

# Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

*Master Recherche Innovation, Conception et Ingénierie*

**Développement d'un outil d'analyse de description  
textuelle de produit pour pouvoir assister le  
concepteur durant la phase de prototypage avec  
fabrication additive.**



Auteur : Oscar Fossey  
Tuteur ENSAM : Frédéric Segonds

ARTS ET METIERS  
Centre de paris 2020-2021



## TABLE DES MATIÈRES

<b>NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>REMERCIEMENT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCTION .....</b>	<b>8</b>
I.1. Commanditaire et parties prenantes .....	8
I.2. Identification du problème .....	8
<b>II. CONTEXTE DU PROJET .....</b>	<b>10</b>
II.1. Membres du projet.....	10
Frédéric Segonds (encadrant de projet et tuteur de stage) :.....	10
II.2. Objectif du projet .....	11
<b>III. PROBLÉMATIQUE ET DÉMARCHE DU PROJET .....</b>	<b>13</b>
III.1. Problématique .....	13
III.2. Démarche du projet livrables et critères de réussite du projet .....	14
<b>IV. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>15</b>
IV.1. Périmètre scientifique du projet.....	15
IV.2. Conception pour la fabrication additive (DFAM) .....	15
IV.3. Contraintes de la fabrication additive .....	17
IV.4. Ontologies .....	18
IV.5. Traitement du langage naturel (NLP) .....	20
IV.6. Positionnement de recherche par rapport à l'étude bibliographique.....	22
<b>V. CONCEPTION DE L'ARCHITECTURE DE L'OUTIL.....</b>	<b>23</b>
V.1. Banque de règles de conception.....	23

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

<b>V.2.</b>	<b>Utilisation de l'ontologie .....</b>	<b>24</b>
<b>V.3.</b>	<b>Techniques de pré-traitement de texte .....</b>	<b>26</b>
<b>V.4.</b>	<b>Analyse sémantique, représentation étendue et similarité .....</b>	<b>27</b>
<b>V.5.</b>	<b>Architecture finale de l'outil .....</b>	<b>28</b>
<b>VI.</b>	<b>DÉVELOPPEMENT D'UN PROTOTYPE.....</b>	<b>29</b>
<b>VI.1.</b>	<b>Banque réduite de règles de conception.....</b>	<b>29</b>
<b>VI.2.</b>	<b>Architecture actuelle du prototype.....</b>	<b>29</b>
<b>VII.</b>	<b>APPLICATION DU PROTOTYPE SUR UN CAS D'ÉTUDE.....</b>	<b>31</b>
<b>VII.1.</b>	<b>Présentation du cas d'étude.....</b>	<b>31</b>
<b>VII.2.</b>	<b>Résultats de l'outil .....</b>	<b>32</b>
<b>VII.3.</b>	<b>Interprétation des résultats .....</b>	<b>33</b>
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVE .....</b>	<b>35</b>
	<b>ANNEXE.....</b>	<b>37</b>
<b>IX.</b>	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>37</b>

## Notice bibliographique

**ANNEE** : 2021

**TYPE DE DOCUMENT** : rapport de recherche PFE

**CAMPUS DE RATTACHEMENT** : Arts et Métiers Paris

**AUTEUR** : FOSSEY Oscar

**TITRE** : Développement d'un outil d'analyse de description textuelle de produit pour pouvoir assister le concepteur durant la phase de prototypage avec fabrication additive.

**ENCADREMENT** : SEGONDS Frédéric, PINQUIE Romain.

**NOMBRES DE PAGES** : 66

**NOMBRE DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES** : 16

### RESUME :

Dans ce projet je vais développer un outil pour pouvoir assister le concepteur pendant le prototypage avec fabrication additive. L'outil analyse une description textuelle d'une idée de produit et détermine quelles règles de conception associées à la fabrication additive sont pertinentes. L'outil utilise des techniques de traitement du langage naturel ainsi que des bases de données associées à ce domaine. Des bases de données sur les connaissances de la fabrication additive sont utilisées. L'outil a été développé avec le langage python.

**MOTS-CLES** : Analyse de données, traitement du langage naturel, ontologie, gestion des connaissances, règles de conception, conception pour la fabrication additive.

ACCESSIBILITE DE CE RAPPORT (entourer la mention choisie) :

Classe 0 = accès libre

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

Classe 1 = Confidentiel jusqu'au \_ \_ \_ \_ \_

Classe 2 = Hautement confidentiel

Date :

Nom du signataire :

Signature

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

## Remerciement

Merci à Frédéric Segonds et Romain Pinquié pour leur suivi, aussi bien sur les directions de recherche à prendre pour le projet, que sur des aspects techniques en traitement du langage naturel ou en fabrication additive. Je les remercie également pour l'assistance lors la rédaction de l'article qui présentera mon outil.

Merci à mes camarades de classe présent à l'ENSAM pendant mon stage qui ont su me donner de des conseils avisés.

Merci à Julia Barret pour avoir trouvé l'acronyme le plus adapté à mon outil : D.R.E.A.M, Design Rules Extractor for Additive Manufacturability.

Merci à Armand Huet pour m'avoir très bien guidé à travers la riche littérature scientifique a propos de l'utilisation d'ontologies comme base de connaissance.

Enfin MERCI à toute l'équipe du LCPI pour cette année.

## Liste des figures

### I. Introduction

#### I.1. Commanditaire et parties prenantes

Ce projet a été commandité par l'Agence Nationale de la Recherche. L'Agence nationale de la recherche (ANR) est un établissement public à caractère administratif, placé sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. L'Agence met en œuvre le financement de la recherche sur projets, pour les opérateurs publics en coopération entre eux ou avec des entreprises.

Le projet fait partie d'un projet plus grand et également financé par l'ANR, le projet CREAM (CREativity in Additive Manufacturing). L'objectif de ce projet ANR est de proposer une suite d'outils et de méthodes de créativité en Fabrication Additive (FA) fondée sur des objets intermédiaires de la FA, afin de favoriser la sensibilisation, la créativité et l'intégration organisationnelle de la FA auprès des équipes de conception. Le verrou scientifique associé réside dans la conception de méthodes paramétrables et efficaces. Le verrou technologique vise à outiller ces méthodes par l'intermédiaire de dispositifs écologiques, adaptés et utilisables. Ces dispositifs prendront, in fine, la forme d'un Serious Game et d'une Mallette de Créativité Additive. Une roadmap d'intégration organisationnelle des savoirs sera également développée. Pour mener à bien ce projet, un plan expérimental comportant 3 tâches (Sensibilisation, Créativité Augmentée puis Intégration Organisationnelle des Savoirs) est proposé. Il s'appuie sur les expertises de l'ENSAM, du CESI et de l'Université Paris Descartes ainsi que sur un Réseau Industriel de Validation Expérimentale (RIVE). Il s'agit d'un projet pluridisciplinaire avec de forts enjeux scientifiques et humains, associés à un procédé innovant.

Le projet s'est déroulé aux Laboratoire Conception Produits et Innovation (LCPI) de l'ENSAM.

#### I.2. Identification du problème

La mission associée à ce projet est la suivante : « Développer des outils et des méthodes pour assister le concepteur durant la phase de prototypage avec fabrication additive du produit ».

Lors de la conception d'un produit, plus le temps passe, plus il devient coûteux et inefficace d'apporter des modifications au produit (Blanchard et Fabrycky, 1981 ; Herzog, 2004). De plus, durant les phases amont de la conception, les décisions prises vont représenter plus de 80% des dépenses totales, alors que cette phase coûte moins de 10% des coûts totaux (Laverne et al., 2015). Par

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.



conséquent, il est nécessaire de réaliser le début de la conception de manière méticuleuse. Il est important de multiplier les modèles et les tests avant de présenter un produit qui peut être fabriqué en série (Blanchard et Fabrycky, 1981 ; Herzog, 2004). Les premières étapes de la conception ne sont pas très bien équipées en outils informatiques, il y a donc un intérêt à numériser ces phases pour les inclure dans un environnement PLM (Product Life Management) surtout avec des technologies comme la fabrication additive (Segonds et al., 2017). Néanmoins, avant de produire toute pièce finale il faut se concentrer sur l'étape clé qui implique la fabrication rapide de nombreux prototypes, principalement pour des évaluations conceptuelles et fonctionnelles (Rocheton et al., 2021). Le prototypage rapide et plus particulièrement la fabrication additive sont devenues un élément essentiel pour évaluer pertinemment un produit. L'arrivée de nouveaux procédés et de théories toutes aussi diverses les unes que les autres fait que la documentation des règles de conception associées à la fabrication additive est volumineuse. Les concepteurs recherchent souvent des solutions dans les cas de conception précédents pour résoudre leurs problèmes, ils passent donc 20 à 30% de leur temps à retrouver et à communiquer des informations de conception (Court, Ullman et Culley, 1998) et trouver les bonnes connaissances n'est pas toujours facile, notamment parce que les documents non structurés sont encore très répandus dans l'industrie (Kassner et al., 2015) (Huet, Pinquie, et al., 2021). De nombreuses entreprises stockent encore la connaissance des règles de conception dans de simples PDF qui peuvent dépasser des dizaines ou des centaines de pages. Il est alors essentiel de faciliter la récupération des connaissances associée à la fabrication additive, afin que chacun puisse trouver rapidement les directives et les règles de conception pertinentes pour son projet. Comme la connaissance résulte de la rencontre d'une information avec un individu il doit y avoir une appropriation et une interprétation de l'information par un individu pour pouvoir parler de connaissance (Laverne et Industriel, 2017). Les concepteurs et les ingénieurs de fabrication ont deux points de vue différents, le concepteur va s'intéresser à l'utilité et aux mécanismes du produit alors que l'ingénieur de fabrication va se concentrer sur sa fabricabilité. Deux objectifs différents et donc deux normes, directives et langages différents. Certaines connaissances pour un ingénieur de fabrication ne sont pas forcément les mêmes pour un designer (Enrique et al., 2011). C'est pourquoi la stratégie d'innovation d'une entreprise fait partie du domaine de la gestion des connaissances, il est essentiel que toutes les connaissances existantes soient organisées et mises à disposition des différents acteurs du processus de conception (Laverne et Industriel, 2017).

La dernière décennie a vu l'explosion des technologies de texte mining qui permettent à chacun de traiter et de travailler avec une grande quantité de connaissances. Des modèles de représentation des connaissances comme les ontologies ont été développés pour aider les Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

concepteurs à trouver les données qu'ils recherchent. De tels outils sont une opportunité pour développer des outils de conception, notamment pour le prototypage rapide par fabrication additive.

## **II. Contexte du projet**

### **II.1. Membres du projet**

Le projet de recherche possède trois membres, deux encadrants et un stagiaire.

#### **Frédéric Segonds (encadrant de projet et tuteur de stage) :**

*Laboratoire Conception de Produits et Innovation,*

*Arts et Métiers ParisTech,*

*151, Boulevard de l'Hôpital,*

*75013 Paris, France*

*Email : frederic.segonds@ensam.eu*

Frédéric Segonds est professeur à l'ENSAM et membre du Laboratoire de Conception et d'Innovation des Produits (LCPI). Ses intérêts de recherche portent sur les premières étapes de la collaboration en matière de conception, l'optimisation PLM et la conception collaborative. Ce domaine comprend l'intégration des compétences essentielles des parties prenantes dans les premières étapes de la conception et la fourniture de méthodologies et d'outils pour soutenir la conception précoce de produits.

#### **Romain Pinquié (encadrants de projet) :**

*Univ. Grenoble Alpes,*

*CNRS,*

*Grenoble INP, G-SCOP,*

*38000 Grenoble, France*

*Email : romain.pinquier@grenoble-inp.fr*

Romain Pinquié est professeur adjoint à l'Institut de technologie de Grenoble (Grenoble INP). Il a obtenu un doctorat en conception de produits à l'ENSAM et un Master en techniques informatiques et logicielles en ingénierie, spécialisé en ingénierie assistée par ordinateur à l'Université de Cranfield. Ses recherches à G-SCOP UMR CNRS se concentrent sur l'ingénierie des systèmes,

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

combinant des aspects de la conception technique, de la modélisation et de la simulation, de la science des données et de la réalité virtuelle.

**Oscar Fossey (stagiaire) :**

Laboratoire Conception de Produits et Innovation,  
Arts et Métiers ParisTech,  
151, Boulevard de l'Hôpital,  
75013 Paris, France  
Email : oscarfosseys@gmail.com

Oscar Fossey est étudiant chercheur à l'ENSAM et membre du Laboratoire de Conception et d'Innovation des Produits (LCPI). Ses recherches consistent à utiliser des méthodes et outils d'analyse de données pour la conception de produits et l'innovation.

**II.2. Objectif du projet**

L'objectif du projet est de développer un outil et une méthode qui repose sur les techniques d'analyse de données modernes pour assister les concepteurs pendant la phase de prototypage.

L'outil devra extraire les bonnes connaissances en fonction de la description d'une idée de produit. Dans notre cas, les connaissances sont des règles de conception pour le prototypage avec fabrication additive. Les concepts de produits qui seront utilisés pour tester l'outil au cours de son développement se présentent sous la forme de fiches idées.

Chaque fiche idée a deux parties (Fig 1) : une partie textuelle et une partie avec un croquis pour décrire l'idée aussi précisément que possible.

#### Cooking aid for rice bag

The utensil allows to handle the rice bags (fast cooking), it has the advantage to protect the user from the boiling water, to help him to control the trajectory of the bag as well as its draining. It also protects the user from sources of dirt (on the hands, on the work surface). It also helps the user to open the bag and to serve the rice.

Take the utensil with one hand by the handle and the bag in the other hand, place the handle of the bag around the hook of the utensil. Press the button that opens the clamp of the utensil and place the bottom of the bag in it, release the button to close the clamp on the bottom of the bag: the bag is then fixed on the utensil. Place the utensil/bag in the boiling water. The hand that holds the handle of the utensil stays outside the pan (at a sufficient distance from any heat source). Grab the handle, dip over the pan (or sink) using the "drip guide" (see diagram), the bag being attached to the utensil, its trajectory is controlled (no swinging, no projection). Using a pair of scissors, cut the edge of the bag, then open one side of the rice bag. The other side of the bag is held by the handle. Rotate the utensil/bag assembly to empty the rice directly into the plate (see diagram). Throw the bag into the garbage by releasing it from the utensil by pressing the button (without getting dirty). Wash the dirty parts of the utensil (possible without getting your hands wet). To allow the handling of a bag of rice (fast cooking or not) in safety (without burning one-self) and without dirtying the environment (projection, drops). To allow the serving of rice with the utensil without getting dirty or burned. To be washable with a simple passage under a jet of water and in machine. To be easily stored (foldable axis). To allow the installation of a lid on the pan. Do not disturb the quality of cooking, or even improve it. Be adapted to the working environment. Pleasant handling (touch, sound...). Control the flow and dripping of the bag. Protect the user from heat sources.

Words on the picture : Button, Rice, Flat, Nylon wire, Break drops, Pivot: Push button

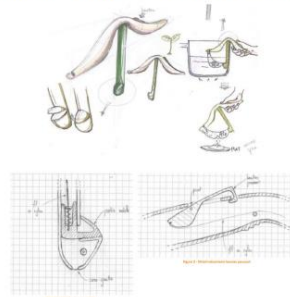


Fig 1 Exemple de fiche idée

Lors d'une étude préliminaire, nous avons constaté que les données pertinentes à extraire pour tester les différentes règles de conception se trouvent pour moitié dans le texte et pour moitié dans le schéma. Nous sommes parvenus à cette conclusion à l'aide de 10 cartes d'idées et d'une liste de critères comprenant environ 30 règles de conception. Cela fait au total 300 règles à tester qui peuvent être vérifiées avec le texte, le schéma, ou les deux en même temps. Toutes les règles de conception n'ont pas pu être évaluées en raison du manque d'informations, 12% des règles n'ont pas été évaluées. Sur les 300 règles de conception vérifiées, 46% ont été partiellement vérifiées par le texte et 51% ont été partiellement vérifiées par le schéma. Les grilles de résultats sont présentes en annexes avec la [figure 16](#).

Pour ce projet nous avons décidé de nous concentrer sur le texte et de ne pas analyser le schéma. Nous sommes conscients que nous perdons la moitié des données pertinentes. Une méthode pour analyser les données du schéma sera abordée dans un travail futur.

L'outil prendra donc en entrée une description textuelle d'un produit et devra en fonction des connaissances associées à la fabrication additive déterminer si ce produit peut être réalisé en fabrication additive. On peut imaginer par exemple une évaluation à trois niveaux « inadapté, reconception nécessaire », « reconception recommandé » et « adapté à la fabrication additive » (Fig 2).

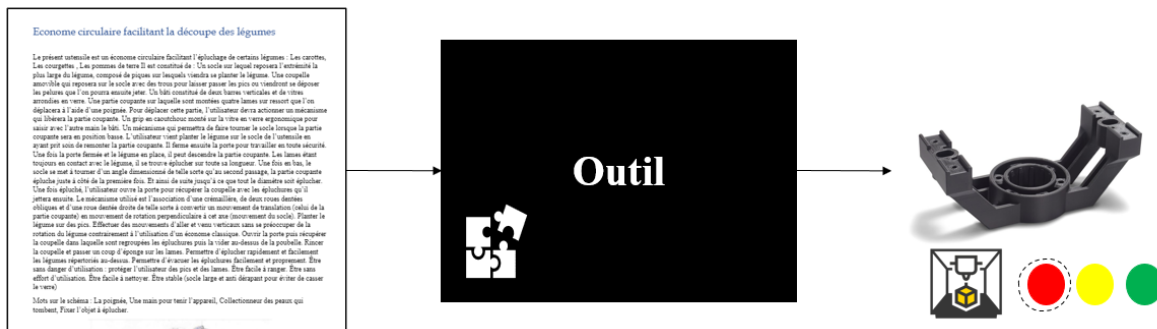


Fig 2 Flux d'entrée et de sortie de l'outil

### III. Problématique et démarche du projet

#### III.1. Problématique

Pour répondre à l'objectif posé nous avons posé la problématique de recherche suivante :

**« Comment utiliser les techniques de traitement et d'analyse de données pour assister le concepteur durant la phase de prototypage avec fabrication additive ? »**

Pour répondre de manière efficace à cette problématique nous avons également fixé quelques hypothèses de recherche en fonction de nos études préliminaires et de la direction donnée au projet.

#### Hypothèses de recherche :

- L'outil devra aider le concepteur à déterminer si un produit est prototypable avec les procédés de fabrication additive.
- L'outil se basera sur une fiche idée décrivant le produit pour porter son jugement.
- L'outil ne traitera dans un premier temps que les données textuelles de cette fiche idée.

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

- L'outil devra extraire et fournir au concepteur les connaissances nécessaires pour qu'un novice puisse reconcevoir et jugé lui-même de la situation sans avoir à faire à un expert de la fabrication additive.
- L'outil doit être abordable et robuste.

### **III.2. Démarche du projet livrables et critères de réussite du projet**

Pour réaliser cet outil nous avons établi une démarche pour pouvoir répondre de la manière la plus pertinente à la problématique.

#### **Démarche du projet :**

- Déterminer l'objectif de l'outil

Livrables : Problématique de recherche et hypothèses de recherche.

- Réaliser une étude de la littérature scientifique en lien avec cet objectif

Livrable : rapport bibliographique.

- Concevoir le fonctionnement global de l'outil ainsi que son architecture

Livrable : Schéma du fonctionnement précis de l'outil avec un rapport d'explication des éléments présent sur le schéma (inclus dans le présent rapport).

- Développer un prototype de l'outil

Livrable : prototype utilisable sur n'importe quelle description textuelle de produit en anglais.

- Tester sur un cas d'étude les performances de l'outil

Livrables : Résultats produits par l'outil accompagné d'une interprétation.

## IV. Etude bibliographique

### IV.1. Périmètre scientifique du projet

L'objectif du projet et la problématique de recherche nous amènent à concentrer nos recherches autour de trois axes (Fig 3) :

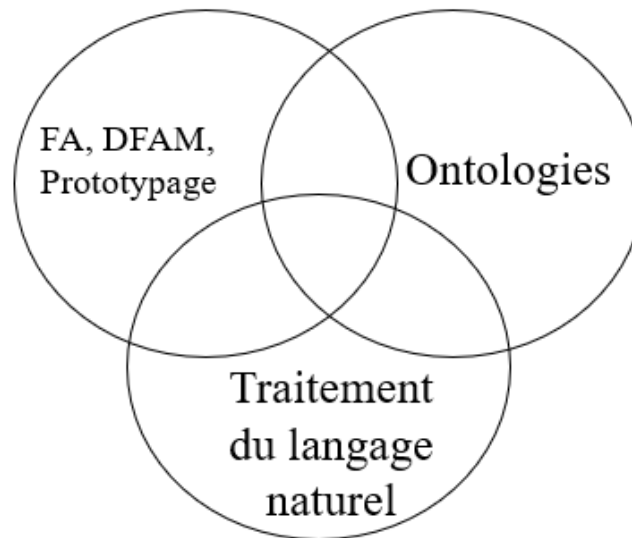


Fig 3 Périmètre scientifique du projet

➤ **FA, DFAM et Prototypage :**

Études des outils et des méthodes de la DFAM (Design for additive manufacturing). Étude des opportunités et des contraintes de la fabrication additive.

➤ **Ontologies :**

Études des techniques de « knowledge management » et de représentation de la connaissance à travers les ontologies.

➤ **Traitement du langage naturel :**

Études des méthodes de traitement du langage naturel, notamment les outils de pré-traitement du texte et les outils d'analyse sémantique (base de données et bibliothèques).

### IV.2. Conception pour la fabrication additive (DFAM)

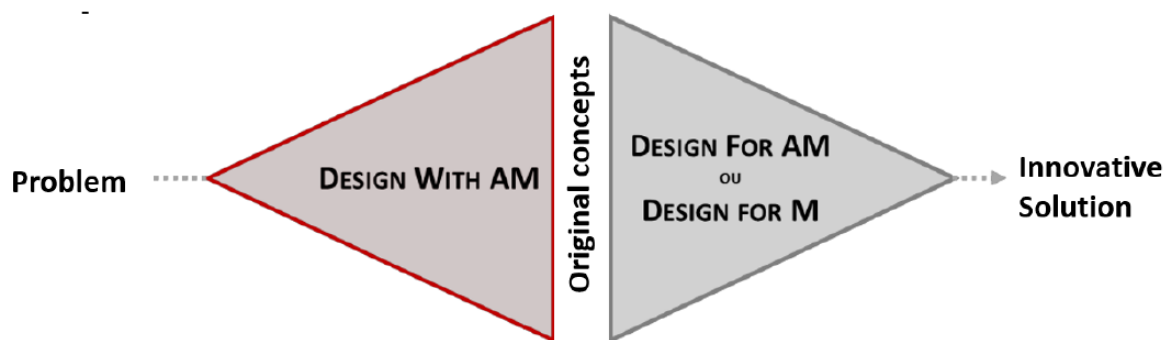
La DFAM (Design for Additive Manufacturing) est un ensemble de méthodes et d'outils qui permettent aux concepteurs de prendre en compte les spécificités de la FA (technologiques, géométriques, etc.) pendant de la conception (Laverne et al., 2015). Le principe de la DFAM provient

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

de la DFX (Design for X) et fait partie de la DFM (Design for Manufacture and assembly). Les méthodologies et les outils de la DFM se concentrent sur la fabrication en général, la DFAM se concentrera sur les contraintes et les opportunités qu'offre la fabrication additive. Le DFM signifie généralement que les concepteurs doivent adapter leurs designs pour éliminer les difficultés de fabrication et minimiser les coûts de fabrication, d'assemblage et de logistique. Toutefois, les capacités des technologies de fabrication additive offrent l'occasion de repenser la DFM pour tirer parti des capacités uniques de ces technologies (Gibson, Rosen et Stucker, 2010). Les outils de DFAM se concentreront sur la définition des théories, processus, méthodes, outils et techniques de conception développés pour traiter le couplage inhérent entre le matériau, la géométrie et la qualité dans ces systèmes (Thompson et al., 2016). Le DFAM sera séparé en deux parties selon l'utilisation du processus AM. D'un côté la FA pour le prototypage "manufacturing-driven design strategy", de l'autre la FA pour produire des pièces "function-driven design strategy" (Klahn, Leutenecker et Meboldt, 2015).

Notre outil s'intègre dans la partie "manufacturing-driven design strategy" en nous concentrant sur le prototypage. La [Fig 4](#) montre que l'outil DFAM sera utilisé pour la conception de produits et l'innovation dans la deuxième phase de production de solutions innovantes (Laverne et Industriel, 2017). L'outil développé se concentre sur la fabricabilité du concept à l'aide de la FA (AManufacturability).



*Fig 4 Place de la DFAM dans une démarche de conception innovante (Laverne et Industriel, 2017).*

À travers la littérature, d'autres outils de DFAM étudient la AManufacturability des pièces. La DFAM worksheet (Booth et al., 2017) étudie l'AManufacturability d'une pièce à l'aide d'une grille de critères. La grille de critères fournira une évaluation numérique pour déterminer si la pièce doit être reconçue ou non. La feuille de travail aide les concepteurs à évaluer la qualité potentielle d'une pièce

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.



fabriquée à l'aide de la plupart des procédés de FA et suggère indirectement des moyens de la reconcevoir. L'avantage immédiat de la DFAM worksheet est de filtrer les mauvaises conceptions avant qu'elles ne soient fabriquées (Booth et al., 2017). L'avantage de cette approche est qu'elle propose une analyse avant même que le modèle CAO (conception assistée par ordinateur) ne soit construit, ce qui permet de gagner du temps. L'analyse n'est pas automatique car le concepteur doit remplir la grille de critères, contrairement aux modèles CAO qui disposent d'outils pour reconcevoir automatiquement une pièce en commençant par les surfaces utiles (Thompson et al., 2016). Bien que le fait de disposer du modèle CAO présente des avantages pour la conception de la pièce, il présente également des inconvénients. En effet, outre la longue construction du modèle CAO, les modèles CAO de FA doivent être de meilleure qualité et contenir des informations plus complètes par rapport à ce qui est nécessaire pour les autres procédés de fabrication. En effet le passage du modèle CAO au prototype fini se fera automatiquement par la machine (Thompson et al., 2016). L'étude de la fabricabilité est équivalente à une vérification des différentes règles de conception, (Floriane et al., 2017) affirme qu'il est essentiel de fournir les connaissances (règles de conception de FA ici) juste nécessaires pour améliorer la phase de conception avec de la FA. Cette méthode utilise des connaissances de FA « adaptée », cela signifie une connaissance délivrée au bon utilisateur au bon moment et dans le bon format pour être utilisable pendant les étapes créatives de conception. Cette méthode concerne la phase créative et non l'étape de prototypage, mais même pour le prototypage, les connaissances de FA doivent être récupérées en fonction des besoins. Cependant, la mise en œuvre d'une méthode DFX implique la gestion des connaissances ainsi que la gestion de diverses abstractions du produit et l'utilisation d'outils pour l'intégration des contraintes de conception (Kuo, Huang et Zhang, 2001 ; Laverne et al., 2015). Sans l'utilisation du modèle CAO, la DFAM nécessite des représentations intermédiaires de la pièce, de ses différentes caractéristiques de conception, des connaissances en FA ainsi que les grands principes de la FA (Bouchard, Camous et Aoussat, 2005).

### **IV.3. Contraintes de la fabrication additive**

Pour déterminer la fabricabilité des différents concepts, nous étudierons les opportunités et surtout les contraintes imposées par la fabrication additive. Nous nous concentrons sur le procédé Fused Deposition Modeling (FDM) car il est largement utilisé pendant la phase de prototypage. Il existe de nombreuses études qui fournissent des critères et des lignes directrices pour chaque procédé. L'évaluation de l'AManufacturability d'une pièce sera basée sur :

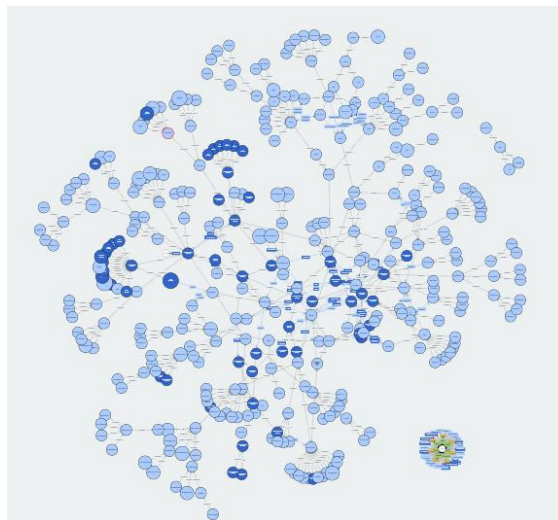
---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

- Des facteurs incluant le volume de construction, la taille minimale des géométries, la taille des supports, le temps de fabrication, l'estimation de la rugosité de surface, l'orientation de la construction (Lynn et al., 2016).
- Contraintes et opportunités de la fabrication additive (Gibson et al., 2014).
- Critères géométriques et mécaniques de la DFAM worksheet (Booth et al., 2017).
- Valeurs numériques pour différentes géométries (trous, paroi mince, ponts horizontaux...) (Cheung et Moultrie, 2013).
- Tolérances que l'on peut attendre d'un certain procédé de FA (Lieneke et al., 2015).
- Modèle de benchmarking pour la fabrication additive [9], [10].
- Liste des géométries pertinentes pour la FA (Alafaghani, Qattawi et Ablat, 2017).
- Rugosité de surface produite qui peut être attendue d'un certain procédé de FA (Rahmati et Vahabli, 2015).

#### IV.4. Ontologies

La gestion des informations et des connaissances en matière de conception est devenue une question essentielle qui mérite d'être étudiée (Liu et Lim, 2011). L'intelligence artificielle (IA) et les connaissances offertes par l'ingénierie permettent aux concepteurs de produire des raisonnements symboliques sur ordinateur. Ces techniques permettent aux concepteurs de modéliser les connaissances intuitives, le jugement et les expériences que les concepteurs experts utilisent, et de les intégrer dans des outils quantitatifs (Kuo, Huang et Zhang, 2001).



*Fig 5 Représentation graphique d'une ontologie*

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

En termes de gestion des connaissances, l'une des représentations des connaissances les plus populaires sont les ontologies ([Fig 5](#)). "Une ontologie est une représentation explicite des concepts d'un certain domaine d'intérêt, avec leurs caractéristiques et leurs relations." (Bedini et Nguyen, 2007). Pendant la conception pour combler le fossé entre la conception et la fabrication, les ontologies peuvent permettre la reconnaissance automatique des géométries (AFR) (Enrique et al., 2011) ou la recherche d'informations à travers des documents (Li et Ramani, 2007). Li et al utilise des ontologies pour effectuer des opérations de recherche, cette représentation des données (les ontologies) permettent d'adapter les chemins de recherche en fonction de chaque utilisateur de la requête. Les sens des mots dépendent du domaine d'étude « rib » ne signifie pas la même chose en anatomie et en aérospatiale (Li et Ramani, 2007). (Liu et Lim, 2011) met en évidence 3 types d'applications des ontologies dans l'ingénierie de conception : (1) l'annotation, le partage et la récupération des informations de conception ; (2) l'interopérabilité ; (3) la configuration de la conception des produits. Les ontologies permettent de trouver des liens entre les mots-clés des règles de conception et des principes abstraits qu'une base de données classique ne pourrait pas trouver. Cette base de données est basée sur les relations entre les différents attributs d'un domaine. Lorsque l'on choisit de travailler avec des ontologies, deux choix s'offrent à nous. Soit travailler avec des ontologies existantes, soit créer notre propre ontologie en partant de zéro ou en les combinant. Il existe des méthodes et des lignes directrices pour développer une ontologie pour un domaine choisi (Pinto et Martins, 2004 ; Zhou et al., 2004), (Ahmed, Kim et Wallace, 2007). Ces méthodes assureront la cohérence de l'ontologie et faciliteront son développement lorsque la quantité de connaissances augmentera. Une ontologie mal conçue sera non seulement inefficace mais aussi parfois erronée. Si les axiomes sont mal définis, le système d'inférence ne sera pas correct. Pour certaines applications, il est également intéressant de créer son ontologie automatiquement à partir de données externes telles que des textes ou des modèles de CAO et de détecter les relations directement à travers les données (Bedini et Nguyen, 2007), (Cheong et al., 2017).

Pour créer des ontologies ou travailler avec des ontologies, le langage principal est OWL (Sean et al., 2004) et différents logiciels permettent de travailler avec ce langage, nous avons préféré *Protégé* et la bibliothèque Python *owlready2* car ils sont largement utilisés, bien documentés et gratuits.

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

#### *IV.5. Traitement du langage naturel (NLP)*

Les techniques de NLP sont centrales pour le développement de notre outil puisque les données à traiter se trouvent dans la partie textuelle de la fiche idée. L'explosion de l'automatisation et de l'apprentissage automatique a permis de grands progrès en termes de techniques NLP (Ali, Jamal et Tehmina Amjad, 2016), (Ni et al., 2021). Des recherches dans le domaine du PLM (product life management), ont démontré que les techniques de NLP et de text mining facilitent la gestion des cahiers des charges produit (Véron, Segonds et Croué, 2016). À partir de grands documents de spécification, on effectue une extraction automatique des données pour alimenter les logiciels PLM (Véron, Segonds et Croué, 2016) et leur classification automatique dans des catégories spécifiques aux domaines (Véron, Segonds et Croué, 2016). Les techniques de NLP et de text mining ont également été appliquées avec succès pour recommander des règles de conception dans un environnement CAO contextuel dans le domaine aérospatial (Huet, Pingué, et al., 2021).

La première phase du traitement automatique des langues est le prétraitement du texte (Kannan et al., 2015). On découpe des morceaux de texte en phrases et en mots appelés tokens, c'est l'étape de tokenisation, puis vient la lemmatisation ou stemming qui va réduire les différents mots à leurs racines. Une autre étape pour réduire le nombre de mots consiste à supprimer les "stop-words" qui ne donnent aucun sens au texte, ce sont les mots communs à tous les textes ("the", "a", "this"...). Il est également possible de faire de l'analyse syntaxique et d'identifier les co-références, c'est-à-dire de faire une analyse syntaxique du texte pour relier deux tokens qui font référence à la même entité. Par exemple, "he" peut faire référence à "Steve". Des algorithmes existent pour identifier les différents types d'entités nommées avec NER (Named Entity Recognition) (Shelar et al., 2020), il reconnaît Los Angeles comme un LIEU et Coca-Cola comme une ORGANISATION. Toutes ces étapes de prétraitement d'un texte ou d'annotation de tokens (NER et analyse syntaxique) sont concentrées dans un seul outil appelé pipeline, le pipeline va extraire les données textuelles prétraitées. Il existe de nombreux pipelines configurable et personnalisable, pour notre projet nous utiliserons Stanza une boîte à outils NLP en Python qui possède différents pipelines (Qi et al., 2020).

Une fois le texte prétraité, une analyse sémantique peut être réalisée. La sémantique est la partie de la linguistique qui traite du sens des mots et des relations entre les mots. L'analyse sémantique va nous permettre d'établir des liens entre des phrases dont les tokens sont différents, mais qui parlent du même sujet. Un aéronef et un avion sont des tokens différents mais sont sémantiquement très proches. Pour effectuer des rapprochements sémantiques, des bases de données ont été créées telles que WordNet (Miller et al., 2009) (créée manuellement) ou ConceptNet

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

(Speer et Havasi, 2013) (créée automatiquement), et des boîtes à outils telles que Word2Vec (Dhariyal et Ravi, 2020) permettent de créer des modèles d'intégration de mots à partir de n'importe quelle source textuelle, qu'il s'agisse de pages Wikipédia ou d'articles scientifiques sur la FA. Un word embedding est un espace vectoriel qui permet de transformer les tokens en vecteurs, dans cet espace les tokens *aeronef* et *avion* sont très proches.

Les techniques de classification sont celles qui nous intéressent. En effet, nous souhaitons associer des règles de conception à des extraits textuels. Pour la classification de textes, il est parfois plus intéressant d'entraîner le modèle word2vec (Cheong et al., 2017) sur une base de données textuelle spécifique comme par exemple le biomédical. En effet, sur un modèle de word embedding qui considère plein de mots génériques, il est plus complexe de jouer sur les nuances des mots techniques, comme ceux des règles de conception. De plus, comme les règles de conception ne seront détectées qu'à travers de courts extraits de texte, le nombre de mots à interpréter sera limité. Il est souvent utile d'utiliser des fonctions de similarité qui vont déterminer à l'aide d'une base de données lexicale la proximité sémantique entre deux mots ou deux phrases (Romain, 2016), (Yih et Meek, 2007). Pour étudier la similarité entre deux phrases (Yih et Meek, 2007), nous avons trouvé trois grandes catégories de méthodes :

- L'appariement de surface, qui va développer chaque phrase avec les synonymes des différents mots-clés et transformer les deux phrases développées en vecteurs et regarder les cosinus entre eux.

- Les méthodes basées sur le corpus, une méthode examine le volume de documents où les deux phrases cooccurrentes, plus les phrases sont longues, moins cette méthode est efficace. Une autre méthode basée sur un corpus consiste à trouver des documents dans lesquels les différents mots-clés des phrases apparaissent et à utiliser ces documents comme représentations étendues des phrases, puis à comparer les deux représentations étendues de chaque phrase.

- Les caractéristiques pertinentes sont : les caractéristiques de surface telles que le nombre de caractères ou de mots des phrases, la différence syntaxique entre les deux phrases telle que la distance d'édition de Levenshtein (Yujian et Bo, 2007) ou la taille du chevauchement des préfixes, et les statistiques de substitution telles que le rapport log-vraisemblance ou l'information mutuelle entre les phrases utilisant leur mot-clé dans l'ensemble de données.

Souvent, en NLP on travaille avec des ontologies ; par exemple, les techniques NLP sont utilisées pour extraire les règles de conception d'un texte non structuré et les règles de conception sont stockées et représentées dans une ontologie (Kang et al., 2015).

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

#### **IV.6. Positionnement de recherche par rapport à l'étude bibliographique**

Nous prévoyons de développer un outil assisté par ordinateur qui analyse la description textuelle d'une fiche d'idée pour étudier la fabricabilité du prototype lors de l'utilisation de procédé de fabrication additive. L'outil produira un rapport d'analyse de l'AManufacturability avec la liste des règles de conception potentiellement applicables à ce produit, qu'elles soient satisfaites ou non. En outre, il y a une évaluation globale de l'état de fabricabilité de l'idée décrite. L'objectif de l'outil est illustré avec la [figure 6](#).

L'étude bibliographique présentée précédemment nous permet de nous situer par rapport aux différentes avancées scientifiques en matière de DFAM, FA, NLP, et dans l'utilisation des ontologies. Notre outil a pour but d'assister le concepteur lors de la phase de prototypage en utilisant la FA. Ainsi, notre proposition est un outil pour la DFAM, centré sur la partie prototypage de la FA (Klahn, Leutenecker et Meboldt, 2015).

L'un des défis sera de gérer la connaissance du domaine associée à la FA, notamment le vocabulaire spécifique. Les ontologies serviront de bonne représentation des connaissances de la FA. Deux options s'offrent à nous : développer une ontologie à partir de zéro ou partir d'une ontologie déjà développée. Nous utiliserons une ontologie existante de la fabrication additive (Kim et al., 2019) et interagissons avec elle en utilisant Protégé (protégé, pas de date) et owlready2 la bibliothèque Python (Lamy, pas de date).

Comme mentionné dans l'introduction, pour analyser les concepts du produit, nous utiliserons une description sous forme de fiche idée. Pour cette étude, seul le texte sera analysé sur la fiche idée, ce qui signifie qu'aucun schéma ou modèle CAO ne sera analysés. L'étude du schéma et du modèle CAO serait pertinente pour une étude complémentaire à notre travail.

Les textes à analyser seront d'abord prétraités avec la boîte à outils Python NLP Stanza (Qi et al., 2020) et le développement de l'outil se fera sur Python 3.8. Le modèle utilisé pour représenter notre texte sera le modèle « bag-of-words », il y aura un sac de mots par phrase. Dans ce modèle, la structure du texte est perdue, et nous ne serons concernés que par les différents mots présents dans chaque phrase.

Pour faire correspondre sémantiquement les phrases et les règles de conception pour le prototypage FA, nous utiliserons la méthode de correspondance de surface (Yih et Meek, 2007). Pour mettre en œuvre cette méthode, nous utiliserons le thésaurus WordNet (Miller et al., 2009) et l'ontologie générale ConceptNet (Speer et Havasi, 2013). Enfin, nous utiliserons la boîte à outils

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

Word2Vec (Dhariyal et Ravi, 2020) pour travailler avec les mots du texte. Travailler avec word2vec nous permet d'entraîner des word embedding sur un corpus spécifique à la FA.

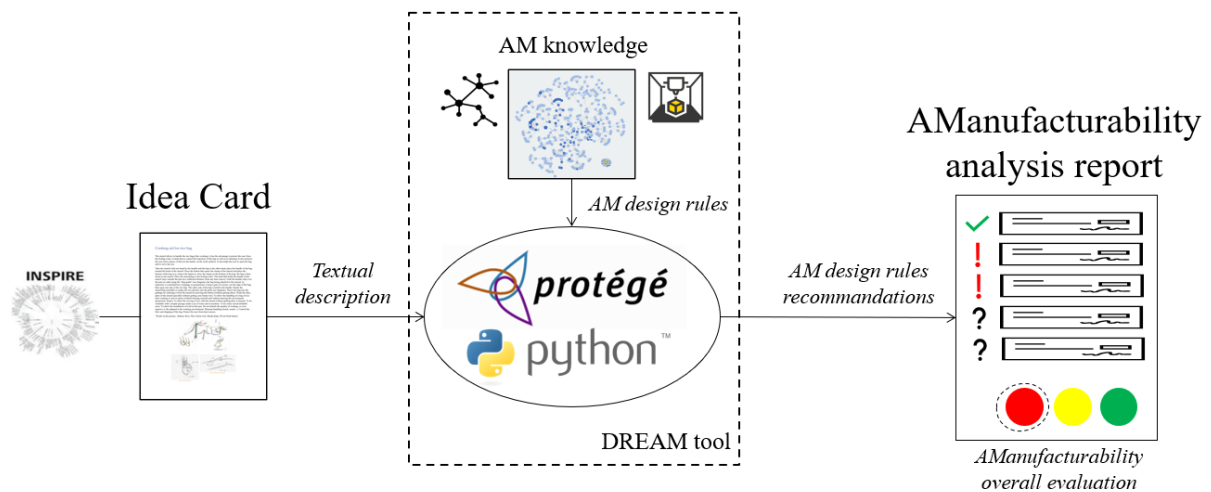


Fig 6 Flux d'entrée et de sortie de l'outil après l'étude bibliographique

## V. Conception de l'architecture de l'outil

### V.1. Banque de règles de conception

Pour étudier l'AM manufacturability des concepts d'idées à prototyper, nous avons établi une liste de 30 règles de conception sous forme de questions fermées. Cette liste a été réalisée grâce à la revue de littérature, faite sur les contraintes de fabrication avec la FA (Booth et al., 2017), (Lynn et al., 2016). Cette liste, [Fig 7](#), est accompagnée de critères quantitatifs qui sont associés au procédé FDM qui est un des procédés utilisés pour le prototypage.



Questions	Quantitative criterion
Is the part completely 2D?	
Is the part mainly 2D and can be made in a mill or lathe without repositioning the clamp?	
Is the part can be made in a mill or lathe, but only after repositioning it in the clamp at least once?	
Does the part has complex splines or arcs for a machine operations such as a mill or lathe?	
Does the part has interior features or surfaces curvature are to complex to be machined?	
Does mating surfaces are bearing surfaces or are expected to endure for 1000+ of cycles?	
Does Mating surfaces move significantly, experience large forces or must endure 100-1000 cycles?	40 Mpa flexion / 20 Mpa in traction
Does mating surfaces move somewhat, experience moderate forces , or are expected to last 10-100cycles?	Less than 5MPa overall
Does surfaces are purely non-fonctional or experience virtually no cycles?	
Does the part is smaller than or the same size as the required support structure ?	
Will there be small gaps that will require strutures?	
Will it be difficult to remove unwanted materials from the internal geometries?	
Will there be any internal cavities or channels or holes on the part?	
Will there be long unsupported features?	5-10mm
Will there be short unsupported features?	1-5mm
Will Overhang features have a slopped support or a 45deg support?	
Will there be small holes?	2mm of diameter
Will the part be lightly embossed or chamfered?	
Will the part be strongly embossed or chamfered?	
Will the parts have to fit together perfectly?	More or less of 0,5% / [2] : xy : Entre 11et 13 z: 11 et 14 (ISO 286-1)
Does Hole or lentgh tolerances are adjusted for shrinkage or fit?	
Is there no tolerance in terms of the dimensions of the part?	At least 0,5 mm between two parts meant to fit together
Does the part will have large flat surfaces? Does it needs an exact flatness?	
Will there be any flat surfaces that need to have almost exact flatness?	
Does the part need to have a low surface roughness ?	Lowest 20 microns for a plane end 40microns for a 45° surface
Are the thinner planes too thin?	0,8mm
Will there be any engraving or work on the surface which will be to precise?	0,6mm width and 2mm high
Are the rectangular or circular bars too thin?	2mm (circular) 3mm (rectangular)
Will the part be prototyped out of plastic?	
Will the part can be prototyped out of metal or ceramic ?	

Fig 7 Banque de règles de conception

Il s'agit maintenant de structurer cet ensemble de règles de conception de manière à ce qu'il puisse être analysé par notre programme python et exploité lors de la phase de mise en correspondance des règles de conception pertinentes avec une fiche idée.

## V.2. Utilisation de l'ontologie

Nous avons choisi de représenter nos règles de conception en utilisant une ontologie. Selon (Rangarajan et al., 2013), pour représenter les règles de conception DFM (DFAM dans notre cas) dans une ontologie, celle-ci doit comporter trois éléments clés :

- Une représentation formelle du domaine (une ontologie) qui comprend des concepts liés aux processus de conception et de fabrication (caractéristiques, données matérielles, soudage, découpe laser, etc.), des relations (un coude a un rayon), etc.
- Instances du domaine - *une pièce en acier inoxydable de calibre 22 avec deux coudes de rayon spécifique et une persienne de largeur et de hauteur spécifiques.*
- Des règles telles que les règles de fabricabilité qui sont appliquées à une conception.

Pour représenter nos règles, nous utiliserons l'ontologie DFAM (Kim et al., 2019), qui possède de nombreux concepts utiles pour remplir le point 1) et pour développer les points 2) et 3) dans nos différents cas selon nos cartes d'idées et notre ensemble de règles de conception.

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.



L'ontologie DFAM (Kim et al., 2019) comporte huit classes principales : AM\_Capability, AM\_Process, Failure, Feature, Machine, Parameter, Part, PostProcessing. L'outil doit être capable d'identifier les différentes caractéristiques du concept, comme un cylindre, un trou ou un type de forme. Une fois les caractéristiques identifiées et associées à une classe ou une sous-classe. Il sera nécessaire d'utiliser des règles implémentées dans l'ontologie pour identifier où il pourrait y avoir des problèmes de conception du concept. Ensuite, l'outil devra présenter la règle qui pose problème et qui doit être vérifiée par le concepteur.

Pour intégrer les règles, nous ajouterons une classe supplémentaire aux 8 classes déjà présentes. Les règles seront stockées dans une classe nommée "Design\_Rules", une sous-classe de la classe des règles de conception (RC) sera la classe "Current\_design\_rules\_SET", qui stockera les règles de conception qui correspondent à la carte d'idée étudiée. Une fois qu'une RC est ajoutée à cette classe, nous lierons la RC aux autres classes de l'ontologie en fonction de la nature de la RC. Par exemple, la RC associée à la question "Les plans plus fins sont-ils trop fins ? (0.8mm pour FDM)" est une RC qui traite des parois qui dépendent d'une épaisseur minimale qui dépend du procédé utilisé pour le prototypage. La [figure 8](#) illustre l'intégration de la "Thin\_wall\_rule" dans l'ontologie DFAM (Kim et al., 2019).

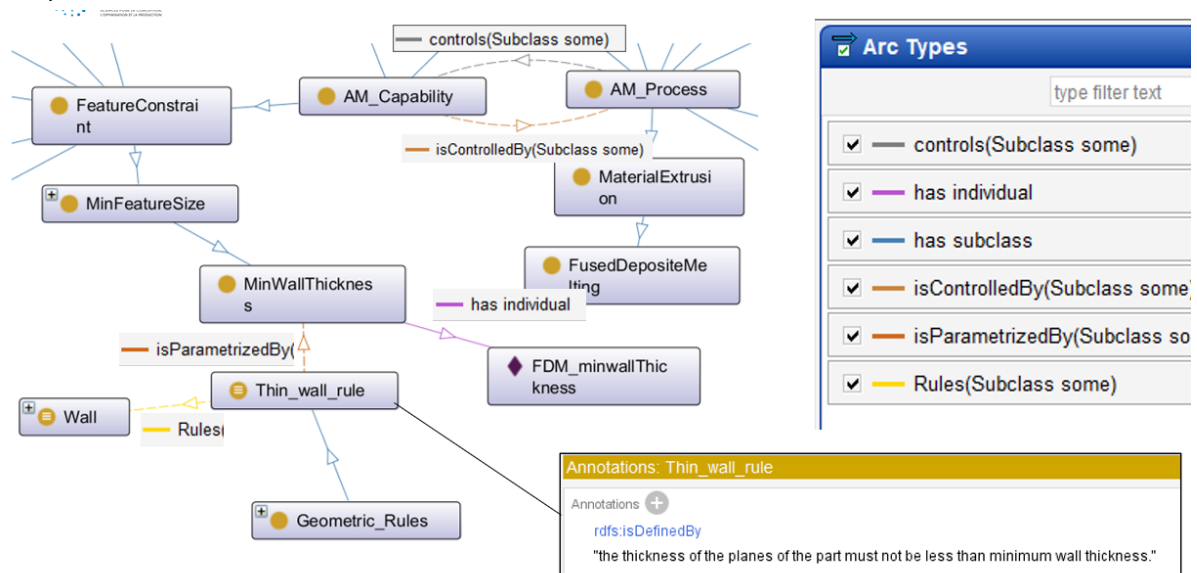


Fig 8 Integration de "Thin\_wall\_rule" dans l'ontologie

Il est important de mentionner l'annotation de la règle de conception avec la règle écrite en langage naturel. Cette annotation sera utilisée lors de l'étape d'analyse de texte pour relier les mots de la fiche descriptive avec les mots des règles et les concepts de l'ontologie.

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

### V.3. Techniques de pré-traitement de texte

Comme dit précédemment nous allons utiliser le modèle « bag-of-words » ce qui signifie que nous n'utiliserons pas la structure de la phrase pour l'interpréter. Avant de donner un sens interprétable à une phrase nous devons d'abord sortir les mots qui lui donne du sens. Pour cela nous allons effectuer un certain nombre d'étape :

➤ Tokenisation :

La tokenisation revient juste à transformer une phrase en suite de mots appelé « token », maintenant que la phrase est découpée nous pourrions annoter chaque token indépendamment de la phrase

➤ Suppression des « stop-words » :

Retirer les stopwords c'est identifier les mots qui ne donne pas de sens à la phrase. Pour ça nous passerons deux filtres un premier qui retire les mots communs comme « he », « a » or « this ». Ce premier filtre est déjà présent dans la bibliothèque python Stanza. Le deuxième filtre est un peu plus complexe, ce filtre va retirer des mots qui donnerais du sens si la phrase était générique mais qui n'en donne pas dans le contexte spécifique de la conception de produit. Par exemple le mots « part » qui peut vouloir dire « partie de » ou alors « pièce/produit ». La dualité de mots en fait de lui un faux ami c'est pourquoi on l'ajoutera à une liste de mots bannis et il ne sera plus interprété pour minimiser les erreurs.

➤ Lemmatisation :

Une fois que nous n'avons plus que les tokens pertinent nous allons les réduire à leur base grammaticale la plus simple. Cette étape sert à réduire le nombre de mots possible dans notre dictionnaire. Par exemple « its », « are » et « were » vont tous être réduit à « be ». Utilisé un lemmatizer est aussi essentiel pour pouvoir utiliser les bases de données de mots qui ne possèdent que des mots qui sont passé dans un lemmatizer.

Tous ces étapes sont résumées avec un exemple dans la [figure 9](#).

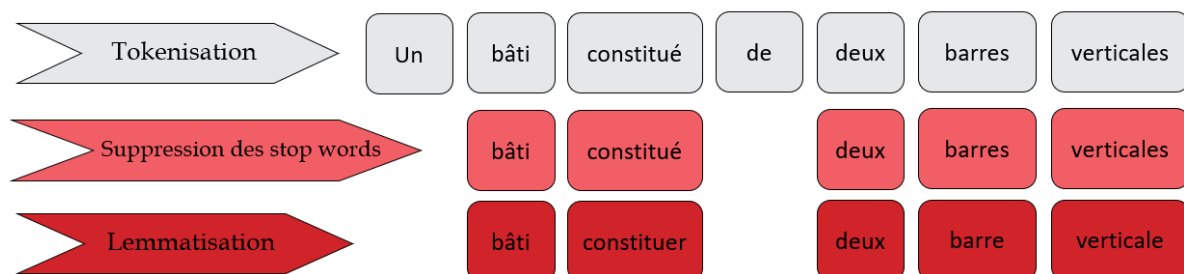


Fig 9 Exemple de pré-traitement d'un phrase type

#### **V.4. Analyse sémantique, représentation étendue et similarité**

Le processus de détermination de la similarité entre une phrase et un RC est illustré par la [figure 10](#).

Après avoir prétraité le texte à l'aide de la boîte à outils Python NLP Stanza, nous aurons un texte sous forme de "sac de mots", un sac de mots par phrase. Dans le sac de mots, les stop-words sont supprimés, et les mots sont lemmatisés. Pour associer les bonnes RC aux différentes phrases, nous utiliserons une représentation étendue de chaque phrase de la fiche idée puisque nous utilisons la méthode de correspondance de surface (Yih et Meek, 2007). Pour ce faire, nous utiliserons les thésaurus WordNet (Miller et al., 2009) et ConceptNet (Speer et Havasi, 2013) afin que la phrase soit associée à ses synonymes et à son concept sémantiquement proche.

Pour attacher des mots plus spécifiques de la FA à la représentation étendue, nous utiliserons les termes présents dans l'ontologie en fonction de la correspondance entre les mots de la phrase et les mots présents dans les annotations des concepts de l'ontologie. Un Word2vec entraîné sur une donnée scientifique de la FA servira à collecter les concepts de la FA qui lui sont liés (Dhariyal et Ravi, 2020).

Une fois les connaissances de l'ontologie et du modèle word2vec exploitées, nous allons transformer nos phrases en vecteurs. Pour cela, nous allons également créer la forme étendue de notre RC. Une fois les phrases et le RC sous forme expansée, nous utiliserons la méthode (Romain, 2016) pour construire les vecteurs et déterminer leur similarité en utilisant la fonction cosinus. Avec les différentes similarités entre RC et phrases, nous déterminerons quels DR sont les plus pertinents pour chaque phrase et plus globalement pour notre fiche idée.

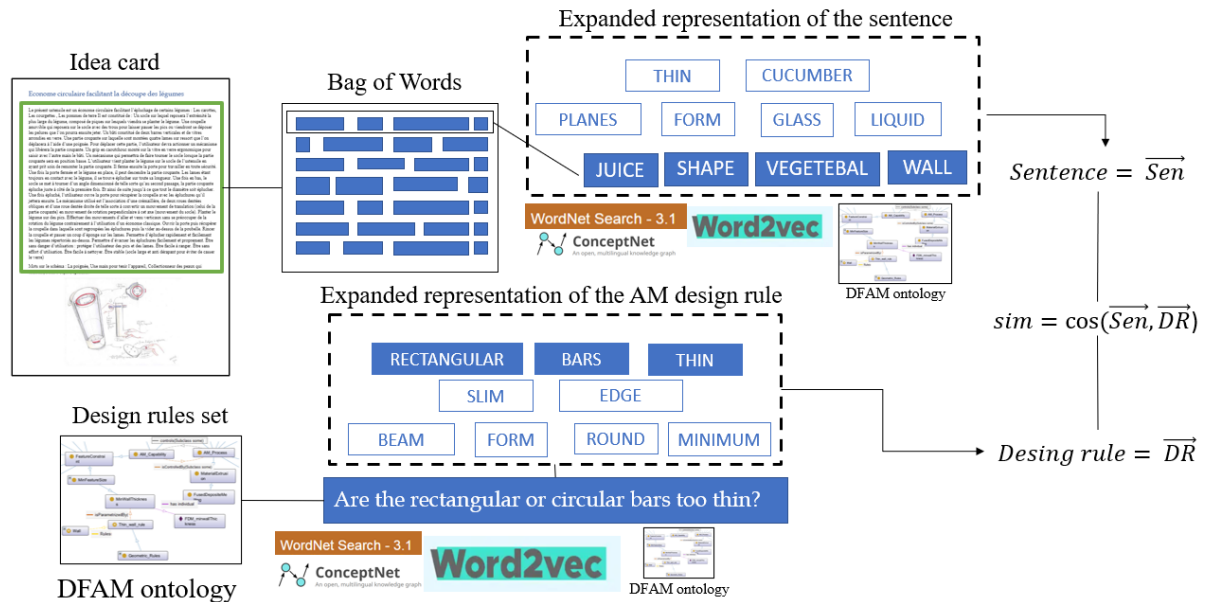


Fig 10 Procédé pour déterminer la similarité entre les phrases et les RC

## V.5. Architecture finale de l'outil

Une fois que l'indice de similarité nous a permis de déterminer les règles pertinentes, nous devons vérifier si ces règles sont respectées ou non. Dans certains cas, la vérification du respect de la règle peut se faire à partir du texte, par exemple dans le cas où le prototype doit absolument être en métal (prototype de couteau) la RC sur le matériau utilisé pourrait être automatiquement qualifiée de non respecter. Cependant, la plupart des règles exigent une précision géométrique exacte, c'est pourquoi il est rarement possible de conclure automatiquement si la règle est respectée ou non. Par conséquent, l'outil aidera principalement les créateurs sans expertise en FA à imaginer des prototypes rapides répondant aux exigences de base de la fabrication additive. Les règles seront complétées par leurs critères quantitatifs lors du rapport d'AManufacturability qui permettra au concepteur de conclure rapidement sans avoir à se documenter sur les possibilités de l'AM. L'architecture globale de l'outil est illustrée par la [figure 11](#).

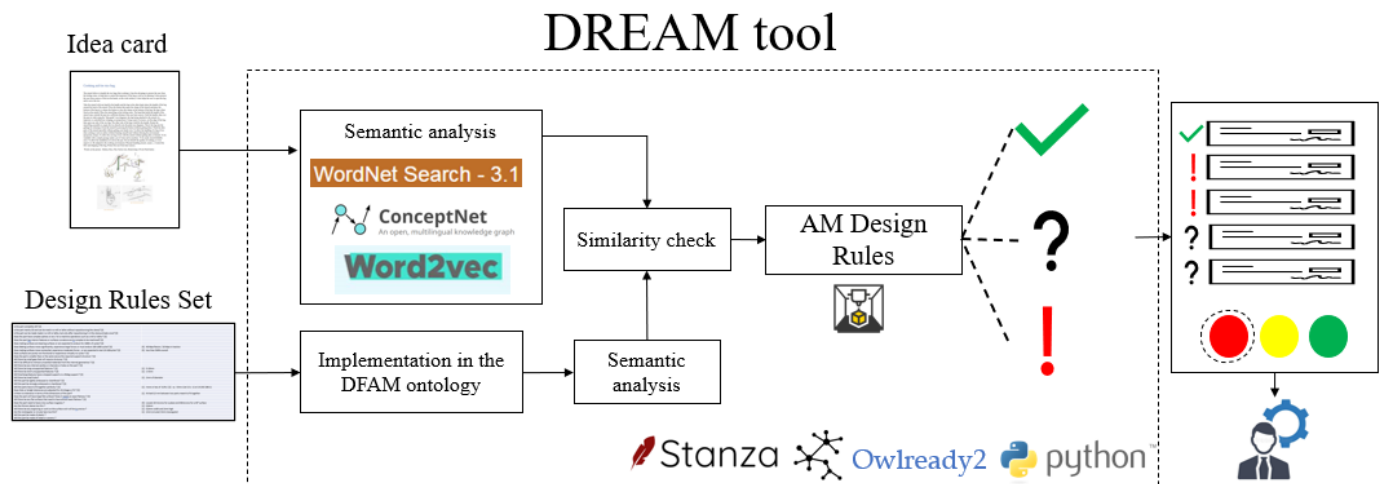


Fig 11 Architecture global de l'outil appelé « DREAM : Design rules extractor for additive manufacturability »

## VI. Développement d'un prototype

### VI.1. Banque réduite de règles de conception

Pour le prototype, l'ensemble des règles de conception sera réduit à seulement 5 règles :

- Thin\_wall\_rule : The thickness of the walls of the part must not be less than 0.8.
- Max\_part\_size\_rule : The overall length of the full size should be less than 1000.
- Min\_bars\_size\_rule: A circular bar must be larger than 2 and a rectangular bar must be larger than 3.
- Materials\_rule: The prototype should be functional with only plastic or polymer features, any other materials cannot be used.
- Small\_holes\_rule : Holes made on the part should not be too small, minimum 2 of diameter.

### VI.2. Architecture actuelle du prototype

Bien que l'architecture finale de l'outil soit bien définie, nous avons développé un prototype de l'outil qui prend en compte moins de sources de connaissances [Fig 12](#). Le prototype dispose d'un modèle d'intégration de mots GloVe (Global Vectors for word representation). Ce modèle 'glove-wiki-gigaword-300' est entraîné sur des pages Wikipedia où les mots sont représentés dans un espace à 300 dimensions. Le modèle GloVe sera pour ce prototype notre seule source pour enrichir les phrases.

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

Pour chaque token, nous utiliserons ce modèle pour avoir les tokens environnants dans l'espace des gants.

## First prototype of the DREAM tool

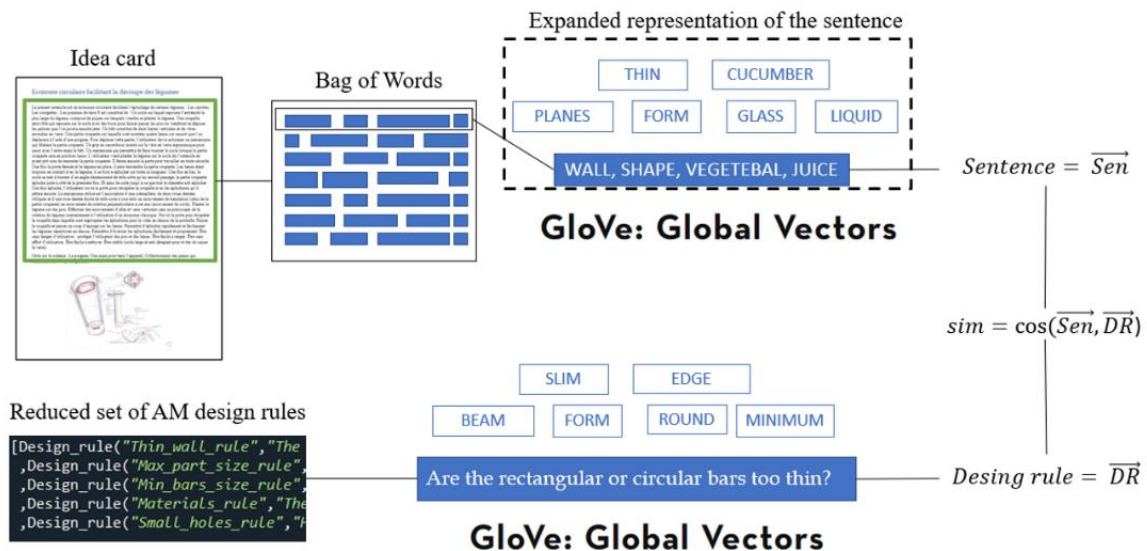


Fig 12 Architecture du premier prototype de l'outil

Pour le prototype de l'outil, 3 paramètres sont utiles pour calibrer l'outil :

- **Nsentbychunk** : Lors de l'implémentation, nous nous sommes donné la liberté de comparer plusieurs phrases à la fois à une seule règle de conception. Nous appellerons ces groupes de phrases des chunks. Par défaut, le nombre de phrases par chunk est de 1.
- **Nsimwordsbytokens** : Ce paramètre régit la taille de la représentation étendue de chaque chunk. Ce nombre représente le volume de mots similaires qui seront extraits du modèle Glove. Par défaut, sa valeur est de 5.
- **Similarity-threshold**: Ce nombre représente la valeur seuil à partir de laquelle une règle de conception sera considérée comme pertinente par rapport à un chunk. Sa valeur par défaut est de 0,35.

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

## VII. Application du prototype sur un cas d'étude

### VII.1. Présentation du cas d'étude

Le prototype de l'outil DREAM sera testé sur une fiche idée. Le concept du produit sera un éplucheur circulaire. Cette idée de produit provient d'une des fiches d'idées de produits du LCPI. Pour rappel, seule la description textuelle du concept sera analysée par le prototype de l'outil DREAM.

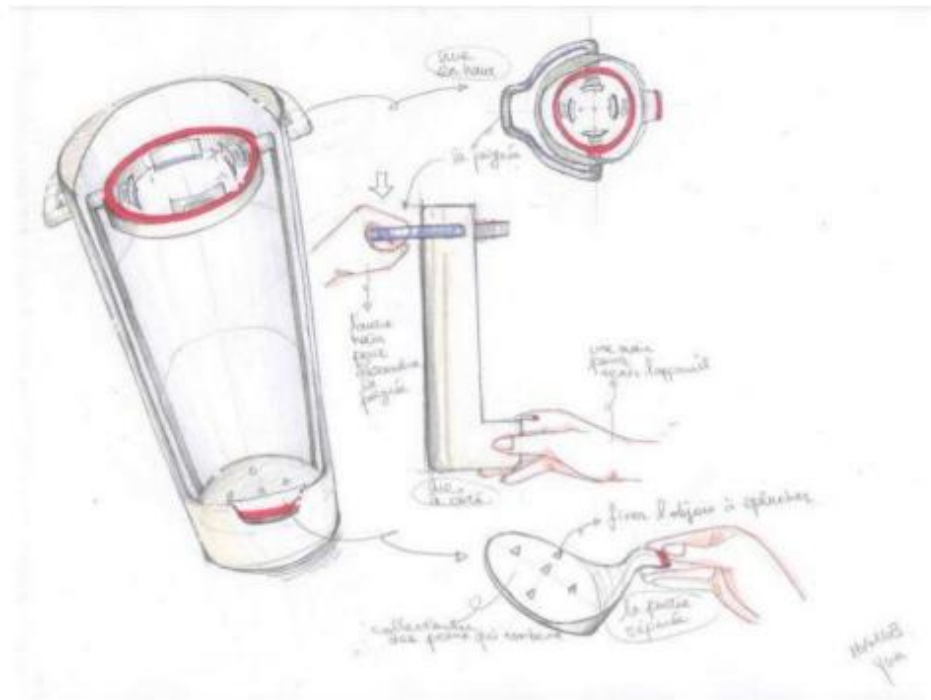


Fig 13 éplucheur circulaire

Description textuel de [Fig 13](#) : *“This utensil is a circular peeler facilitating the peeling of certain vegetables: Carrots, cucumber, potatoes. The overall structure is cylindrical, the size is about 25 cm high, to allow the most classic vegetables to pass through. It consists of: A base on which will rest the widest end of the vegetable, composed of sharp spikes on which will be planted the vegetable. A removable cup which will rest on the base with small holes to let pass the spikes or will come to deposit the peels which one will be able to throw then. A frame made of two vertical cylindrical bars and rounded glass panes. A cutting part on which are mounted four spring-loaded steel blades that can be moved with a handle. To move this part, the user will have to activate a mechanism that will release the cutting part. A rubber grip mounted on the ergonomic glass window to grasp the frame with the other hand. A mechanism that will allow the base to rotate when the cutting part is in the down position. The user plants the vegetable on the base of the utensil having taken care to raise the*

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.



cutting part. He then closes the door to work safely. Once the door is closed and the vegetable is in place, he can lower the cutting part. The steel blades being still in contact with the vegetable, it is peeled on all its length. Once at the bottom, the base starts to rotate at an angle so that on the second pass, the cutting part peels right next to the first. And so on until the entire diameter is peeled. Once peeled, the user opens the door to recover the cup with the peelings that he will then throw away. The mechanism used is the association of a rack, two oblique toothed wheels and a straight toothed wheel in such a way as to convert a translation movement (that of the cutting part) into a rotation movement perpendicular to this axis (movement of the base). Plant the vegetable on small vertical spikes. Move the vegetable back and forth vertically without worrying about the rotation of the vegetable as opposed to using a classic peeler. Open the door and retrieve the cup in which the peelings are grouped, then empty it over the garbage can. Rinse the cup and wipe the steel blades with a sponge. Allow for quick and easy peeling of the vegetables listed above. Allow for easy and clean disposal of peels. Be safe to use protect the user from spikes and steel blades. Easy to store. Effortless to use. Easy to clean. Be stable (wide base and anti-slip to avoid breaking the glass). Words on the picture: The handle, one hand to hold the device, collecting the falling skins, fixing the object to be peeled."

## VII.2. Résultats de l'outil

Similarity	Rule	Rule annotation	Triggered words	Tokens from the text
<b>Number of sent by chunk = 1, Number of expanded words by token = 5, Similarity threshold = 0.35</b>				
0,503986	Max_part_size_rule	The overall length of the full	['increased', 'more',	['overall', 'structure', 'cylindric
0,392915	Small_holes_rule	Holes made on the part shou	['par-5', 'birdie', 'put	['removable', 'cup', 'rest', 'ontl
0,486854	Min_bars_size_rule	A circular bar must be larger	['bars', 'rectangular',	['frame', 'make', 'vertical', 'cyl
0,43245	Small_holes_rule	Holes made on the part shou	['cm', 'circumferenc	['entire', 'diameter', 'peel']
0,370328	Small_holes_rule	Holes made on the part shou	['smaller', 'large', 'tir	['Plant', 'vegetable', 'small', 've
0,368605	Materials_rule	The prototype should be func	['used', 'allow', 'use'	['effortless', 'use']

Fig 14 Résultats produit après exécution de l'outil avec les paramètres par défauts

Le prototype produit des résultats sous forme de tableaux (Fig 14). Dans ces tableaux, nous trouvons chaque règle de conception et chaque extrait de texte dont le score de similarité a dépassé le seuil de 0,35. La figure 15 replace les résultats du prototype dans leur contexte, afin de faciliter leur analyse. A terme, l'outil devrait fournir ce type de rapport pour chaque fiche idée analysée.



Rule : **Max\_part\_size\_rule**

Similarity score : **0,503986**

Rule annotation : *The overall length of the part full size should be less than 1000.*

Rule : **Min\_bars\_size\_rule**

Similarity score : **0,486854**

Rule annotation : *A circular bar must be larger than 2 and a rectangular bar must be larger than 3.*

Rule : **Small\_holes\_rule**

Similarity score : **0,370328**

Rule annotation : *Holes made on the part should not be too small, minimum 2 of diameter.*

"This utensil is a circular peeler facilitating the peeling of certain vegetables: Carrots, cucumber, potatoes. The overall structure is cylindrical, the size is about 25 cm high, to allow the most classic vegetables to pass through. It consists of: A base on which will rest the widest end of the vegetable, composed of sharp spikes on which will be planted the vegetable. A removable cup which will rest on the base with small holes to let pass the spikes or will come to deposit the peels which one will be able to throw then. A frame made of two vertical cylindrical bars and rounded glass panes. A cutting part on which are mounted four spring-loaded steel blades that can be moved with a handle. To move this part, the user will have to activate a mechanism that will release the cutting part. A rubber grip mounted on the ergonomic glass window to grasp the frame with the other hand. A mechanism that will allow the base to rotate when the cutting part is in the down position. The user plants the vegetable on the base of the utensil having taken care to raise the cutting part. He then closes the door to work safely. Once the door is closed and the vegetable is in place, he can lower the cutting part. The steel blades being still in contact with the vegetable, it is peeled on all its length. Once at the bottom, the base starts to rotate at an angle so that on the second pass, the cutting part peels right next to the first. And so on until the entire diameter is peeled. Once peeled, the user opens the door to recover the cup with the peelings that he will then throw away. The mechanism used is the association of a rack, two oblique toothed wheels and a straight toothed wheel in such a way as to convert a translation movement (that of the cutting part) into a rotation movement perpendicular to this axis (movement of the base). Plant the vegetable on small vertical spikes. Move the vegetable back and forth vertically without worrying about the rotation of the vegetable as opposed to using a classic peeler. Open the door and retrieve the cup in which the peelings are grouped, then empty it over the garbage can. Rinse the cup and wipe the steel blades with a sponge. Allow for quick and easy peeling of the vegetables listed above. Allow for easy and clean disposal of peels. Be safe to use protect the user from spikes and steel blades. Easy to store. Effortless to use. Easy to clean. Be stable (wide base and anti-slip to avoid breaking the glass). Words on the picture: The handle, one hand to hold the device, collecting the falling skins, fixing the object to be peeled."

Rule : **Small\_holes\_rule**

Similarity score : **0,392915**

Rule annotation : *Holes made on the part should not be too small, minimum 2 of diameter.*

Rule : **Small\_holes\_rule**

Similarity score : **0,43245**

Rule annotation : *Holes made on the part should not be too small, minimum 2 of diameter.*

Rule : **Materials\_rule**

Similarity score : **0,368605**

Rule annotation : *The prototype should be functional with only plastic or polymer features any other materials can not be used.*

Fig 15 Résultats du prototype remis dans leur contexte

### VII.3. Interprétation des résultats

Sur cette fiche idée, le prototype de l'outil DREAM a identifié 6 extraits à associer aux règles de conception. Parmi ces 6 associations, 4 sont considérées comme réussies et 2 non réussies. Chaque association est accompagnée des mots déclenchés pour expliquer la sélection du prototype. Plus l'association est évidente, plus le score de similarité doit être élevé. Nous avons analysé chaque association :

#### Association jaune :

Règle : **Max\_part\_size\_rule**

Score de similarité : 0.503986

Mots déclenchés : ['increased', 'more', 'smaller', 'sizes', 'third', 'large', 'improved', 'overall', 'increase', 'size', 'larger', 'diameter', 'sized', 'fourth']

L'association a obtenu le score le plus élevé. La présence de mots communs dans l'annotation de la règle de conception et dans le texte, extrait aide grandement l'association. Nous pouvons voir que la représentation étendue de "high", qui donne un sens de limite en termes de dimensionnement, sera associée à la représentation étendue de "length". Cette association règles-texte est considérée comme réussie.

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

**Association verte :**

Règle : Règle des petits trous

Score de similarité : 0,392915

Mots déclenchés : ['par-5', 'birdie', 'putt', 'holes', 'smaller', 'large', 'hole', 'tiny', 'par-4', 'few', 'larger', 'small'].

Cette association a un score de similarité moyen. Cette association est due à la présence des deux mots "small" et "holes" à la fois sur l'association de règles de conception et sur l'extrait de texte.

**Association en bleu clair :**

Règle : Min\_bars\_size\_rule

Score de similarité : 0,486854

Mots déclenchés : ['bars', 'rectangular', 'cylindrical', 'lounge', 'cafe', 'pub', 'restaurant', 'diameter', 'bar']

Cette association a un score de similarité élevé. Cette association est due à la présence des représentations élargies " bars " et " bar " mais aussi aux représentations élargies de " circular " et " cylindrique ".

**Association rose :**

Règle : Règle des petits trous

Score de similarité : 0,43245

Mots déclenchés : ['cm', 'circumference', 'cylindrical', 'diameters', 'width', 'diameter']

Cette association a un score de similarité moyen. Cette association est due à la présence du mot "diameter". Cet exemple montre la limite du prototype, avec des petites phrases le prototype peine à identifier le contexte des phrases.

**Association en bleu foncé :**

Règle : Règle des petits trous

Score de similarité : 0,370328

Mots déclenchés : ['smaller', 'large', 'tiny', 'few', 'larger', 'small']

Cette association a un score de similarité moyen faible. Cette association est due à la présence du mot "small" qui nous fait penser à une petite géométrie qu'une machine de FA a du mal à fabriquer. Cependant, la phrase ne mentionne pas de trous. Cela expose le problème d'un nombre limité de RC pour le prototype, il manque une règle plus générale comme une Minimum\_feature\_size\_rule.

**Association rouge :**

Règle : Règle\_matériaux

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

Score de similarité : 0,368605

Mots déclenchés : ['used', 'allow', 'use', 'using', 'uses']

Cette association a un score de similarité moyen faible. Cette association n'est pas du tout réussie. Les mots "use" et "used" sont tous deux présents dans le texte de l'annotation DR. Une fois de plus, cela montre à quel point le prototype DREAM a du mal avec les phrases courtes. Le mot "use" n'apporte aucune signification technique et utile. Avec des phrases de 3 mots, le score de similarité en cosinus n'est pas pertinent. Une solution consiste à augmenter le nombre de phrases par chunk.

Les trois premières règles de conception (jaune, vert et bleu clair) à associer répondent exactement à ce que l'on attend de l'outil. L'association bleu foncé est pertinente bien qu'aucun trou ne soit spécifié dans l'extrait. En effet, les géométries fines restent un défi pour la machine de FA. Nous pouvons cependant critiquer la précision de la détection associée à la règle `small_hole_rule`.

Nous pouvons également trouver quelques associations manquantes. Par exemple, une association entre `Material_rule` et l'extrait *"A cutting part on which are mounted four spring-loaded steel blades that can be moved with a handle."* était attendue.

Globalement, ce prototype montre la pertinence de ce projet et de ce prototype. Cependant, il expose quelques faiblesses initiales concernant les phrases courtes et les mots sans signification pris en considération comme "utiliser" dans l'association rose. Ces problèmes devraient être résolus avec plus de connaissances sémantiques avec Concept net et Wordnet, et plus de connaissance techniques et géométriques avec une utilisation pertinente d'une ontologie FA.

## VIII. Conclusion et perspective

Au cours des premières étapes de la conception, la phase de prototypage implique de fabriquer une première version utilisable du produit. Pour cela, le concepteur doit avoir des connaissances en fabrication rapide. Les concepteurs novices des procédés de fabrication comme la fabrication additive feront des erreurs et perdront du temps et de l'argent, de plus ils ne profiteront pas des opportunités qu'offre la fabrication additive.

Avec l'architecture de l'outil DREAM présentée dans ce mémoire, il est possible de développer un outil qui extrait les règles de conception les plus pertinentes en analysant une description textuelle du produit. Grâce aux règles extraites, les concepteurs pourront prototyper avec succès le produit en utilisant la fabrication additive. L'architecture de l'outil propose d'utiliser des ontologies pour représenter la connaissance de la fabrication additive. L'analyse du texte se fait à

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

l'aide de thésaurus et d'ontologies, ils sont utilisés pour développer la méthode de correspondance de surface qui permet de déterminer les règles les plus pertinentes pour prototyper ce produit.

Un prototype de DREAM a été développé et appliqué à exemple. Le prototype a extrait 6 règles de conception de la description textuelle. Parmi elles, 4 ont été considérées comme satisfaisantes et pertinentes. Pour ces 4 règles, le prototype a réussi à identifier le sens des phrases et à les relier aux règles de conception de FA. 2 des 6 règles de conception ont été extraites après une mauvaise interprétation des phrases courtes par le prototype, nous considérons ces associations comme non satisfaisantes. Les résultats montrent également l'absence de certaines règles de conception qui auraient pu être attendues après une analyse manuelle de la description textuelle. Globalement, les résultats valident notre architecture et sont encourageants pour l'amélioration de l'outil DREAM.

Il sera possible d'améliorer le prototype en le testant sur un plus grand nombre de fiche idée. Nous serons alors en mesure d'identifier les règles qui posent fréquemment des problèmes et les informations qui manquent régulièrement. Nous pourrions alors adapter le format des cartes d'idées pour demander au concepteur des précisions afin d'accélérer le processus d'analyse avec des données d'entrée plus précises.

Notre outil se concentre actuellement beaucoup sur les contraintes de la fabrication additive et peu sur les opportunités. Une version améliorée de l'outil pourrait proposer une amélioration du concept en utilisant les opportunités des matériaux et la liberté géométrique unique qu'offre la fabrication additive.

Bien que la forme de notre outil soit principalement conçue pour la fabrication additive, une telle architecture peut être adaptée à d'autres domaines avec une ontologie associée au domaine. Il serait par exemple possible, avec la bonne source de connaissances, de créer un outil pour promouvoir l'éco-conception au cours de la première phase de conception.

## Annexe

	Text										Picture									
	Information found with at least the text										Information found with at least the picture									
Idea sheet :	46%										51%									
Is the part completely 2D? [3]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Is the part mainly 2D and can be made in a mill or lathe without repositioning the clamp? [3]	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Is the part can be made made in a mill or lathe, but only after repositioning it in the clamp at least once? [3]	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
Does the part have complex splines or arcs for a machine operations such as a mill or lathe? [3]	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1
Does the part has inferior features or surfaces curvature are to complex to be machined? [3]	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Does surfaces are purely non-fonctional or experience virtually no cycles? [3]	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Will the part be lightly embossed or chamfered? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Will the part be strongly embossed or chamfered? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Will the parts have to fit together perfectly? [3]	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
Does Hole or length tolerances are adjusted for shrinkage or fit? [3]	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Is there no tolerance in terms of the dimensions of the part?	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Will there be any engraving or work on the surface which will be to precise?	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Does the part will have large flat surfaces? Does it needs an exact flatness? [3]	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Will there be any flat surfaces that need to have almost exact flatness? [3]	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Are the thinner planes too thin?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Will there be small holes?	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Are the rectangular or circular bars too thin?	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Will the part be made of metal or ceramic?	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
Does mating surfaces are bearing surfaces or are expected to endure for 1000+ of cycles? [3]	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Does mating surfaces move somewhat, experience moderate forces, or are expected to last 10-100cycles? [3]	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Does the part is smaller than or the same size as the required support structure? [3]	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
Will Overhang features have a sloped support or a 45deg support? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
Will the part be made of plastic?	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Will there be short unsupported features? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
Does Mating surfaces move significantly, experience large forces or must endure 100-1000 cycles? [3]	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Will there be any internal cavities or channels or holes on the part? [3]	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
Will there be long unsupported features? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
Does the part need to have a low surface roughness?	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Will there be small gaps that will require strutures? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Will it be difficult to remove unwanted materials from the internal geometries? [3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0

Fig 16 Résultats de l'étude préliminaire

On peut voir sur la gauche les 30 règles de conception sous forme de question fermé. Le tableau ensuite se sépare en trois parties une section « Text » et une section « Picture ». Dans chaque section les colonnes sont associées aux différentes fiche idées 10 en tous. Aux différents croisements un « 1 » signifie que dans la fiche idée (soit dans « Text » soit dans « Picture » l'information nécessaire pour répondre à la question été trouvé, c'est un « 0 » lorsque ce n'est pas le cas.

## IX. Références

- AHMED, S., KIM, S. AND WALLACE, K. M. (2007) "A METHODOLOGY FOR CREATING ONTOLOGIES FOR ENGINEERING DESIGN," JOURNAL OF COMPUTING AND INFORMATION SCIENCE IN ENGINEERING, 7(2), PP. 132–140. DOI: 10.1115/1.2720879.
- ALAFAGHANI, A., QATTAWI, A. AND ABLAT, M. A. (2017) "DESIGN CONSIDERATION FOR ADDITIVE MANUFACTURING: FUSED DEPOSITION MODELLING," OPEN JOURNAL OF APPLIED SCIENCES, 07(06), PP. 291–318. DOI: 10.4236/OJAPPS.2017.76024.
- ALI, D., JAMAL, A. N. AND TEHMINA AMJAD (2016) A SURVEY ON THE STATE-OF-THE-ART MACHINE LEARNING MODELS IN THE CONTEXT OF NLP | KUWAIT JOURNAL OF SCIENCE. AVAILABLE AT: [HTTPS://JOURNALS KUWAIT.ORG/KJS/INDEX.PHP/KJS/ARTICLE/VIEW/946](https://journalskuwait.org/kjs/index.php/kjs/article/view/946) (ACCESSED: JUNE 17, 2021).
- BEDINI, I. AND NGUYEN, B. (2007) "AUTOMATIC ONTOLOGY GENERATION : STATE OF THE ART," EVALUATION, PP. 1–15.
- BLANCHARD, B. S. AND FABRYCKY, W. J. (1981) "SYSTEMS ENGINEERING AND ANALYSIS," PRENTICE-HALL INTERNATIONAL SERIES IN INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING.

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.

- BOOTH, J. W. ET AL. (2017) "THE DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING WORKSHEET," JOURNAL OF MECHANICAL DESIGN, TRANSACTIONS OF THE ASME, 139(10), PP. 1–9. DOI: 10.1115/1.4037251.
- BOUCHARD, C., CAMOUS, R. AND AOUSSAT, A. (2005) "NATURE AND ROLE OF INTERMEDIATE REPRESENTATIONS (IR) IN THE DESIGN PROCESS: CASE STUDIES IN CAR DESIGN," INTERNATIONAL JOURNAL OF VEHICLE DESIGN, 38(1), PP. 1–25. DOI: 10.1504/IJVD.2005.006602.
- CHEONG, H. ET AL. (2017) "AUTOMATED EXTRACTION OF FUNCTION KNOWLEDGE FROM TEXT," JOURNAL OF MECHANICAL DESIGN, TRANSACTIONS OF THE ASME, 139(11), PP. 1–9. DOI: 10.1115/1.4037817.
- CHEUNG, W.-C. AND MOULTRIE, J. (2013) "3D PRINTING DESIGN RULES," P. 6.
- COURT, A. W., ULLMAN, D. G. AND CULLEY, S. J. (1998) "A COMPARISON BETWEEN THE PROVISION OF INFORMATION TO ENGINEERING DESIGNERS IN THE UK AND THE USA," INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION MANAGEMENT, 18(6), PP. 409–425. DOI: 10.1016/S0268-4012(98)00032-2.
- DHARIYAL, B. AND RAVI, V. (2020) "WORD2VEC AND EVOLUTIONARY COMPUTING DRIVEN HYBRID DEEP LEARNING-BASED SENTIMENT ANALYSIS," IN ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING. SPRINGER, PP. 1–16. DOI: 10.1007/978-981-15-2475-2\_1.
- ENRIQUE, L. ET AL. (2011) "LU-AN ONTOLOGY-BASED FEATURE RECOGNITION AND DESIGN RULES CHECKER FOR ENGINEERING.PDF."
- FLORIANE, L. ET AL. (2017) "ENRICHING DESIGN WITH X THROUGH TAILORED ADDITIVE MANUFACTURING KNOWLEDGE: A METHODOLOGICAL PROPOSAL," INTERNATIONAL JOURNAL ON INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING, 11(2), PP. 279–288. DOI: 10.1007/s12008-016-0314-7.
- GIBSON, I. ET AL. (2014) ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES, ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES. SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING. DOI: 10.1007/978-3-030-56127-7.
- GIBSON, I., ROSEN, D. W. AND STUCKER, B. (2010) "DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING BT - ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES: RAPID PROTOTYPING TO DIRECT DIGITAL MANUFACTURING," IN GIBSON, I., ROSEN, D. W., AND STUCKER, B. (EDS). BOSTON, MA: SPRINGER US, PP. 299–332. DOI: 10.1007/978-1-4419-1120-9\_11.
- HERZOG, E. (2004) "AN APPROACH TO SYSTEMS ENGINEERING TOOL DATA REPRESENTATION AND EXCHANGE," SCIENCE AND TECHNOLOGY, (867).
- HUET, A., PINQUIÉ, R., ET AL. (2021) "CACDA: A KNOWLEDGE GRAPH FOR A CONTEXT-AWARE COGNITIVE DESIGN ASSISTANT," COMPUTERS IN INDUSTRY, 125, P. 103377. DOI: 10.1016/J.COMPIND.2020.103377.
- HUET, A., PINQUIE, R., ET AL. (2021) "DESIGN RULES APPLICATION IN MANUFACTURING INDUSTRIES: A STATE OF THE ART SURVEY AND PROPOSAL OF A CONTEXT-AWARE APPROACH," PP. 335–340. DOI: 10.1007/978-3-030-70566-4\_53.
- KANG, S. K. ET AL. (2015) "EXTRACTION OF MANUFACTURING RULES FROM UNSTRUCTURED TEXT USING A SEMANTIC FRAMEWORK," PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE, 1B-2015, PP. 1–9. DOI: 10.1115/DETC2015-47556.
- KANNAN, S. ET AL. (2015) "PREPROCESSING TECHNIQUES FOR TEXT MINING," INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE & COMMUNICATION NETWORKS, 5(1), PP. 7–16.
- KASSNER, L. ET AL. (2015) "PRODUCT LIFE CYCLE ANALYTICS -NEXT GENERATION DATA ANALYTICS ON STRUCTURED AND UNSTRUCTURED DATA," IN PROEDIA CIRP. ELSEVIER, PP. 35–40. DOI: 10.1016/J.PROCIR.2015.06.008.

---

Développement d'un outil d'analyse de descriptif textuel de produit pour faciliter la phase de prototypage pendant la conception du produit.



- KIM, S. ET AL. (2019) "A DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING ONTOLOGY TO SUPPORT MANUFACTURABILITY ANALYSIS," JOURNAL OF COMPUTING AND INFORMATION SCIENCE IN ENGINEERING, 19(4), PP. 1–10. DOI: 10.1115/1.4043531.
- KLAHN, C., LEUTENECKER, B. AND MEBOLDT, M. (2015) "DESIGN STRATEGIES FOR THE PROCESS OF ADDITIVE MANUFACTURING," IN PROCEA CIRP. ELSEVIER B.V., PP. 230–235. DOI: 10.1016/J.PROCIR.2015.01.082.
- KUO, T. C., HUANG, S. H. AND ZHANG, H. C. (2001) "DESIGN FOR MANUFACTURE AND DESIGN FOR 'X': CONCEPTS, APPLICATIONS, AND PERSPECTIVES," COMPUTERS AND INDUSTRIAL ENGINEERING, 41(3), PP. 241–260. DOI: 10.1016/S0360-8352(01)00045-6.
- LAMY, J.-B. (NO DATE) "OWLREADY: ONTOLOGY-ORIENTED PROGRAMMING IN PYTHON WITH AUTOMATIC CLASSIFICATION AND HIGH LEVEL CONSTRUCTS FOR BIOMEDICAL ONTOLOGIES." DOI: 10.1016/J.ARTMED.2017.07.002.
- LAVERNE, F. ET AL. (2015) "ASSEMBLY BASED METHODS TO SUPPORT PRODUCT INNOVATION IN DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING: AN EXPLORATORY CASE STUDY," JOURNAL OF MECHANICAL DESIGN, TRANSACTIONS OF THE ASME, 137(12). DOI: 10.1115/1.4031589.
- LAVERNE, F. AND INDUSTRIEL, S. G. (2017) "CONCEVOIR AVEC LA FABRICATION ADDITIVE : UNE PROPOSITION D'INTÉGRATION AMONT DE CONNAISSANCES RELATIVES À UNE INNOVATION TECHNOLOGIQUE TO CITE THIS VERSION : HAL ID : TEL-01448311 L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS CONCEVOIR AVEC LA FABR."
- LI, Z. AND RAMANI, K. (2007) "ONTOLOGY-BASED DESIGN INFORMATION EXTRACTION AND RETRIEVAL," ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ENGINEERING DESIGN, ANALYSIS AND MANUFACTURING: AIEDAM, 21(2), PP. 137–154. DOI: 10.1017/S0890060407070199.
- LIENEKE, T. ET AL. (2015) "SYSTEMATICAL DETERMINATION OF TOLERANCES FOR ADDITIVE," 26TH ANNUAL INTERNATIONAL SOLID FREEFORM FABRICATION SYMPOSIUM, AUSTIN, TEXAS, USA, PP. 371–384.
- LIU, Y. AND LIM, S. C. J. (2011) "GLOBAL PRODUCT DEVELOPMENT," GLOBAL PRODUCT DEVELOPMENT, PP. 427–433. DOI: 10.1007/978-3-642-15973-2.
- LYNN, R. ET AL. (2016) "TOWARD RAPID MANUFACTURABILITY ANALYSIS TOOLS FOR ENGINEERING DESIGN EDUCATION," PROCEA MANUFACTURING, 5, PP. 1183–1196. DOI: 10.1016/J.PROMFG.2016.08.093.
- MILLER, G. ET AL. (2009) "WORDNET: AN ELECTRONIC LEXICAL REFERENCE SYSTEM BASED ON THEORIES OF LEXICAL MEMORY," REVUE QUÉBÉCOISE DE LINGUISTIQUE, 17(2), PP. 181–212. DOI: 10.7202/602632AR.
- NI, J. ET AL. (2021) RECENT ADVANCES IN DEEP LEARNING BASED DIALOGUE SYSTEMS: A SYSTEMATIC SURVEY. AVAILABLE AT: [HTTPS://MARKETS.BUSINESSINSIDER.COM](https://markets.businessinsider.com) (ACCESSED: JUNE 18, 2021).
- PINTO, H. S. AND MARTINS, J. P. (2004) "ONTOLOGIES: HOW CAN THEY BE BUILT?," KNOWLEDGE AND INFORMATION SYSTEMS, 6(4), PP. 441–464. DOI: 10.1007/s10115-003-0138-1.
- PROTÉGÉ (NO DATE). AVAILABLE AT: [HTTPS://PROTEGE.STANFORD.EDU/](https://protege.stanford.edu/) (ACCESSED: JUNE 17, 2021).
- QI, P. ET AL. (2020) "STANZA: A PYTHON NATURAL LANGUAGE PROCESSING TOOLKIT FOR MANY HUMAN LANGUAGES," IN, PP. 101–108. DOI: 10.18653/v1/2020.acl-demos.14.
- RAHMATI, S. AND VAHABLI, E. (2015) "EVALUATION OF ANALYTICAL MODELING FOR IMPROVEMENT OF SURFACE ROUGHNESS OF FDM TEST PART USING MEASUREMENT RESULTS," INTERNATIONAL

- JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, 79(5–8), PP. 823–829. DOI: 10.1007/s00170-015-6879-7.
- RANGARAJAN, A. ET AL. (2013) "MANUFACTURABILITY ANALYSIS AND DESIGN FEEDBACK SYSTEM DEVELOPED USING SEMANTIC FRAMEWORK," PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE, 4, PP. 1–11. DOI: 10.1115/DETC2013-12028.
- ROCHETON, B. ET AL. (2021) "SCIENCE ARTS & MÉTIERS ( SAM ) HESAM : A HUMAN cENTERED SUSTAINABLE ADDITIVE MANUFACTURING," 18, PP. 258–271.
- ROMAIN, P. (2016) PROPOSITION D'UN ENVIRONNEMENT NUMÉRIQUE DÉDIÉ À LA FOUILLE ET À LA SYNTHÈSE COLLABORATIVE D'EXIGENCES EN INGÉNIERIE DE PRODUITS.
- SEAN, B. ET AL. (2004) OWL WEB ONTOLOGY LANGUAGE REFERENCE, W3C RECOMMENDATION. AVAILABLE AT: [HTTP://WWW.W3.ORG/TR/2004/REC-OWL-REF-20040210/](http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/) (ACCESSED: FEBRUARY 10, 2004).
- SEGONDS, F. ET AL. (2017) "A FRAMEWORK FOR MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM DEPLOYMENT IN AN ADVANCED ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS FRAMEWORK FOR MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM DEPLOYMENT IN AN ADVANCED ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS," INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT, 10(1), PP. 1–19. DOI: 10.1504/IJPLM.2017.082996i.
- SHELAR, H. ET AL. (2020) "NAMED ENTITY RECOGNITION APPROACHES AND THEIR COMPARISON FOR CUSTOM NER MODEL," SCIENCE AND TECHNOLOGY LIBRARIES, 39(3), PP. 324–337. DOI: 10.1080/0194262X.2020.1759479.
- SPEER, R. AND HAVASI, C. (2013) "CONCEPTNET 5: A LARGE SEMANTIC NETWORK FOR RELATIONAL KNOWLEDGE," IN. SPRINGER, BERLIN, HEIDELBERG, PP. 161–176. DOI: 10.1007/978-3-642-35085-6\_6.
- THOMPSON, M. K. ET AL. (2016) "DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING: TRENDS, OPPORTUNITIES, CONSIDERATIONS, AND CONSTRAINTS," CIRP ANNALS - MANUFACTURING TECHNOLOGY, 65(2), PP. 737–760. DOI: 10.1016/J.CIRP.2016.05.004.
- VÉRON, R., SEGONDS, F. AND CROUÉ, N. (2016) "REQUIREMENT MINING FOR MODEL-BASED PRODUCT DESIGN," INT. J. PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT, 9(4), PP. 19–21. AVAILABLE AT: [HTTPS://HAL.ARCHIVES-OUVERTES.FR/HAL-01409205](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01409205) (ACCESSED: JULY 23, 2021).
- YIH, W. T. AND MEEK, C. (2007) "IMPROVING SIMILARITY MEASURES FOR SHORT SEGMENTS OF TEXT," PROCEEDINGS OF THE NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2, PP. 1489–1494.
- YUJIAN, L. AND BO, L. (2007) "A NORMALIZED LEVENSHTAIN DISTANCE METRIC," IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 29(6), PP. 1091–1095. DOI: 10.1109/TPAMI.2007.1078.
- ZHOU, X. ET AL. (2004) "ONTOLOGY DEVELOPMENT FOR UNIFIED TRADITIONAL CHINESE MEDICAL LANGUAGE SYSTEM," ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE, 32(1), PP. 15–27. DOI: 10.1016/J.ARTMED.2004.01.014.