Science Arts & Métiers (SAM)
is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: https://sam.ensam.eu
Handle ID: .http://hdl.handle.net/10985/20659

To cite this version :

Heng HU, Xavier GODOT, Bruno DAILLE-LEFEVRE, Patrick MARTIN - Analyse des aspects santé-sécurité lors du démantèlement / de-manufacturing - In: 17e Colloque National S-mart, France, 2021 - Analyse des aspects santé-sécurité lors du démantèlement / de-manufacturing - 2021

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository Administrator : scienceouverte@ensam.eu

17ème colloque national
S-mart

(AIP-PRIMECA)

les 31 mars, 1 et 2 avril 2021

https://s-mart2021.sciencesconf.org/

S-mart Village – LAVAL VIRTUAL WORLD
France

Analyse des aspects santé-sécurité lors du démantèlement / de-manufacturing

Heng Hu [1]
Xavier Godot [1]
xavier.godot@ensam.eu

Bruno Daille-Lefevre [2]
bruno.daille-lefevre@inrs.fr
Patrick Martin [1]
Patrick.martin@ensam.eu

1 : Arts et Metiers Institute of Technology, Université de Lorraine, LCFC, HESAM Université, F-57070 Metz,
2 : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Département Ingénierie des Equipements de Travail, 1 rue du Morvan, F-54519 Vandœuvre-Lès-Nancy cedex,

Résumé— Cette étude se positionne dans le cadre de la prise en compte des aspects humains et de gestion des matières premières dans le contexte de l'industrie du futur (Industrie 5.0). Elle porte particulièrement sur les aspects santé-sécurité des opérateurs lors des opérations de démantèlement (ou de-manufacturing) de produits, activités qui vont se développer à grande échelle. L'analyse de l'état de l'art sur différents axes : évaluation des risques, gestion de la fin de vie des produits, analyse de santé-sécurité des opérateurs, a permis d'identifier les activités clés représentatives du processus de démantèlement, les concepts et approches liées à la problématique de la santé – sécurité des opérateurs lors de la conception et de l'exploitation de système de production. Par contre le manque de travaux sur la santé et la sécurité au travail lors du démantèlement du produit a été constaté. Aussi une approche de formalisation du processus de démantèlement permettant de prendre en compte les éléments caractéristiques de la santé-sécurité comme de l'ensemble des activités et de leurs interactions est présentée dans ce papier.

Mots-clés— industrie du futur, santé-sécurité, démantèlement, Homme au travail, industrie 5.0

I. Introduction

De nombreuses études [1, 2, 3, 4 ,5] soulignent l'importance de la prise en compte de l'humain dans les nouveaux challenges liés à l'industrie du futur. D'autre part les contraintes associées au dérèglement climatique, aux économies d'énergie, à la réduction des ressources en matières premières conduisent au nouveau paradigme de l'industrie 5.0 : industrie 4.0 augmentée par l'écologie et l'humain [5, 6, 7]. La réutilisation et le recyclage, l'économie circulaire sont des réponses très pertinente à cet enjeu majeur. Mais, pour que cette solution soit massivement déployée, il est indispensable qu'elle ne présente aucun danger et qu'elle soit économiquement et socialement soutenable. Pour cela, cette phase de recyclage et démantèlement est largement préparée lors de la conception des produits actuels (DFD- Design for disassembly). Mais, cette approche n'est mise en œuvre que sur les produits récents. Qu'en est-il des produits anciens qui n'ont pas été conçus en vue de leur recyclage ou de ceux dont l'historique a tout simplement disparu ? Force est de constater que ces opérations ne permettent plus de respecter simultanément les objectifs économiques et les impératifs de santé-sécurité des opérateurs de démantèlement, le travail humain représentant une part importante de cette activité. Par conséquent, leur recyclage est très problématique. Il est important de noter que ce cas de figure représente aujourd'hui une part très importante du volume total de produits à recycler, (à titre d'exemple, la Directive Européenne [8] pour le secteur automobile impose 85 % de recyclage et 95 % de valorisation). Aussi, ce problème constitue un enjeu majeur dans le cadre de la transition écologique de l'industrie et de la société dans un objectif de service et produit durable [9].

Le démantèlement (ou de-manufacturing) comprend l'ensemble des technologies/systèmes, outils et méthodes pour récupérer et réutiliser les fonctions et les matériaux des déchets industriels et des produits usagés dans une perspective d'économie circulaire. Les réglementations actuelles comme les processus structurés de démantèlement visent des produits manufacturés produits en très grande série. La réglementation établit un cadre normatif pour organiser les tâches et pour traiter certaines fins de vie des produits, mais les performances globales dépendent de la qualité et de l'efficacité des systèmes de démantèlement. En raison des avantages financiers et sociétaux potentiels associés à la récupération de la valeur économique et environnementale restante dans les produits usagés, le démantèlement se justifie pleinement et est amené à se développer.

De plus, il est important de noter que les considérations sur la santé et la sécurité du travailleur ne sont pas particulièrement étudiées dans ces règlementations ou manuels de démantèlement. Ainsi cette présentation se positionne au niveau de la phase de démantèlement complet ou partiel du produit afin de proposer une approche d'analyse de la santé et de la sécurité. Celle-ci a pour objectif d'identifier les activités génériques associées au processus de démantèlement, les informations disponibles en fonction de l'état d'avancement du processus permettant ainsi de prendre les décisions adéquates pour le choix de l'opération suivante prenant en compte en particulier les aspects santé-sécurité. Le processus de démantèlement ne peut se ramener au processus inverse de l'assemblage, compte tenu des coûts minimum, des défauts, usures, blocages liés à la diversité des usages des produits, de la diversité des matériaux. L'état réel du produit se révèle au fur et à mesure du processus, ce qui introduit des incertitudes et des variabilités fortes. A la suite d'une analyse de l'état de l'art sur différents axes : évaluation des risques, gestion de la fin de vie des produits, analyse de santé-sécurité des opérateurs, ce

document présentera les caractéristiques et activités clés associées au processus de démantèlement, puis les aspects spécifiques aux impacts sur la santé/ sécurité des opérateurs.

II. Analyse de l'etat de l'art

A. *Méthode d'évaluation des risques sans tenir compte de l'incertitude*

Il existe de nombreuses recherches sur l'évaluation des risques et sur les différentes méthodes appliquées dans les multiples scénarios. A la suite d'une analyse bibliographique portant sur les années de 1976 à 2008, Aven [10] a identifié onze définitions du risque. Il a ensuite proposé de les diviser en trois catégories :

- Le risque est exprimé au moyen de probabilités et de valeurs attendues (méthode qualitative et quantitative) ;
- Le risque est défini comme un événement ou une conséquence (méthode qualitative) ;
- Le risque est exprimé par des événements / conséquences et incertitudes.

Au niveau des aspects santé- sécurité, nous partons sur du postulat que les phénomènes dangereux ne se manifestent qu'en présence d'énergie généralisée apportée par un produit, une machine, un outil ou l'Homme (cinétique, potentielle mécanique/ hydraulique, électrique, hydraulique, chimique / biologique, thermique, rayonnement, éléments structurels : matériaux, état de surface, géométrie). L'identification des phénomènes dangereux se base alors à l'identification de la relation entre le flux d'énergie et le risque (type, conséquence, importance) dans un système de production, ceci constitue le socle de la méthode EZID (« Analyse énergétique pour l'identification systématique des dangers pendant la conception ») proposée par N. de Galvez [11]. Cette notion a été approfondie en ajoutant le concept de volume d'influence (VI) qui est l'espace physique où une ou plusieurs propriété(s) des éléments dangereux (fixes ou en mouvement) peuvent agir. Chaque VI qui peut être décrit dans le modèle CAO du poste de travail est défini par les propriétés associées aux risques pour la santé-sécurité au travail en termes de type comme de quantification du niveau de risque définis par la normalisation [12].

Ces méthodes sont pertinentes et efficaces pour répondre aux questionnements en termes de santé-sécurité au travail liées à la mise en œuvre de nouveaux équipements et à l'organisation de la production. Néanmoins, dans le cas où il existe de fortes incertitudes, lors du démantèlement par exemple, les méthodes d'évaluation des risques qui tiennent compte de l'incertitude sont nécessaires.

B. *Méthode d'évaluation des risques compte tenu de l'incertitude*

La méthode d'analyse d'incertitude en évaluation des risques proposée par le groupe de travail de l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) [13] couvre un large spectre de domaines : la santé alimentaire, environnementale, au travail, … et comporte les étapes suivantes :

- Identification et description de l'ensemble des incertitudes rencontrées tout au long du processus d'évaluation ;
- Evaluation des sources d'incertitude retenues à l'issue de l'étape précédente ;
- Evaluation de l'impact combiné des sources d'incertitude retenues sur le résultat final de l'évaluation des risques, et éventuellement sur certains résultats intermédiaires jugés importants pour le gestionnaire ;
- Hiérarchisation des différentes sources d'incertitudes selon l'importance de leur impact sur les résultats de l'évaluation.
- Communication des incertitudes et de leur impact sur le résultat de l'évaluation.

D'autre part D. J. Pons [14] a proposé différentes formes d'incertitude existant dans la conception technique, exprimables par trois dimensions orthogonales : épistémique, aléatoire, abstraction (Figure1).

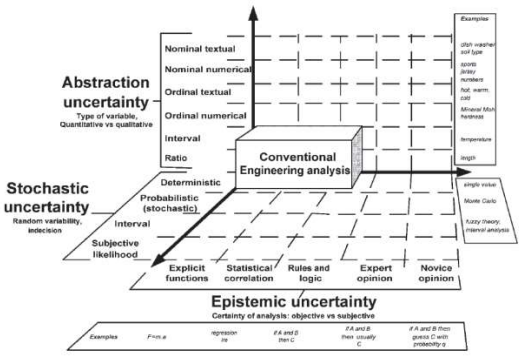

Figure 1. Les dimensions d'incertitudes [14]

C. *Démantellement*

Le de-manufacturing ne peut pas simplement se considérer comme l'antonyme de fabrication (manufacturing). Par sa définition « décomposer un produit en composants dans le but de réutiliser et de re-fabriquer ses composants, ou de recycler le reste des composants », ce terme peut se traduire dans 3 aspects principaux :

- Recycler : Il existe 2 manières de recyclage. Dans le recyclage en boucle fermée, les propriétés inhérentes du matériau recyclé ne sont pas considérablement différentes de celles du matériau vierge (upcycling), la substitution est donc possible. Dans le recyclage en boucle ouverte, les propriétés inhérentes du matériau recyclé diffèrent de celles du matériau vierge, il n'est utilisable que pour d'autres applications compte tenu de la dégradation des propriétés inhérentes des matériaux (downcycling) ;
- Réutiliser : un terme générique couvrant toutes les opérations où un produit de retour est remis en service, essentiellement sous la même forme, avec ou sans réparation ;
- Reconditionner : Le reconditionnement fait référence aux actions effectuées pour remettre un produit ou un composant dans un état de fonctionnement après la détection d'une défaillance de fonction. Le produit ou la pièce reconditionnés récupèrent la fonction similaire à l'état original ;

Le démantèlement a donc pour objectif de décomposer un produit en composants, pièces, matériaux homogènes permettant ainsi de répondre aux exigences de réutilisation ou de traitement en fin de vie.

Le processus de démantèlement a fait l'objet de différentes études [15, 16, 17, 18]. La taxonomie (Figure 2) représente les composants fondamentaux des systèmes de de-manufacturing et permet de positionner chaque activité dans une étape de de-manufacturing typique, en mettant en évidence sa fonction et sa portée. Les processus de démantèlement comprennent généralement : désassemblage et réduction de taille, tri et séparation, recyclage, inspection, nettoyage, reconditionnement, logistique. Les technologies physiques et numériques associées et potentiellement les plus pertinentes sont présentées tableau 1. Alors que de nombreux concepts avancés ont été étudiés dans la communauté des systèmes de fabrication, établissant la base des concepts modernes de fabrication intelligente et d'Industrie 4.0, ils ont été abordés dans le domaine du démantèlement de manière moins structurée. Le tableau 2 résume les défis pour les systèmes de de-manufacturing associés à des challenges de l'industrie 4.0.

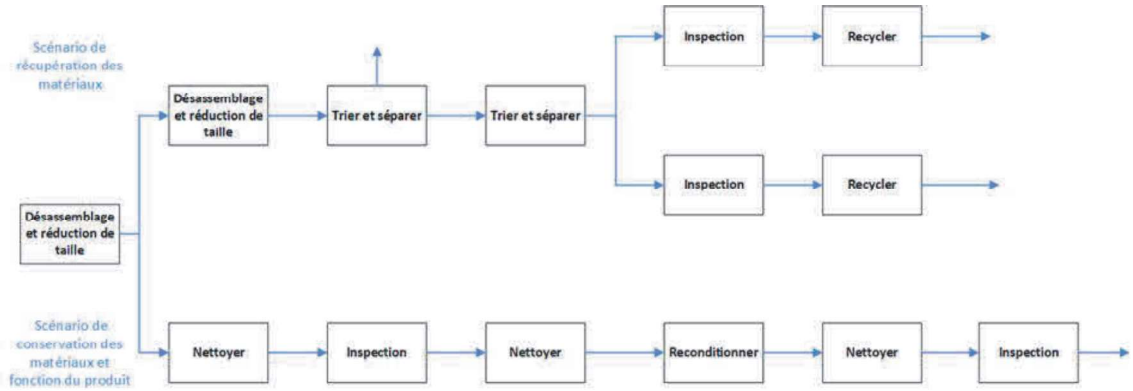

Figure 2. REPRESENTATION D'UNE TAXONOMIE SIMPLE DES PROCESSUS DU DE-MANUFACTURING [15]

Étape du processus	Technologies	Outils typiques
Démontage	Démontage manuel	Marteau, pince, tournevis, perceuse ou tronçonneuse portative
	Démontage automatisé	Système de transition automatique, dispositif de serrage flexible
	Coopération homme-robot	Robot
Réduction de taille	Broyage, déchiquetage ou pulvérisation	Broyeurs à marteaux, granulateurs, broyeurs à couteaux, cisailles
Recyclage	Traitement thermique	Lit fluidisé, pyrolyse
	Traitement chimique	Hydrolyse/glycolyse/acide Réacteur,
	Recyclage à l'état liquide	Four à induction
	Recyclage à l'état solide	Reforge à froid ou à chaud, équipement de reformage Machine de métallurgie des poudres

Tableau 1. TECHNOLOGIES POTENTIELLES [15]

L'analyse de la bibliographie a permis d'identifier les activités clés représentatives du processus de démantèlement, les concepts et méthodes liées à la problématique de la santé – sécurité des opérateurs lors de la conception et de l'exploitation de système de production. Cette analyse nous a permis de séparer les notions de risque avéré et de risque potentiel. Les retours d'expérience permettent d'identifier les risques avérés et de définir les processus à mettre en œuvre, leur niveau dangerosité comporte une certaine incertitude. Les risques potentiels par contre sont plus ou moins probables et leur niveau de dangerosité se positionne dans une certaine plage identifiée par l'expérience. Ainsi les

Tendances mondiales	Défis
Cycle de vie court des produits et grande variété de produits	Flexibilité et reconfigurabilité
Manque d'information sur les produits en retour	Traçabilité produit Inspection en ligne
Augmentation de la complexité du produit	Connaissances approfondies sur les produits Implication des organismes professionnels
Fluctuation élevée de la valeur des matériaux	Modèles d'affaires Planification de la production
Pression sur les coûts, la qualité et l'efficacité	Automatisation hybrides Assurance qualité
Attention accrue sur la sécurité et l'ergonomie	Conception des postes de travail centrée sur l'humain Processus de démantèlement sécurisés

incertitudes sur la santé-sécurité associent à la fois celles des risques avérés et des risques potentiels.

Tableau 2. LES DÉFIS DU DEMANTELLEMENT [15]

Compte tenu du manque de travaux sur la santé et la sécurité au travail lors du démantèlement du produit, il nous est paru nécessaire de d'identifier les éléments caractéristiques et génériques de activités et de leurs interactions lors du démantèlement permettant ensuite de prendre en compte les éléments spécifiques à la santé-sécurité. Cette formalisation sous forme de diagrammes IDEF0 (SADT) [19] permet d'être partagée entre l'ensemble des acteurs concernés.

III. METHODOLOGIE DEVELOPPEE

Seul le niveau A0 du modèle SADT est présenté ici (Figure 3). Six activités principales ont été identifiées : Recueillir des informations, Analyser, Séparer, Nettoyer, Trier et Capitaliser l'expérience, elles sont décrites ci-dessous.

A1- Recueillir des informations : Contrairement à la fabrication, les informations sur le produit sont très limitées. Donc il est nécessaire de recueillir des informations avant la prise de décision concernant l'organisation de l'activité. Les incertitudes introduites par le procédé d'inspection dépendent directement des moyens de mesure (sens de l'opérateurs, caméra, ultra-sons, rayonnement, ...) et d'évaluation utilisés : (physique, expérience, plan de collecte), caméra, …). D'autre part les énergies mises en œuvre sont de faible niveau.

A2-Analyser en vue de la prise de décision en analysant toutes les informations disponibles par la capitalisation des connaissances et les données recueillies. Ceci permet de définir le plan de démantèlement partiel permettant les actions à réaliser à l'étape suivante.

A3-séparer, A4-nettoyer et A5-trier ont été préalablement présentées dans la synthèse de processus du de-manufacturing (tableaux 1 et 2). Séparer signifie la séparation de 2 éléments recyclables, tandis que nettoyer désigne la séparation de 2 éléments dont 1 est un déchet. En plus de la répartition des éléments produits dans des conteneurs spécifiques, le tri comporte aussi les transports dans le système de démantèlement.

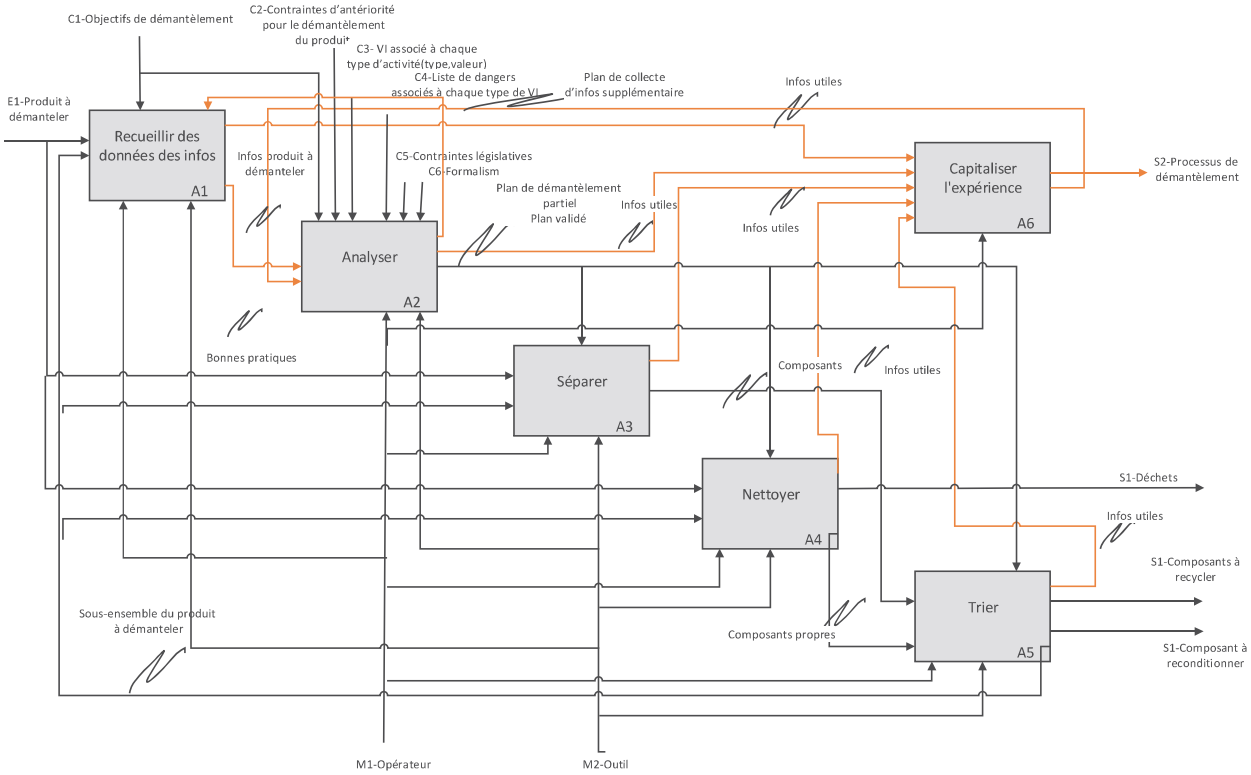

Figure 3. MODELISATION DU PROCESSUS DE DEMANTELEMENT

A6-Capitaliser l'expérience est une démarche complémentaire pour la structuration des données et informations et la construction dynamique du processus de démantèlement. En particulier cette activité assure la capitalisation des données pertinentes associées aux risques ainsi que les niveaux de maturité de ces connaissances. Capitaliser l'expérience prend en compte l'évolution du système dans son environnement au fil du temps et informe les décideurs de l'impact de leurs choix, cela permet de surveiller et de réduire les risques dynamiquement.

IV. PRISE EN COMPTE DE LA SANTE-SECURITE

Il s'agit de préciser ici les éléments (activités, paramètres, traitements) associés à la prise en compte de la santé- sécurité des opérateurs dans le processus de démantèlement, ceci concerne particulièrement l'activité A2 -Analyser (figure 3), lors desquelles l'opérateur est amené à réaliser les activités suivantes:

- Définir les opérations postérieures immédiates à réaliser (plan de démantèlement partiel). Pour certaines industries traitant de grandes quantités de produits comparables (automobiles – électroménager, [17] [20]) des procédures ont été définies (Figure 4), mais elles comportent un niveau de détail insuffisant au niveau des risques avérés, donc une certaine incertitude. Les opérations pour lesquelles l'opérateur ne dispose que d'informations partielles et comportant des incertitudes sur l'état du produit et de son historique d'utilisation, présentent des risques potentiels. Plus précisément l'opération aura à réaliser les tâches à réaliser immédiatement à partir de données obtenues sur chaque produit, des données et modèles capitalisés ;
- Evaluer le risque de santé-sécurité en tenant compte à la fois les flux énergétiques (tableau, schéma) [11], des volumes d'influence [12] qui peuvent être mise en évidence sur le modèle CAO (Figure 5), et du niveau des flux pour une évaluation de la dangerosité définie par la normalisation (Tableau 3).

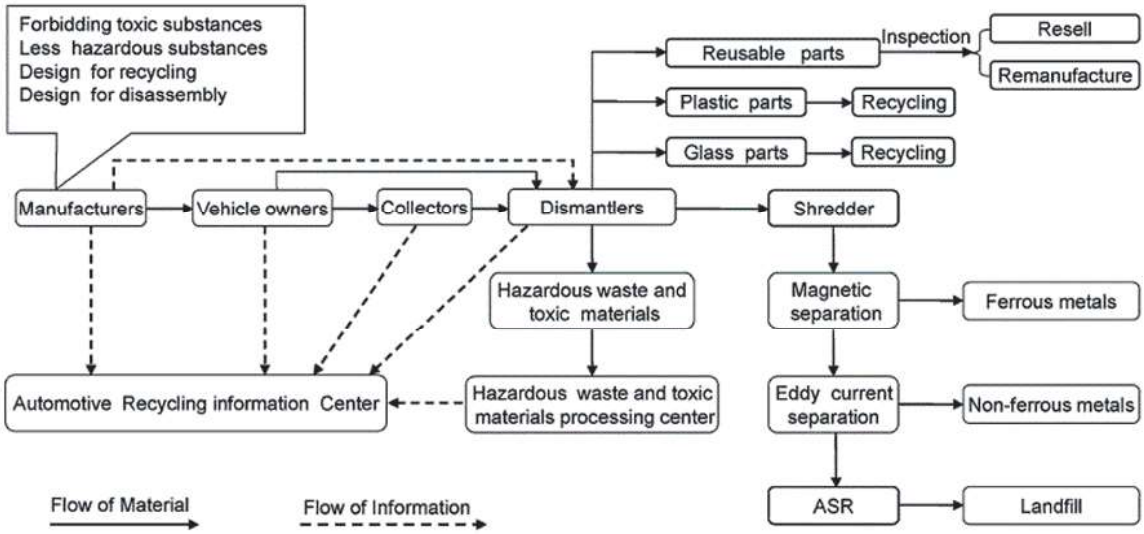

Figure 4. PROCESSUS DE DEMANTELEMENT D'UN VEHICULE [20]

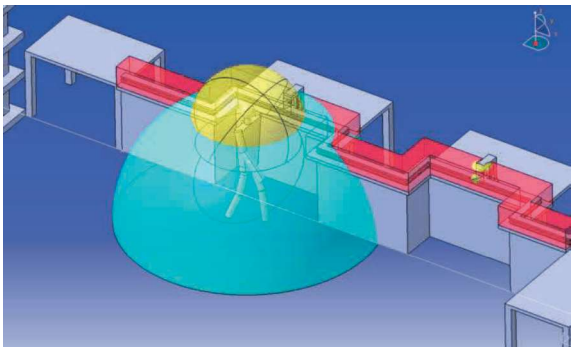

Figure 5. REPRESENTATION DES VOLUMES D'INFLUENCE [12]

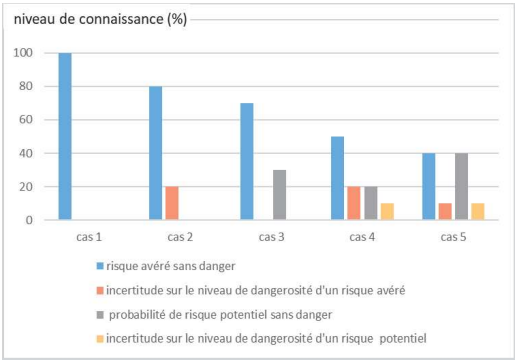

Tableau 3. LIEN VOLUME D'INFLUENCE / NORMES/ PARAMETRES POUR LA PRISE EN COMPTE DES EFFETS CINETIQUES DANS LES ROBOTS COLLABORATIFS

- Identifier les interactions humaines entre le produit et l'outillage. Comme toute activité de fabrication, une activité de démantèlement comporte trois éléments : action, contrôle et commande, impliquant un produit, un outillage et un opérateur en interaction. Les différentes possibilités d'interactions entre les activités utiles sont schématisées tableau 4, notre attention se portera uniquement sur les colonnes 1 et 2.
- Qualifier la nature des [11] dangers et quantifier leur niveau en s'appuyant sur les normes [21] [12]. Celles-ci fournissent les valeurs limites permettant de classer les risques en 3 ou 4 niveaux (pas de risque, important, grave, très grave) pour l'ensemble des flux identifiés.

Volume d'Influence et énergies associées	Norme(s)	Paramètre(s)	Périmètre Couvert
Choc Potentielle	• Spécifications techniques, ISO/TS 15066:2016(E), Robots et dispositifs robotiques — Robots coopératifs	• Énergie (Joules)	• Tête • Cou • Thorax et abdominaux • Membres inferieurs • Membres supérieurs

- Evaluer les incertitudes sur les connaissances dont dispose l'opérateur sur l'état du produit et de son comportement au cours d'une opération de démantèlement afin d'aider l'opérateur. Elle permet de préciser les incertitudes associées au risque avéré (niveau de dangerosité) et le risque potentiel (incertitude sur l'occurrence et niveau de dangerosité) pour chaque élément significatif de l'état du produit (produit, composant, interfaces, finalité). La figure 6 présente quelques cas types : pas de risque potentiel sans (cas 1) ou avec (cas 2) incertitude pour les risques avérés, risques avérés et potentiels sans (cas3) ou avec (cas 4 et 5) incertitude.

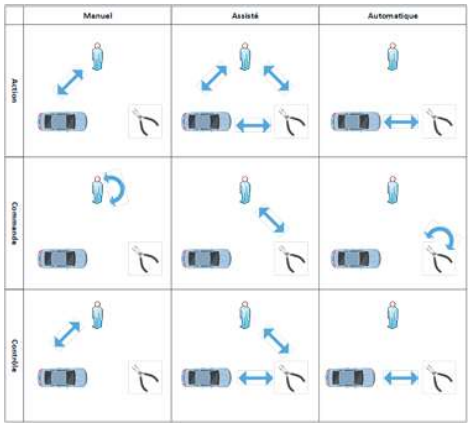

Tableau 4. INTERACTIONS ACTIVITÉS / OPERATEUR

-

Figure 6. ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE REPOSANT SUR LES INCERTITUDES SUR LA MATURITE DES CONNAISSANCES.

Ceci permet d'élargir autant que possible « la zone de connaissance » pour que l'opérateur puisse maitriser les risques et choisir le meilleur processus.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les législations concernant le taux de récupération et de valorisation des produits de grande consommation en fin de vie se déploient de plus en plus, ce qui conduira au développement de procédures et d'activités de démantèlement. Une première validation de la pertinence de la démarche proposée (gestion des flux matière et d'informations entre les procédés et les parties prenantes, paramètres, activités) et été effectuée par comparaison avec la procédure de démantèlement de véhicules automobile défini par un groupement professionnel [20], (figure 4). L'analyse des liens entre les deux modèles a permis de montrer que l'ensemble des informations utiles et activités définies dans la procédure étaient bien identifié dans notre démarche (Tableau 5). Cette validation n'est que partielle, en effet compte tenu du manque de données réelles disponibles sur les incertitudes avérées et potentielles, nous n'avons pas encore permis d'approfondir ce point.

Démarche proposée	**Processus démentellement automobile [20]**
Activités:	
Collecter les infos	Reusable parts - inspection
	Automotive recycling information center
Capitaliser l'expérience	Automotive recycling information center
Séparer	Shredder
	Magnétique separation
	Eddy current separation
Sorties:	
Sortie de séparer: flux de matériau	Shredder
	Magnetic separation
	Eddy current separation
Sortie de nettoyer : déchets	ASR-Landfill
Sortie de trier: composant à recycler	Plastic parts, glass parts, ferrous metals, non-
Sortie de trier: composant à reconditionner	Reusable parts
Supports - ressources:	
Activité: collecter les informations	Vehicule owners, collectors
Activité: analyser	Vehicule owners, collectors
Activité: séparer	Collectors, dismantlers
Activité: nettoyer	Collectors, dismantlers
Activité: trier	Collectors, dismantlers
Activité: capitaliser	Manufacturers, collectors, dismantlers

Tableau 5. VALIDATION DE LA DEMARCHE : LIEN MODELE PROPOSE – PROCEDURE INDUSTRIELLE

Les technologies d'interface avec l'Homme (interface haptique, réalité virtuelle et augmentée, ...) constituent des pistes à explorer pour aider l'opérateur dans ses actions d'évaluation et de prise de décision.

L'approche proposée porte sur une première étape d'analyse de la problématique, par l'identification des activités fondamentales auxquelles seront attachées les paramètres de qualification de la santé- sécurité. La quantification qui devra suivre doit permettre d'obtenir des indicateurs sur la conduite du processus de démantèlement.

Pour l'évaluation du risque de démantèlement d'un produit inconnu, le modèle propose une démarche de démantèlement associée à l'évaluation du risque. Ces deux phases font une boucle fermée permettant une proposition pertinente du plan de démantèlement. Pour un produit qui est systématiquement étudié pour son démantèlement ce modèle sert à représenter et affiner les facteurs essentiels et de capitaliser les connaissances pour une utilisation efficace quel que soit l'expérience des opérateurs.

De plus très peu de données sont disponibles sur les aspects santé – sécurité. La validation de l'approche sera à approfondir sur des cas industriels. L'identification de méthodes et outils d'estimation et du traitement des imprécisions et des incertitudes pour ce type d'application serait à développer.

REMERCIEMENTS

Ce projet s'inscrit dans le cadre du laboratoire LC2S (Laboratoire mixte pour la conception sûre de situations de travail) soutenu par l'INRS et le LCFC / ENSAM dont l'objectif est de fournir aux concepteurs d'équipements de travail une démarche structurée et outillée pour passer de la conception de systèmes techniques à la conception des situations de travail pour concilier performance et prévention des risques professionnels.

VI. REFERENCES

[1] EUROPEAN FACTORY OF THE FUTURE ASSOCIATION: Effra vision for a manufacturing partnership in Horizon Europe, 2019, www.effra.eu

[2] WORLD MANUFACTURING FORUM, recommendations for the Future of Manufacturing, 2018, https://www.worldmanufacturingforum.org/

[3] P. VELTZ, T. WEIL L'industrie, notre avenir, La Fabrique de l'Industrie, Eyrolles, ISBN : 978-2-212-56115-9, 2015

[4] FUTURPROD: Les systèmes de production du futur, Atelier de Réflexion Prospective de l'ANR, 2013, www.cluster-gospi.fr,

[5] EU: Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry https://ec.europa.eu/info/news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-jan-07_en

[6] BUSINESS ACT GRAND EST, 2020, https://www.grandest-ba.fr/

[7] S. NAHAVANDI, Industry 5.0 – A human centric solution, MDPI journal, 2019 www.mdpi.com/journal/sustainability

[8] Décret n° 2011-153 du 4 février 2011 portant diverses dispositions d'adaptation au droit communautaire en matière de gestion des véhicules hors d'usage et des déchets d'équipements électriques et électroniques

[9] RAHMAN S.M., PERRY N., MULLER J., KIM J.J. , LARATTE B.,,. End-of-Life in Industry 4.0: Ignored as before?. Resources Conservation and Recycling, 2020 154. 10.1016/j.resconrec.2019.104539.

[10] T. AVEN, (2008), "A semi-quantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs". Reliability Engineering & System Safety, Volume 93, Issue 6.

[11] N. DE GALVEZ, J. MARSOT, P. MARTIN, A. SIADAT, A. ETIENNE, A new approach to hazard

identification during the design process by analysing energy transfers. Safety Science, 95, Elsevier, 2017, pp. 1–14.

[12] J.C. GOMEZ ECHEVERRI, X. GODOT B. DAILLE-LEFEVRE, J.H. MORALES ARISTIZABAL, P. MARTIN. Prise en compte de la santé-sécurité dans la conception et l'exploitation des systèmes reconfigurables, MOSIM'20 : 13ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation-– 12 au 14 novembre 2020

[13] ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) : Prise en compte de l'incertitude en évaluation des risques : revue de la littérature, 2016, 90p.

[14] D. J. PONS, J. K. RAINE. Design with uncertain qualitative variables under imperfect knowledge, IEEE Engineering Management Review, IEEE, sept.2007, 35(3):92-92.

[15] T. TOLIO, A. BERNARD, M. COLLEDANI, M., KARA, S., Seliger, G., Duflou, J.,Takata, S.. Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. CIRP Annals, 66 (2), 2017, 585–609. doi:10.1016/j.cirp.2017.05.001

[16] P. VANEGAS, J.R. PEETERS, D. CATTRYSSE, P. .TECCHIO, F. ARDENTE, F. MATHIEUX, J.R. DUFLOU, Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. Resources, Conservation and Recycling, 135, 2018, 323–334

[17] Kaya, M.. Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. Waste Management, 57, 2016 64–90. doi:10.1016/j.wasman.2016.08.004

[18] I. Nurul Hannal, P. Zwolinski, G. Mandil, D. Brissaud, Decision Making System for Designing Products and Production Systems for Remanufacturing Activities, CIRP LCE Conference, 2017, Kamakura, Japan. pp.Pages 212-217,

[19] M. GALINIER, P. SAULENT, SADT, un langage pour communiquer - Editions EYROLLES, Paris, 1989.

[20] J. LI,, K. YU, P. GAO, (2014). Recycling and pollution control of the End of Life Vehicles in China, Journal of Material Cycles and Waste Management, 16(1), (201431–38. doi:10.1007/s10163-013-0226-6

[21] Norme EN 1005-2 -2003, Sécurité des machines, performance physiques humaines