



HAL
open science

Vers une économie circulaire - Récupération de l'argent issu du recyclage des appareils électroniques imprimés sur des substrats celluloseux

Ramzi Khiari, Nathalie Marlin, Lenka Svecova, Denis Curtil, Marc Arousseau, Nadège Reverdy-Bruas

► To cite this version:

Ramzi Khiari, Nathalie Marlin, Lenka Svecova, Denis Curtil, Marc Arousseau, et al.. Vers une économie circulaire - Récupération de l'argent issu du recyclage des appareils électroniques imprimés sur des substrats celluloseux. Congrès Interdisciplinaire sur l'Économie Circulaire 2024, Jun 2024, Montpellier, France. <hal-04813370>

HAL Id: hal-04813370

<https://hal.science/hal-04813370v1>

Submitted on 27 Feb 2025

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



Vers une économie circulaire - Récupération de l'argent issu du recyclage des appareils électroniques imprimés sur des substrats cellulodiques

R. KHIARI¹, N. MARLIN¹, L. SVECOVA², D. CURTIL¹, M. AUROUSSEAU, N. REVERDY-BRUAS¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP*, LGP2, 38000 Grenoble, France.

²Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP*,
LEPMI, 38000 Grenoble, France.

* Institute of Engineering Univ. Grenoble Alpes

Auteur correspondant : Ramzi KHIARI, ramzi.khiari@grenoble-inp.fr

Résumé

L'électronique imprimée est un secteur en pleine expansion. Comme il est motivé par les attentes de la société qui vise à utiliser principalement des substrats cellulodiques pour la production de produits de base (emballages fonctionnels, textiles intelligents,...), ce secteur constitue une stratégie pertinente pour les sujets de recherche. Dans ce contexte, la gestion et le recyclage appropriés de ces produits devraient être étudiés avant la production massive et l'accumulation de ces nouveaux déchets. Le concept d'éco-conception décrit nous a poussé à mener une étude sur la recyclabilité des produits décrits ci-dessus. Ainsi, dans cette stratégie, une nouvelle approche des processus de recyclage a été développée pour étudier l'efficacité de la récupération éco-efficace et sélective des principales matières premières utilisées dans ces produits, à savoir les fibres cellulodiques et les composants d'encre, en particulier les particules d'argent (Ag). Le présent travail porte sur le recyclage des antennes RFID imprimées sur un substrat cellulodique en utilisant l'impression de flexographie. Les procédés de séparation classiquement utilisés pour les papiers et cartons conventionnels ont été adaptés au recyclage des appareils électroniques. Ils consistent

tout d'abord à remise en suspension les feuilles imprimées dans l'eau. D'autres opérations unitaires successives peuvent être effectuées pour améliorer la séparation de l'argent du substrat. Ce procédé de recyclage génère 3 fractions, à savoir : (1) les fibres lignocellulosiques, avec une contamination résiduelle possible par des encres électroniques imprimées et des minéraux ou des substances provenant de la formulation initiale du substrat papier ; (2) une fraction de rejet solide contenant les composants fonctionnels ; (3) une fraction de séparation solide contenant les composants électroniques. Les résultats sont prometteurs car les procédés existants et éprouvés pourraient être adaptés pour séparer efficacement les matériaux fonctionnels des fibres celluloses.

Mots-clés : Antennes RFID, Recyclage, Epuration, Fibres de cellulose, Récupération d'Argent.

Contexte générale

De nos jours, la demande d'équipements électriques et électroniques (EEE) est élevée, ce qui entraîne une production importante de déchets à la fin de leur cycle de vie. Ces déchets sont appelés déchets électroniques (e-déchets). Les déchets électroniques sont des déchets d'élimination qui comprennent tous les composants, sous-ensembles et consommables qui font partie de l'appareil lorsqu'il est mis au rebut, réutilisé, recyclé, récupéré, éliminé et fabriqué. Selon l'Union européenne, les déchets électroniques sont une catégorie de gaspillage qui comprend également les appareils fonctionnant sous l'influence du courant électrique ou des champs électromagnétiques. Toutefois, les déchets électroniques ne peuvent être définis avec précision ni divisés en différentes catégories [1]. Compte tenu du volume important de déchets électroniques, qui peut être dû à la croissance rapide de la technologie, à la demande des consommateurs ainsi qu'à la croissance rapide de la technologie de l'Internet des objets (IoT) [2], plusieurs mesures ont été prises pour minimiser et surmonter l'énorme quantité de déchets électroniques.

Dans cette stratégie, plusieurs travaux de recherche récents sont orientés vers de

nouvelles technologies plus efficaces et efficientes qui résoudront le problème émergent de ce siècle [3]. Dans ce contexte, l'électronique imprimée (PE) est une nouvelle technologie moderne et respectueuse de l'environnement qui repose sur l'impression de circuits électriques à l'aide de plusieurs formulations et sur la possibilité de choisir le type de substrat.

Cette technique permet d'ajouter de nouvelles fonctionnalités telles que des produits flexibles, peu coûteux et technologiquement innovants, améliorant ainsi la qualité de vie des consommateurs [4,5]. Bien que l'introduction de produits électroniques imprimés sur papier représente une solution intéressante pour réduire la production de déchets d'équipements électriques et électroniques, leur fin de vie reste une question clé qui nécessite de nombreuses recherches. Les dispositifs électroniques imprimés sur des substrats de cellulose se développent rapidement. Ces produits imprimés se retrouvent sur des emballages, des magazines ou des étiquettes et, après utilisation, ils sont finalement éliminés dans le cadre du tri sélectif traditionnel. Ces dispositifs électroniques imprimés sur supports cellulosiques (figure 1) sont composés à plus de 90 % de cellulose, une bioressource naturelle et renouvelable, peu coûteuse et recyclable. Cependant, les dispositifs électroniques contiennent de nombreux matériaux précieux contenant des métaux conducteurs, qui sont nobles (tels que l'or, l'argent, le cuivre et le palladium), des polymères conducteurs ou isolants et des composants en silicium.

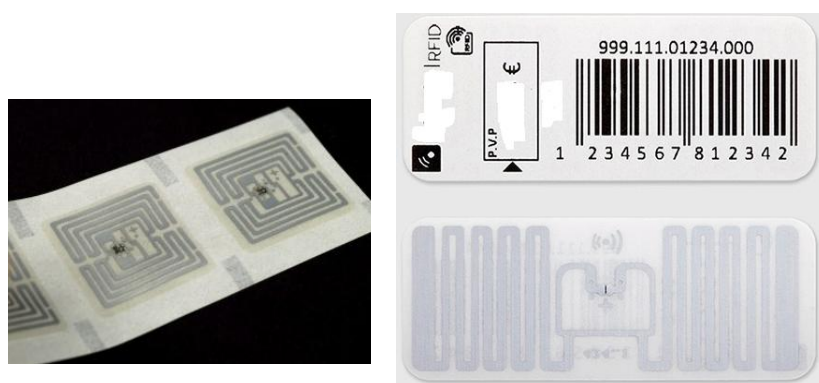


Figure 1. Un dispositif Elec-imprimé.

Ces composants électroniques à base de papier peuvent être recyclés. Les fibres et les encres fonctionnels sont récupérés et réutilisés pour d'autres applications. Plusieurs travaux récents [6,7,8] montrent clairement que le recyclage du papier imprimé avec des circuits électroniques est une voie prometteuse afin de récupérer les fibres et les métaux [6,8]. Le principal défi du recyclage des produits en papier électronique est d'éliminer suffisamment les contaminants tout en obtenant des fibres propres adaptées à de nouveaux cycles de production de papier. Une bonne séparation fibre-métal est donc nécessaire car les métaux sont considérés comme des impuretés dans le processus de décoloration [7]. Le choix des métaux est fortement lié à la nature des matériaux fonctionnels à préparer et à leurs caractéristiques intrinsèques (particules métalliques de taille nano et/ou micro, polymères, nanostructures de carbone, etc.) qui peuvent être utilisés dans les formulations d'encre [9]. En électronique imprimée, le choix de la formulation dépend énormément de la nature des matériaux qui sont divisés en différentes catégories, selon leur fonction : (i) conducteur ; (ii) semi-conducteur (iii) diélectrique/isolant.

Par exemple, dans le cas des encres conductrices, les encres à base de métal ont la conductivité la plus élevée par rapport aux autres types d'encres conductrices. En particulier, l'argent "Ag" est le métal le plus utilisé pour l'électronique imprimée en raison de sa conductivité élevée et de sa stabilité, même après oxydation [6]. Pour assurer un cycle de recyclage parfait, la récupération de l'argent des produits électroniques imprimés est aussi importante que celle des fibres [8]. Cette voie s'inscrit dans un cadre de développement de l'écoconception et de l'économie circulaire. Pour y parvenir, le processus de recyclage doit être optimisé afin d'obtenir le meilleur rendement de valorisation possible sans perdre d'argent à chaque étape. Dans cette optique, ce travail consiste à l'étude de la faisabilité du recyclage des antennes RFID à l'aide d'une ligne de recyclage de papier conventionnelle. Nous examinons l'efficacité des opérations unitaires de recyclage du PE imprimé. L'efficacité du recyclage a été déterminée sur la base du bilan de masse.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ANR - FRANCE (Agence Nationale de la Recherche) pour son soutien

financier au projet REVeBIO n° AAPG2022.

Références

- [1] C.B. Tabelin, I. Park, T. Phengsaart, S. Jeon, M. Villacorte-Tabelin, D. Alonzo, *Resources, Conservation and Recycling* **170**, 105610 (2021).
- [2] L. Roselli, C. Mariotti, P. Mezzanotte, F. Alimenti, G. Orecchini, M. Virili, N. B. Carvalho *Proceedings of the IEEE*, 1-3 (2015).
- [3] C. W. Schmidt, *Environmental Health Perspectives* **110**, 188 (2002).
- [4] S. Nandy, S. Goswami, A. Marques, D. Gaspar, P. Grey, I. Cunha, D. Nunes, A. Pimentel, R. Igreja, P. Barquinha, L. Pereira, E. Fortunato, R. Martin, *Advanced Materials Technologies* **6**, 2000994 (2021).
- [5] A. Sudheshwar, N. Malinverno, R. Hischer, B. Nowack, and C. Som, *Resources, Conservation and Recycling* **189**, 106757 (2023).
- [6] F. Hoeng, A. Denneulin, J. Bras, *Nanoscale* **8**, 3131 (2016)
- [7] V. Subramanian, J.M.J. Frechet, P.C. Chang, D.C. Huang, J.B. Lee, S.E. Molesa, A.R. Murphy, D.R. Redinger, S.K. Volkman, *Proceedings of the IEEE*, **93**, 1330 (2005).
- [8] J. H. Ferreira Da Conceição, M. Party, D. Curtil, L. Svecova, N. Marlin, N. Reverdy-Bruas, *Flexible and Printed Electronics* **8**, 035014(2023).
- [9] W. Wu, *Nanoscale*, **9**, 7342 (2017).