



**HAL**  
open science

# Amélioration de la soutenabilité de la fin de vie des produits industriels en utilisant un système d'aide à la décision basé sur le jumeau numérique et la gestion des connaissances

Chorouk Moufih, Raoudha Gaha, Alexandre Durupt, Benoît Eynard

## ► To cite this version:

Chorouk Moufih, Raoudha Gaha, Alexandre Durupt, Benoît Eynard. Amélioration de la soutenabilité de la fin de vie des produits industriels en utilisant un système d'aide à la décision basé sur le jumeau numérique et la gestion des connaissances. S-MART 2023: 18ème Colloque national S.mart, Arts et Métiers Paristech ENSAM Aix-en-Provence, Université de Toulon [UTLN], Apr 2023, Carry-le-Rouet, France. hal-04278692

**HAL Id: hal-04278692**

**<https://hal.science/hal-04278692>**

Submitted on 10 Nov 2023

**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.

# Amélioration de la soutenabilité de la fin de vie des produits industriels en utilisant un système d'aide à la décision basé sur le jumeau numérique et la gestion des connaissances

C.Mouflih <sup>a, \*</sup>, R.Gaha <sup>a</sup>, A.Durupt <sup>a</sup>, B.Eynard <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire Roberval, rue du Dr Schweitzer, CS 60319, 60203 Compiègne cedex France

\* e-mail : chorouk.mouflih@utc.fr

## 1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, dans le cadre de la crise environnementale les clients et les industriels sont de plus en plus conscients des problèmes liés au changement climatique et de l'épuisement des ressources naturelles. Ce qui consiste un moteur de changement important vers une industrie soutenable.

Dans ce cadre, le processus de désassemblage est une approche systématique séparant un produit en parties en supprimant ses composants, sous-ensembles ou parties constructives [3], c'est l'un des processus les plus stratégiques du refabrication puisqu'il joue un rôle clé dans le recyclage des matériaux et composants (Mok, Wu and Lee, 1999) ainsi qu'avec un potentiel très important pour réduire l'utilisation et le gaspillage de matières premières et augmente l'utilisation des ressources ainsi que limiter la pollution [6],[10]. Cependant, il est considéré comme un processus très critique en raison de son degré élevé d'incertitude causé par l'état inconnu de la qualité et de la structure des produits en fin de vie [3]. Ce qui rend l'acquisition et la disponibilité des données très difficiles et complique la prise de décision.

Afin d'avoir un désassemblage soutenable qui considère simultanément les implications économiques, environnementales et sociales associées au désassemblage des produits, il est nécessaire d'avoir une prise de décision concernant ce processus axé sur la soutenabilité. Elle doit également être basée sur des informations fiables et à jour sur le cycle de vie du produit. Cependant, en raison de la complexité et de toutes les incertitudes des produits en fin de vie (c'est-à-dire

formes, tailles, conditions physiques incertaines des matériaux utilisés, etc.) [1] et la difficulté d'obtenir des informations précises sur la vie des produits une fois que les produits sont retournés aux refabricants [8]. Il est très important d'explorer des nouvelles méthodes pour mettre à la fois toutes les informations nécessaires à la disposition des preneurs de décision afin qu'ils puissent prendre les décisions nécessaires pour avoir le processus de désassemblage le plus durable des produits en fin de vie.

Par conséquent et en raison des caractéristiques du système de gestion des connaissances qui peut être défini en tant qu'un système utilisé pour stocker les connaissances nécessaires à la résolution d'un problème spécifique [9]. Ainsi que les fonctionnalités du jumeau numérique qui est un modèle virtuel qui correspond à des entités physiques dans le monde réel. Il peut simuler le comportement et les performances des entités en temps réel. Il est basé sur la collecte et le partage d'informations, [2], l'utilisation de ces deux technologies peut être très intéressante dans le cadre de la prise de décision du processus de désassemblage des produits en fin de vie.

Peu d'études ont étudié l'utilisation d'un système de gestion des connaissances et un jumeau numérique dans le processus de désassemblage. Cependant, [4] ont présenté les applications de jumeau numérique pour une solution de tâches de diagnostic statiques et dynamiques. Ils ont aussi présenté l'usage d'un système de management basé sur la gestion des connaissances pour une solution des tâches des diagnostics statiques. En outre, [5] ont présenté une ombre numérique basée sur la connaissance, en tant que composant central des

futures applications du jumeau numérique dans la fabrication. Malgré le grand gain potentiel que les systèmes de gestion des connaissances et la technologie de jumeau numérique peuvent offrir pour adopter une approche soutenable et améliorer la soutenabilité de la fin de vie des produits, en particulier le processus de désassemblage, il existe encore un grand manque de recherche dans ce domaine spécifique.

L'objectif de ce travail est d'étudier le potentiel de l'outil d'aide à la prise de décision KBDTw pour améliorer la soutenabilité du désassemblage des produits en fin de vie en alimentant les preneurs de décision des premières étapes de cycle de vie des produits par les informations et connaissances.

Dans cette étude, nous premièrement présentons l'outil d'aide à la prise de décision KBDTw et son fonctionnement. Deuxièmement, nous présentons l'amélioration que l'outil peut apporter à la soutenabilité de la fin de vie des produits en alimentant les preneurs des décisions avec des informations et des connaissances issues des désassemblages de leurs produits. Troisièmement, une étude de cas de la fin de vie d'une boîte internet est développée. Et finalement une conclusion est présentée.

## 2. LE KBDTW POUR UN DESASSEMBLAGE SOUTENABLE

Afin d'améliorer la soutenabilité des produits en fin de vie et de résoudre les problèmes dus au manque des informations nécessaires sur le cycle de vie qui conduisent à une prise de décision non optimale [8], notre proposition consiste en un outil d'aide à la décision, qui vise à aider les parties prenantes à choisir le scénario de désassemblage des produits en fin de vie le plus

Notre étude est basée sur l'hypothèse que les produits dans leurs fins de vie sont retournés à leur fabricant pour le traitement de fin de vie. De plus, le fabricant effectue toutes les opérations d'entretien, maintenance et de réparation.

Le principe de fonctionnement de cet outil est comme suite (figure 1):

Afin de permettre une prise de décision qui va mener à

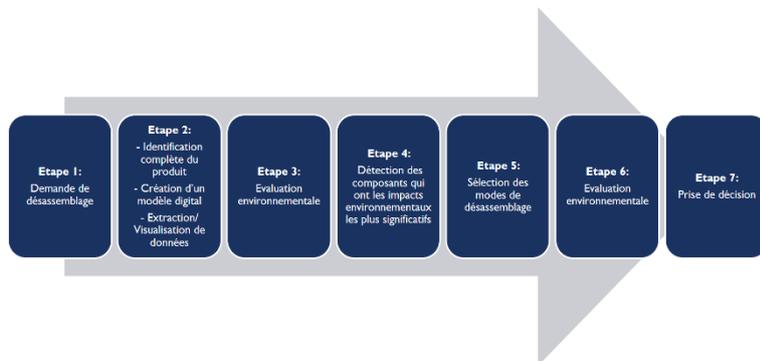


Figure 1 : les étapes de fonctionnement de l'outil d'aide à la prise de décision KBDTw

avoir un désassemblage soutenable, l'outil KBDTw permet en premier temps à détecter les composants avec l'impact environnemental le plus important (étape 4) en se basant sur une première étude environnementale (étape 3) du produit (sans prendre en considération la fin de vie), cette étude est réalisée en se basant sur les informations extraites de la base de connaissances (tableau 1) après l'identification du produit (à l'aide d'un QR code) et la création de son modèle digital (étape 2).

Ensuite, une deuxième et dernière étude environnementale est réalisée, en prenant en considération les différents scénarios de désassemblage.

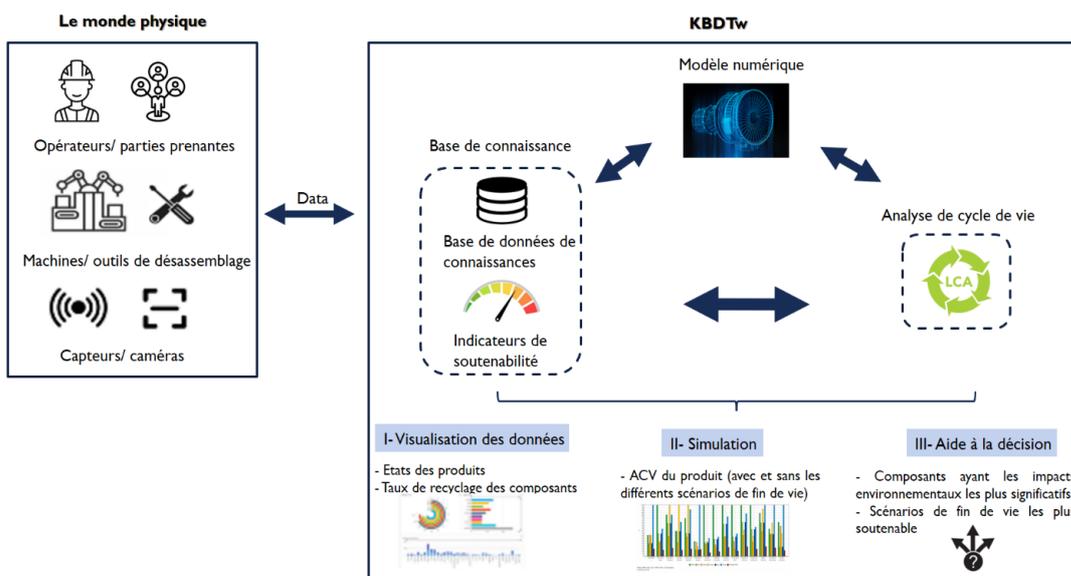


Figure 2 : Le Framework de l'outil d'aide à la prise de décision KBDTw

soutenable (cet outil a été défini dans un de nos travaux précédents.

Les scénarios de désassemblage sont précédemment identifiés par les preneurs de décision en se basant sur les

résultats de la première étude environnementale (étape 3).

Les résultats de la dernière étude environnementale doivent permettre de définir les scénarios de désassemblage les plus impactants et aider les preneurs de décision de choisir le scénario le plus adéquat et le plus soutenable. Le jumeau numérique va permettre d'assurer la continuité numérique de l'ensemble des composants du système et va être mis à jour constamment en s'alimentant de l'ensemble des données extraites de la base de connaissances ainsi que les données concernant le processus de désassemblage en temps réel.

**Tableau 1 : Exemple des informations de la base de connaissances**

Information
Nomenclature
Durée de vie
Temps d'utilisation
Description des interventions de maintenance
Dates des interventions de maintenance
la condition de des sous-ensembles, des assemblages intermédiaires, des sous-composants et des pièces du produit en fin de vie

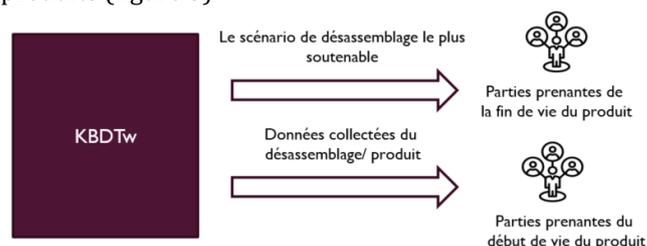
Le KBDTw a trois apports principaux comme présentés dans la figure 2 : la visualisation des données, la simulation de l'étude environnementale et l'aide à la décision.

- **La visualisation des données :** lors de l'étape d'extraction des données produites, l'outil fournit une visualisation complète des informations du produit extraites de la base de données produit et de la base de connaissances et du modèle numérique.
- **Simulation de l'étude environnementale :** L'outil fournit la simulation d'évaluation de l'impact environnemental, qui consiste en une analyse de cycle de vie du produit sans et avec différents scénarios de fin de vie.
- **Aide à la décision :** le système aide à la décision en détectant les composants ayant les impacts environnementaux les plus significatifs et les scénarios de désassemblage les plus soutenables.

### 3. AMELIORATION DE LA SOUTENABILITE DE DESASSEMBLAGE EN AMONT

En plus d'aide à la prise de décision pour avoir un désassemblage soutenable, grâce aux informations des produits, leurs fins de vie et leurs désassemblages le KBDTw peut permettre aussi l'amélioration de la soutenabilité du processus de désassemblage en amont, grâce aux partages des informations collectées durant l'opération de désassemblage avec les preneurs de

décision responsable du début et milieu de vie des produits (figure 3).



**Figure 3 : les sorties du KBDTw**

Diverses informations peuvent être collectées durant le processus de désassemblage (tableau 2) tel que : temps de désassemblage, problèmes de démontage/désassemblage particulier, coût de désassemblage, outils utilisés, opérations de désassemblage, les composants récupérés, les liaisons qui compliquent le désassemblage, etc. le partage de ces informations avec l'ensemble des services concernés (par exemple : service qualité, service conception, service design, etc.) et leurs analyses peuvent permettre l'optimisation de la conception et la fabrication du produit afin d'améliorer ses performances ainsi que son désassemblage (par exemple : les liaisons qui empêchent le désassemblage des composants qui ont souvent encore du potentiel de vie, les matériaux les plus fragiles et rapidement endommagés durant les opérations de désassemblage, etc.) ainsi qu'améliorer la conception et la fabrication des produits.

**Tableau 2 : Exemple des informations extraites du KBDTw**

Information	Définition
Composants ou sous-ensembles ciblés	Les différents composants ou sous-ensembles ciblés par l'opération du désassemblage
Types de liaisons	Les types de liaisons qui lient entre les composants et sous-ensemble du produit
Propriétés des liaisons	les propriétés mécanique et chimique de liaisons utilisées
Durée de désassemblage	Le temps de désassemblage pour chaque composant/ sous-ensemble ciblés
Coût de désassemblage	Le prix de désassemblage pour chaque composants/ sous-ensemble ciblé
Evaluation environnementale	l'étude environnementale pour les différents scénarios de désassemblage des composants/ sous-ensemble ciblés
Séquences de désassemblage faisables	Séquences de désassemblage faisables pour chaque composant/sous-ensemble cible
Outils de désassemblage	les outils de désassemblage utilisés
Configuration des outils de désassemblage	Les configurations des outils de désassemblage/ démontage
Etat du reste des composants et sous-ensembles	L'état des autres composants/ sous-ensembles après le désassemblage et le retrait des composants/ sous-ensemble ciblés
Problèmes de désassemblage	Les problèmes particuliers rencontrés lors du désassemblage

## 4. ETUDE DE CAS

L'étude de cas consiste en l'intégration de l'approche proposée dans le cadre de la fin de vie d'une box internet.

### 4.1. La fin de vie des boxes internet

Une box internet contient un couvercle en plastique et des composants électroniques. Sa fin de vie est comme suite (Ophéli, 2020) (Figure 4): après réception et déchargement des boîtes, celles-ci sont envoyées dans une zone de tri (tri des accessoires, des différents modèles de boîtes, etc.). Si le modèle est déclaré obsolète par l'opérateur, l'appareil est directement mis dans la filière de recyclage. Dans le circuit de traitement des boîtiers en fin de vie, il y a 4 zones particulières.

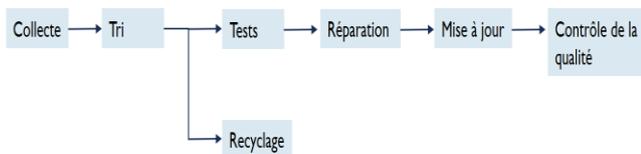


Figure 4 : Les processus de fin de vie de la box internet

Une zone de tests de fonctionnement des boxes internet et leurs coques en plastique, une zone de réparation, une zone de mise à niveau, une zone de reconditionnement et une dernière zone des tests de qualité.

### 4.2. L'amélioration de la soutenabilité de la fin de vie de la box internet

Dans cette étude de cas on considère qu'on a deux boxes internet en fin de vie retournées chez l'opérateur parce que leurs modèles sont obsolètes. On considère que la fin de vie de la première box va être traitée sans le système KBDTw et la deuxième box va avoir un traitement de fin de vie avec le système KBDTw.

Dans le premier cas, la box internet va aller directement au recyclage chez une entreprise spécialisée en recyclage des équipements électronique. Où les appareils sont broyés après dépollution et ouverture mécanique, pour ensuite séparer les métaux ferreux des autres composants et les trier pour finalement soit opter à un recyclage pour reproduire des nouvelles matières, valorisation énergétique ou élimination en respect des réglementations.

Dans le deuxième cas, en utilisant le KBDTw, la box va suivre un autre parcours. Après l'identification de la box et l'extraction de toutes ses informations de vie et techniques, une étude environnementale dans le but d'identifier les composants avec le plus d'impacts environnementaux est réalisée. A partir de ses résultats, les preneurs de décision vont pouvoir choisir les scénarios de désassemblage les plus adéquats. Par exemple :

- Scénario 1 : effectuer un désassemblage non destructif, partiel et séquentiel pour récupérer

des composants/ sous-ensemble avec le plus d'impacts environnementaux et qui ont encore un reste de vie équivalant à trois ans et donc encore réutilisable encore trois ans après reconditionnement.

- Scénario 2 : effectuer un désassemblage destructif, partiel et séquentiel pour récupérer juste un sous-ensemble avec des impacts environnementaux très élevés et qui peut avoir encore quatre ans de durée de vie après nettoyage et réparation.

Une fois que les scénarios de désassemblage ont été choisis, une deuxième étude environnementale est réalisée cette étude va permettre d'identifier les scénarios de désassemblage le plus soutenable et permettre aux preneurs de décision de choisir le scénario le plus adéquat et avec moins d'impacts environnementaux.

Le KBDTw va permettre par la suite de partager les informations collectées durant la vie des boxes internet et toutes les opérations de leurs fins de vie avec les preneurs de décision et spécialistes des différents départements et phases de vie des produits pour pouvoir les analyser. L'analyse de toutes ces informations va permettre d'améliorer la conception, la fabrication et la maintenance des boxes internet afin d'éviter tous les problèmes de désassemblage ainsi que d'améliorer sa soutenabilité.

## 5. CONCLUSION

Le KBDTw est avant tout un outil d'aide à la prise de décision qui permet aux parties prenantes de la fin de vie des produits à choisir le scénario de désassemblage le plus soutenable possible. Ensuite, à partir des résultats de l'analyse de l'ensemble des informations qui peuvent être collectées durant le processus de désassemblage des produits grâce au KBDTw, et le partage de ces résultats avec l'ensemble des services concernés, les preneurs de décisions et experts de ces services peuvent améliorer la conception des produits en amont, fabrication ainsi que la maintenance des produits afin d'avoir une fin de vie et désassemblage optimale et le plus soutenable possible.

Vu que cette étude est encore dans les phases préliminaires, une étude plus approfondie sur les informations qui peuvent être récupérées, comment les récupérer et comment les stocker et ensuite les partager avec les parties prenantes va être mené dans le futur.

## 6. REFERENCES

- [1] Abdullah T. A. , Popplewell K., Page. C. J., A review of the support tools for the process of assembly method selection and assembly planning. International Journal of Production Research 41, 2391-2410, 2003. DOI:https://doi.org/10.1080/002075431000087265
- [2] Grieves M. , Vickers J., Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches, 85-113, 2017. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\_4

- [3] Gungor A., Gupta S. M., Disassembly Sequence Planning for Products with Defective Parts in Product Recovery. *Computers and Industrial Engineering* 35, 1-2, 161-164, 1998. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(98\)00047-3](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(98)00047-3)
- [4] Kostenko D., Kudryashov N., Maystrishin M., Onufriev V., Potekhin V., Vasiliev A., Digital twin applications: Diagnostics, optimisation and prediction. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*, 0574-0581, 2018. DOI:<https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.083>
- [5] Ladj A., Wang Z., Meski O., Belkadi F., Ritou M., Da Cunha C., A knowledge-based Digital Shadow for machining industry in a Digital Twin perspective. *Journal of Manufacturing Systems* 58, 168-179, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.018>
- [6] Liu Q., Liu Z., Xu W., Tang Q., Zhou Z., Truong Pham D. T., Humanrobot collaboration in disassembly for sustainable manufacturing. *International Journal of Production Research* 57, 4027-4044, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1578906>
- [7] Mok S. M., Wu C. H., Lee D. T., A hierarchical workcell model for intelligent assembly and disassembly. In *Proceedings - 1999 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, CIRA 1999, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 125-130, 1999. DOI:<https://doi.org/10.1109/cira.1999.809989>
- [8] Parlikad A. K., McFarlane D., RFID-based product information in end-of-life decision making. *Control Engineering Practice* 15, 1348-1363, 2007. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2006.08.008>
- [9] Petroni, F. et al., 'Language models as knowledge bases?'. *EMNLP-IJCNLP 2019 - 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and 9th International Joint Conference on Natural Language Processing, Proceedings of the Conference. Association for Computational Linguistics*, 2463-2473, 2019. doi: 10.18653/v1/d19-1250.
- [10] Slama I., Ben-Ammar O., Dolgui A., Masmoudi F., Approches d'optimisation pour un problème de planification de désassemblage sous incertitude des délais de désassemblage, 2020. DOI:<https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2020.0578>
- [11] Wiendahl H. P., Seliger G., Perlewitz H., and Bürkner S., A general approach to disassembly planning and control. *Production Planning and Control* 10, 718-726, 1999. DOI:<https://doi.org/10.1080/095372899232542>