

Rapport de clôture du projet ZAPATEKO II

« METHODE DE REVALORISATION DE CHAUSSURES POST CONSOMMATION PAR LE TRI AUTOMATIQUE, ET L'ARRACHAGE ASSISTE »

Parmi les technologies émergentes de ces dernières années sur le recyclage automatisé des chaussures, il peut être cité l'exemple du projet réalisé par l'Université de Loughborough au Royaume-Uni en 2004 (SMART)^[1-2]. Ce projet a permis la création du premier démonstrateur de recyclage de chaussures par SOEX en Europe en 2012. Alors que ce processus repose sur le broyage intégral des chaussures puis la séparation des différentes matières broyées, il est évident d'imaginer qu'il faut avoir un taux de pureté élevé des matières isolées pour permettre une revalorisation des éléments de façon efficace.

De nombreux modèles de chaussures existent sur le marché, e.g. tennis, bottes, escarpins, derby, mules, sandales... Tous ces modèles ont des différences importantes, cependant la tige et la semelle sont les seuls invariants de tous ces produits : L'assemblage de ces deux ensembles forment la chaussure, ceux-ci pouvant être assemblés de manières différentes, e.g. par le soudage (ou collage), l'injection, la couture...

La tige est la partie haute de la chaussure, elle est composée d'un nombre parfois très important de matières et composants différents, qu'ils soient visibles ou non. Ces derniers peuvent être assemblés de manières différentes (couture, collage, soudure...).

La semelle peut être mono matière mais le plus souvent est composée de deux, voire plus de matières, notamment dans le cas de semelles préfabriquées, ce qui rend son démantèlement complexe.

Le projet ZAPATEKO II fait suite à une première étude menée avec d'autres partenaires et réalisé par l'ESTIA (Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées), afin d'identifier les freins technologiques au déploiement industriel et automatisé d'une filière du recyclage des chaussures.

Fort des problématiques mises en lumière ci-dessus, et du travail préliminaire mené avec l'ESTIA, les problématiques soulevées peuvent se situer au niveau :

- Du tri des chaussures en fin de vie : A l'instar de certaines technologies industrielles de tri textile, la chaussure reste un produit complexe par sa forme, son volume ou encore le nombre de composants le constituant,
- De la séparation : Considérant le nombre important de liaisons existant entre les matières d'une chaussure, et qu'il est essentiel pour nous de concevoir des produits durables (par la tenue des liaisons entre les composants), le démantèlement industriel est une problématique majeure afin de permettre une séparation efficace des matières,
- La revalorisation des matériaux issus du démantèlement : suivant les possibilités techniques de revalorisation, et l'état dans lequel sont extraits ces dites matières, il est important de dresser l'ensemble des exutoires possibles, ce d'un point de vue technique, économique, et environnemental.
- Ainsi, le projet ZAPATEKO II a pour objectif d'étudier la faisabilité technique et environnementale d'une filière de recyclage industrielle et automatisée.

1. Contexte et pertinence de l'étude par Intelligence Artificielle

Le 18 Juin 2021 s'est tenu sur le campus de l'ESTIA une journée thématique sur le thème du « tri optique » dans le cadre du financement par REFASHION du projet ZAPATEKO II. Cette journée réunissait des metteurs en marché de chaussures (Décathlon, Groupe ERAM), des collecteurs trieurs (GEBETEX, SYNERGIES TLC), des centres techniques et fédérations (CTC, REFASHION...), ou des apporteurs de solutions (VALVAN, LASER 2000).

L'intérêt de la reconnaissance d'un modèle de chaussure pour le recyclage par l'identification visuelle avec l'Intelligence Artificielle a été retenu notamment car elle permettrait :

- D'accéder aux compositions des chaussures
- D'accéder aux techniques d'assemblages
- De trier par catégories de chaussures
- De trier par matière de semelle
- De générer de la donnée.

Parmi les points de vigilances au premier développement de cette technologie :

- **L'action homme-machine reste un axe à privilégier.** Il est encore trop tôt à ce stade pour mesurer la capacité de cette technologie. Cependant, il faut faire une distinction entre le réemploi, qui nécessite une action de tri humain, d'une revalorisation en vue du recyclage, qui génère moins de valeur ajoutée ; En effet, sur le plan économique, cette solution technologique sera pertinente qu'à condition d'être combiné avec l'action humaine (tri préliminaire).
- **Une solution à confronter à terme aux autres solutions technologiques disponibles.** Il est évident que cette technologie devra être confronté aux autres solutions du marché (QR code, RFID, analyses spectrales...). De plus en fonction de la capacité et performance de celle-ci, il pourra être envisagé une hybridation des solutions (ex. d'un couplage par analyse spectrale pour identifier les matières de surface).
- **Accès à une base de données commune à l'ensemble de la filière,** ce pour permettre une revalorisation efficace.

2. Etude du démantèlement de la liaison tige-semelle

L'objectif de cette étape a été mené en deux phases :

- Caractériser les conditions d'arrachage tige-semelle des chaussures soudées et injectées (sous-condition),
- Fort des premiers résultats, établir le cahier des charges d'une machine automatisée.

Plusieurs partenaires metteurs en marché ont participé à cette étude ; 297 produits du groupe ERAM représentant 20 modèles ont été analysés. Ainsi, il a été défini les conditions optimales de fragilisation des interfaces par modèle puis l'arrachage spécifique desdits éléments ; l'objectif étant de pouvoir également qualifier l'état des semelles.

2.1. Banc de test et processus de séparation tige-semelle

Le processus mis en place consiste en une première étape de réactivation thermique de la chaussure puis à un arrachage de la tige pour récupérer la semelle. La réactivation thermique de la chaussure permet de réactiver les colles (assemblages soudés). Pour les autres assemblages, il a été décidé de tester ce même processus afin de définir sa faisabilité. En effet, la chauffe peut permettre de modifier la structure des matériaux et ainsi rendre possible l'arrachage de la tige. Un banc d'essai (figure ci-dessous) nous a permis de caractériser les forces d'arrachages, mais également d'établir les conditions de maintien de position de la semelle, l'accroche de la tige...

L'ensemble des tests réalisés a permis de définir les configurations de chaussures, ainsi que les conditions de fragilisation des interfaces optimales et communes pour l'ensemble des chaussures avec le procédé étudié. Enfin, le processus ne semble pas dégrader les matériaux ce qui est l'objet de la phase d'étude suivante : revalorisation des matières de semelage.



Figure 1. Exemple de visuels de résultats d'arrachage

2.2. Conception du démonstrateur de séparation tige-semelle

Comme évoqué ci-dessus, la première phase du projet a consisté à caractériser la séparation tige semelle des chaussures. Cette étude a permis de réaliser un cahier des charges du démonstrateur dans lequel a été présenté toutes les fonctions et les contraintes du système telles que :

- Typologies de chaussures intégrables,
- Conditions de fragilisation des interfaces tige-semelle,
- Force d'arrachage minimum requise,
- Capacité moyenne de démantèlement.

A terme, le rendement pourra être amélioré.

3. Etude de revalorisation des semelles et premières analyses d'impact environnementaux

Au travers des résultats issus des précédentes étapes, et avec l'aide de nos partenaires commerciaux, il a été permis un travail de démantèlement spécifique de certains de nos modèles, ainsi qu'une étude de réintégration des matières premières démantelées de semelles spécifiques dans de nouvelles semelles.

Nous avons ciblé notre étude sur des semelles élastomères et thermoplastique. L'analyse des semelles issues de ce travail (spécificités techniques, e.g. densité, niveau d'abrasion, dureté shore...) nous a permis de réaliser une série de prototypes, eux même caractérisés selon leur niveau de durabilité, en s'inspirant de la méthodologie PEFCR (par la mesure de l'indicateur IQM) associée à une analyse d'impacts environnementaux complet depuis le processus d'identification de démantèlement automatisé, et de préparation des semelles démantelées. A l'issue de cette étude il apparait que l'intérêt environnemental du processus ne peut se faire qu'à partir du moment où à l'issue du démantèlement des éléments, nous sommes capables d'obtenir des matériaux qualitatifs et durables, pouvant se traduire par un niveau d'exigence au niveau des propriétés physiques telles que l'abrasion.

Selon cette étude, une intégration moyenne de matières post-consommation (sur les familles étudiées de semelle) implique une baisse d'impact associée, avec à minima plus de 3% sur l'effet du changement climatique.

Bibliographie :

[1] S.Rahimifard, T.Theodoros Staikos, G.Coates, Recycling of Footwear Products, A Position Paper Prepared by Centre for Sustainable Manufacturing and Reuse/recycling Technologies (SMART) Loughborough University, December 2007

[2] <http://refashion.fr/eco-design/sites/default/files/fichiers/Experimentation%20Assessment%20of%20Air-Soex%20Project.pdf>, nov.2022

[3] <https://pefapparelandfootwear.eu/whats-behind-the-methodology/>, Nov.22