d'évolution « *by evolution strategy* » vise à imaginer une ou plusieurs chaînes logistiques « *As-If* », c'est-à-dire des chaînes logistiques plus circulaires. Elle se compose de deux intentions : « *Identifier les changements* » et « *Caractériser les changements opérationnels* ». La stratégie d'évolution commence par des stratégies de simulation de jeu ou de simulation informatique pour identifier les changements qui aideraient à atteindre les objectifs de circularité précédemment déterminés. Les changements proposés sont simulés à l'aide du jeu sérieux CircuSChain Game proposé dans des travaux antérieurs (Kurt et al., 2022) ou d'un outil de simulation industriel pour prédire l'évolution des indicateurs sélectionnés. Dans l'exemple du domaine Textile, nous supposons que les participants identifient les changements en tenant compte du cas idéal de chaîne logistique et des objectifs et des contraintes identifiés à la figure 6, et proposent la chaine logistique « *As-If* » telle que représentée en figure 7. Dans ce modèle, à cause des contraintes spécifiées, l'activité de réutilisation en boucle fermée et l'intégration de matériaux d'isolation n'ont pas pu être envisagées. Malgré tout, la circularité est calculée à 0,053, ce qui est mieux que la circularité de la chaîne logistique « *As-Is* » calculée à 0,03 lors de la stratégie d'analyse.

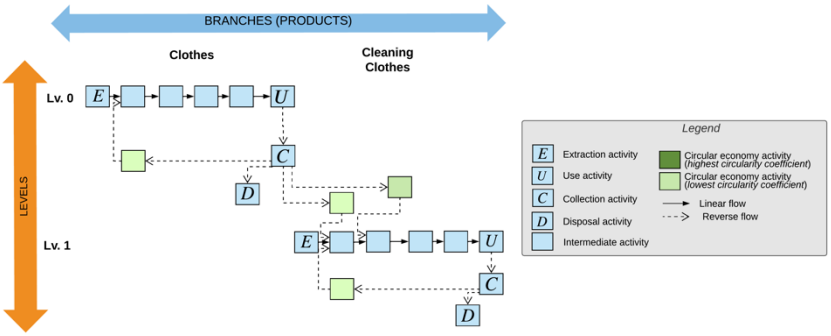

Fig. 7. Un exemple de chaîne logistique « As-If » pour le domaine Textile

6. Discussion

La méthode CircuSChain est une méthode participative qui vise à aider les responsables Supply Chain à transformer une chaîne logistique linéaire en chaîne logistique circulaire, ou à améliorer la circularité d'une chaîne logistique de manière continue. Elle orchestre différents outils proposés dans des travaux précédents : 1) dans la stratégie d'analyse, un modèle générique est utilisé pour analyser la circularité de la chaîne logistique, 2) dans la stratégie de diagnostic, des indicateurs existants sont réutilisés et de nouvelles dimensions de circularité et leurs indicateurs correspondants sont introduits pour diagnostiquer la chaîne logistique par rapport au cas idéal de chaîne logistique ; 3) dans la stratégie d'évolution, le jeu sérieux CircuSChain Game aide les acteurs à imaginer des scénarios possibles de chaînes

logistiques plus circulaires. Tous ces outils ont été validés indépendamment par des publications ou une validation utilisateur. Par exemple, le jeu sérieux CircuSChain Game (Kurt et al., 2022) a été évalué lors d'expérimentations pour observer la valeur éducative, le rythme, la valeur ludique et la simplicité du jeu. De plus, la méthode CircuSChain est une adaptation du framework As-Is/As-If (Cela et al. 2019) qui avait déjà été utilisé pour proposer des méthodes d'évolution continue dans deux types de systèmes différents : les écosystèmes (méthode ADInnov (Cortes-Cornax et al., 2016)) et les processus métiers (méthode CEFOP (Cela et al., 2019)). Ces différents cas d'utilisation du framework As-Is/As-If nous permettent de légitimer le fait que la méthode CircuSChain propose des techniques participatives et ludiques pour impliquer les acteurs dans l'évolution continue d'un système, ici une chaîne logistique circulaire. Néanmoins, la méthode CircuSChain en est à sa première version et nécessite une utilisation dans des cas industriels réels de chaînes logistiques pour être améliorée et validée.

Du point de vue de l'ingénierie des méthodes, l'objectif de l'adaptation du framework As-Is/As-If à la méthode CircuSChain présentée dans cet article était d'évaluer davantage la généricité et l'extensibilité du framework et de le renforcer en le confrontant à un nouveau type de système évolutif : les chaînes logistiques circulaires. En effet, l'adaptation du framework au domaine des chaînes logistiques circulaires nous amène à une évolution importante du framework pour prendre en compte la notion de « cas idéal » dans la stratégie de diagnostic, notion apparue comme très importante pour diagnostiquer la circularité de la chaîne logistique étudiée. Le concept de cas idéal de chaîne logistique a été ajouté au méta-modèle de produit de la méthode CircuSChain, et les intentions correspondantes ont été ajoutées au modèle de processus. Le framework As-Is-As-If a ainsi prouvé son extensibilité, nous permettant d'ajouter de nouvelles classes et associations dans le méta-modèle de produit et de nouvelles stratégies dans le modèle de processus. Cependant, du point de vue de l'Ingénierie des méthodes, nous devons encore approfondir pour déterminer si cette notion de cas idéal est pertinente pour d'autres domaines et doit être inclus dans le framework As-Is/As-If lui-même ou s'il ne correspond qu'au domaine des chaînes logistiques circulaires.

7. Conclusion

L'économie circulaire apparait aujourd'hui comme une solution potentielle aux problèmes environnementaux, et les chaînes logistiques jouent un rôle essentiel dans son adoption auprès des industriels. Une transition réussie vers des chaînes logistiques circulaires nécessite une mesure continue de l'amélioration de leur circularité. Dans cet article, nous proposons la méthode participative CircuSChain permettant l'évolution continue des chaînes logistiques pour les rendre plus circulaires. Cette méthode est une adaptation du framework As-Is/As-If, qui facilite la construction d'une méthode d'évolution continue, jouant le rôle d'un template sur lequel une méthode cible peut s'appuyer. La méthode CircuSChain intègre des outils précédemment proposés, tels qu'un modèle générique, un indicateur de circularité, un outil de classification des indicateurs et un jeu sérieux pour promouvoir les

chaînes logistiques circulaires. Elle aide les responsables des chaînes logistiques à transformer leurs chaînes logistiques linéaires en chaînes logistiques circulaires, puis à les faire évoluer vers davantage de circularité de manière continue.

Nous avons illustré l'utilisation de la méthode par un exemple du domaine Textile basé sur la littérature. Cependant, des exemples issus de différents secteurs et des cas industriels réels sont encore nécessaires pour évaluer et valider la méthode CircuSChain. De plus, du point de vue de l'ingénierie des méthodes, le framework As-Is/As-If a prouvé son adaptabilité pour un nouveau type de système évolutif : les chaînes logistiques. Néanmoins, cette adaptation nous conduit à nous interroger sur l'introduction de la nouvelle notion de « Cas idéal » dans le méta-modèle produit de la méthode. Des travaux futurs sont nécessaires pour explorer l'utilité de cette notion dans d'autres domaines.

Remerciements

Cette recherche est soutenue par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme « Investissements d'avenir » (ANR-15-IDEX-02) à travers le Programme Transversal CIRCULAR et par la Région Auvergne Rhône Alpes dans le cadre du programme « R&D BOOSTER 2019 – Projet INROBOT ».

Bibliographie

Ahi, P., Searcy, C.: A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production. 52, 329–341 (2013). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018

Blomsma, F., Brennan, G.: The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. Journal of Industrial Ecology. 21, 603–614 (2017). https://doi.org/10.1111/jiec.12603

Cela, O.: A General Framework for the Continual Evolution Methods ; Adaptation to the Continual Evolution of Organization' s Business Processes PhD Thesis. HAL Id : tel-03346021, (2021)

Cela, O., Front, A., Rieu, D.: CEFOP: A method for the Continual Evolution of Organizational Processes. Proceedings - International Conference on Research Challenges in Information Science. 33–43 (2017). https://doi.org/10.1109/RCIS.2017.7956515

Cela, O., Cortes-Cornax, M., Front, A., Rieu, D.: Methodological Framework to Guide the Development of Continual Evolution Methods. In: International Conference on Advanced Information Systems Engineering. pp. 48–63 (2019)

Cortes-Cornax, M., Front, A., Rieu, D., Verdier, C.: ADInnov: an Intentional Method to Instil Innovation in Socio-Technical Ecosystems. In: International Conference on Advanced Information Systems Engineering (2016)

Deeb, S., Haouzi, H.B. El, Aubry, A., Dassisti, M.: A generic framework to support the implementation of six sigma approach in SMEs. IFAC-PapersOnLine. 51, 921–926 (2018). https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.490

Deming, W.E.: Out of the Crisis, reissue. MIT press (2018)

Ellen MacArthur Foundation: Towards the Circular Economy. (2013)

Ellen MacArthur Foundation: Towards the Circular Economy Vol.3: Accelerating the scale-up across global supply chains. (2014)

Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., Huisingh, D.: Circular supply chain management: A definition and structured literature review. Journal of Cleaner Production. 228, 882–900 (2019). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J.: The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production. 143, 757–768 (2017). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Genovese, A., Acquaye, A.A., Figueroa, A., Koh, S.C.L.: Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. Omega. 66, 344–357 (2017). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015

Jain, S., Jain, N.K., Metri, B.: Strategic framework towards measuring a circular supply chain management Sourabh. Benchmarking: An International Journal. 25, 3238–3252 (2018). https://doi.org/DOI 10.1108/BIJ-11-2017-0304

Kurt, A.: Models and Tools for the Design , Assessment , and Evolution of Circular Supply Chains, Thèse de doctorat en Génie Industriel de l'Université Grenoble Alpes (2021) ⟨NNT : 2021GRALI112⟩. ⟨tel-03615489⟩

Kurt, A., Cortes-Cornax, M., Cung, V.-D., Front, A., Mangione, F.: A Classification Tool for Circular Supply Chain Indicators. In: Advances in Production Management Systems. pp. 644–653. Springer (2021)

Kurt, A., Cortes-Cornax, M., Cung, V.-D., Mangione, F., Kaddouri, S.: CircuSChain Game: A Serious Game to Explore Circular Supply Chains. In: Handbook of Research on Promoting Economic and Social Development Through Serious Games. pp. 395–419. IGI Global (2022)

Pavel, C.C., Blagoeva, D.T.: Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings. (2018)

Rolland, C., Prakash, N., Benjamen, A.: A multi-model view of process modelling. Requirements engineering. 4, 169–187 (1999)

Shook, J.: Managing to learn: using the A3 management process to solve problems, gain agreement, mentor and lead. Lean Enterprise Institute (2008)

Stahel, W.R.: The Product-Life Factor. In: Orr, S.G. (ed.) An Inquiry Into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector. NARC (1982)

Stahel, W.R.: The Preformance Economy. Springer (2010)

Teck-Yong Eng: The Influence of a Firm's Cross-Functional Orientation on Supply Chain Performance. Journal of Supply Chain Management. 41, 4–16 (2005). https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2005.04104002.x

UN Global Compact Business for Social Responsibility: Supply Chain Sustainability: A Practical Guide for Continuous Improvement (Second Edition). (2015)

Zarghami, A., Benbow, D.: Introduction to 8D problem solving. The Journal for Quality and Participation. 40, 23–28 (2017)