HAL
open science

OntoSTEP-NC : une approche ontologique pour la capitalisation des connaissances en usinage.

Christophe Danjou, Julien Le Duigou, Benoît Eynard

To cite this version:

Christophe Danjou, Julien Le Duigou, Benoît Eynard. OntoSTEP-NC : une approche ontologique pour la capitalisation des connaissances en usinage.. Colloque AIP-PRIMECA 2015, Mar 2015, La Plagne, France. hal-01140136

HAL Id: hal-01140136

https://hal.science/hal-01140136

Submitted on 7 Apr 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

OntoSTEP-NC : une approche ontologique pour la capitalisation des connaissances en usinage

Christophe Danjou[1], Julien Le Duigou[1], Benoît Eynard[1]
(1) Département Génie des Systèmes Mécaniques, Université de Technologie de Compiègne,
Laboratoire Roberval UMR UTC/CNRS 7337, CS 60319,
60203 Compiègne cedex, France.
christophe.danjou@utc.fr; julien.le-duigou@utc.fr; benoit.eynard@utc.fr

Résumé— De nombreux travaux utilisent les ontologies pour favoriser l'interopérabilité et les échanges d'informations au niveau sémantique entre les systèmes. Bien que très complet, ces modèles ontologiques proposent une vision macro qui ne permet pas la capitalisation des connaissances d'usinage en vue d'une réutilisation. C'est pourquoi il a été décidé de créer OntoSTEP-NC une ontologie basé sur le standard opérationnel STEP-NC pour favoriser la capitalisation de connaissances issues de l'usinage et plus précisément des Machines-Outils à Commandes Numériques. Ce papier détaille la méthodologie qui a été choisie pour transformer le standard STEP-NC décrit en EXPRESS en OntoSTEP-NC décrit en OWL. Cet article précise aussi les choix d'instanciation qui ont été réalisés pour implémenter OntoSTEP-NC en tant que base de connaissance pour la capitalisation des savoir-faire d'usinage en vue d'une réutilisation au niveau de la programmation de fabrication.

Mots-clés— OntoSTEP-NC, STEP-NC, EXPRESS, OWL, CAO/FAO/MOCN

I. INTRODUCTION

Depuis plus d'un demi-siècle, le domaine de la fabrication et de l'usinage a connu de nombreuses évolutions et transformations. Essentiellement dû aux évolutions technologiques, l'usinage s'est transformé avec la disparition des machines-outils conventionnelles et l'apparition des machines-outils à commandes numériques (MOCN). L'apparition de MOCN a permis de résoudre de nouvelles problématiques : L'usinage 5-axes, contrairement à l'usinage 3-axes, permet de réaliser de nouvelles formes complexes par la combinaison de plusieurs degrés de libertés. Selon Lee [1], l'usinage 5-axes permet d'augmenter la productivité et la qualité du produit final.

Afin de piloter les MOCN et la combinaison des degrés de liberté lors de l'usinage, le parcours outils doit être programmé en amont de la phase d'usinage. Pour définir la meilleure stratégie d'usinage, les logiciels de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) permettent de générer des parcours-outils en s'appuyant sur les manufacturing features. Pour créer les parcours outils les logiciels FAO ont besoin en entrée d'un modèle géométrique. Le modèle géométrique 3D est obtenu à partir des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Une fois le programme d'usinage généré par le méthodiste, le Post-Processeur (PP) traduit le programme issu de la FAO en langage machine : le Code-G obéissant au standard ISO 6983 [2]. Ces éléments forment la chaîne numérique CAO/FAO/MOCN en incluant le PP et l'étape de simulation d'usinage.

Avec l'objectif d'améliorer le triptyque Coût-Délai-Qualité, les usineurs voient apparaître de nouveaux défis pour la fabrication. Une amélioration de la phase d'industrialisation permet de réduire le temps total du cycle de développement produit en évitant un certain nombre d'aller-retour entre le bureau d'étude, le bureau des méthodes et l'atelier. C'est pourquoi le projet FUI ANGEL (Atelier Numérique coGnitif intEropérable et agiLe) s'intéresse à l'intégration des phases conception-industrialisation-production. Une des solutions possible pour réduire la durée de chaque phase passe par la capitalisation et la réutilisation des connaissances et des savoir-faire métiers. Dans le cas de l'usinage, la capitalisation s'effectue par la remontée d'information depuis la MOCN vers les logiciels de CAO pour la phase de conception et FAO pour la phase de fabrication. Pour assurer la bidirectionnalité des échanges d'informations entre les logiciels de CAO/FAO et les MOCN, il faut que les systèmes de la chaîne numérique CAO/FAO/MOCN soient capables d'échanger des informations et de réutiliser ces informations. Ces caractéristiques sont définies par le terme interopérabilité [3].

Derrière les problématiques d'interopérabilité, ce papier s'intéresse aux retours d'informations depuis la phase de production vers la phase d'industrialisation. La question principale qui est traitée dans ce papier est : "Comment extraire et structurer les informations issues de l'usinage de pièce mécaniques pour une réutilisation dans la phase d'industrialisation?" En effet la capitalisation de connaissances permettra de s'approcher d'une production de pièces bonnes du premier coup. OntoSTEP-NC apparaît comme une option sérieuse pour organiser ces connaissances de façon à améliorer les échanges d'information dans la chaîne CAO/FAO/MOCN.

La partie suivante propose un état de l'art sur l'utilisation des ontologies pour l'échange et la capitalisation de connaissances. La partie 3 détaille la méthodologie choisie pour réaliser une modélisation d'OntoSTEP-NC. La partie 4 propose une discussion sur les choix réalisés et les manques du

modèle et présente les travaux futurs. La dernière partie conclue cet article.

II. ÉTAT DE L'ART

A. *Les ontologies : Pourquoi ?*

Bien qu'il existe différentes définition du terme « ontologie » [4], [5], la définition généralement retenue est celle de Gruber [6] : "An ontology is a specification of a conceptualization". Les ontologies sont un artefact conçu pour exprimer une compréhension commune d'un ensemble de concepts. En effet, la conceptualisation concerne l'extraction du vocabulaire d'un domaine et donne une vue simplifiée du monde que l'on veut représenter. Au travers de cette conceptualisation, chacun des concepts et leurs relations mutuelles permettent de décrire le monde réel [7].

Le terme d'ontologie est apparu il y a vingt ans dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA), mais existe depuis le 19ème siècle en philosophie où il vise à représenter l'ensemble des connaissances de tout ce qui est. Il est plus modeste et plus pragmatique en IA, ne prétendant représenter que l'ensemble des connaissances d'un domaine.

Dans un contexte numérique, l'ontologie permet de favoriser certaines fonctionnalités avancées telles que : un ensemble de connaissances formelles décrit par un vocabulaire spécifique, des mécanismes d'interconnexion, des règles d'inférence et par une logique sémantique qui permet de représenter un concept abstrait ou physique. Comme les ontologies utilisent le vocabulaire spécifique d'un domaine pour décrire les concepts et les relations, les ontologies peuvent être utilisées comme outils pour définir la sémantique de systèmes informatiques complexes [8].

Jasper et Uschold identifient trois utilisations majeures des ontologies [9] :

- Favoriser la communication entre plusieurs êtres humains
- Réaliser l'interopérabilité entre les systèmes logiciels, d'un point de vue sémantique
- Améliorer le développement et la qualité des systèmes logiciels.

Cependant, l'ontologie doit répondre à cinq critères : la clarté, la cohérence, l'extensibilité, une déformation d'encodage minimale et un engagement ontologique minimal. En d'autres termes, l'ontologie est l'expression explicite, minimale et idéalement neutre d'une sémantique. L'alignement d'ontologie est le processus qui permet d'établir les correspondances entre différentes ontologies. Les utilités principales des modèles fondés sur les ontologies sont [10] :

- Permettre le transfert de données entre les hommes et/ou les machines
- Permettre la réutilisation des informations du système
- Séparer les informations de chaque opérateur du système tout en les transmettant
- Fonder le savoir du système sur l'analyse formelle de ces informations.

Afin de favoriser les échanges sémantiques entre les différents acteurs d'un système / d'une organisation, des langages standard permettent de décrire les ontologies. On peut citer notamment le langage enrichie OWL (Web Ontology Language) créé par le consortium W3C en remplacement du langage RDF sémantiquement moins riche [11].

Dans ce papier, l'ontologie sera vue comme une solution pour réaliser l'interopérabilité des systèmes logiciels et favoriser la capitalisation de connaissances. En effet, les ontologies sont définies par un langage spécifique et se posent naturellement comme un vecteur de capitalisation de connaissances, de récupération de données et de raisonnement [12]. La section suivante propose de recenser les différentes utilisations des modèles ontologiques pour l'interopérabilité et la capitalisation de connaissances dans le contexte du développement de produit.

B. *Les ontologies produits pour l'interopérabilité*

Ces dernières années, de nombreux travaux de recherche se concentrent sur l'utilisation de modèle ontologique pour favoriser l'interopérabilité des systèmes et la capitalisation de connaissances tout au long du cycle de vie produit et au travers d'entreprises étendues. Ces modèles ontologiques peuvent contenir trois niveaux d'informations différents : description d'un produit, représentation ontologique de standards ou bien description des domaines ou architectures. Tous ont la même finalité : faciliter l'échange de données sémantiques. L'étude qui suit vise à analyser l'apport en termes d'interopérabilité des travaux les plus significatifs du domaine.

Les modèles décrivant des architectures globales d'échanges de données au travers des différentes phases du cycle de vie existent sous-différentes formes. Matsokis [10] propose une description ontologique des différentes phases du cycle de vie (Début de vie, Milieu de vie et Fin de vie) en spécifiant l'état du produit et en le caractérisant. L'intégralité du produit physique est décrite ainsi que l'environnement et les utilisateurs par l'architecture SOM. Dans le même sens, Kühnle [13] au travers du projet PABADIS'PROMISE, propose une architecture innovante pour le contrôle et l'échange d'information à travers trois niveaux (ERP, MES, Field Control). Cho [14] décrit lui aussi à partir d'une ontologie une architecture basée sur des méta-concepts pour réaliser une bibliothèque de pièces. Cette bibliothèque de pièce permet ensuite au travers d'algorithmes indépendants d'identifier les incohérences de pièces. Lin [15] crée une ontologie MSE qui permet de représenter un schéma général des connaissances de fabrication. Ce schéma permet de favoriser l'échange d'informations inter-entreprises, inter-service et au travers de divers champs disciplinaires. Jiang [16] et Chen [17] proposent des architectures pour favoriser la capitalisation de connaissances au travers d'entreprises étendues et plus précisément sur le domaine de la production. Grosse [18] propose de coupler l'intelligence artificielle aux modèles ontologiques pour favoriser l'échange et la capitalisation de connaissances de façon à rendre interopérable les systèmes de simulation. Panetto [19] propose ONTO-PDM un modèle

ontologique qui permet de définir une organisation pour assurer l'interopérabilité des systèmes d'information en favorisant l'échange d'informations liés à la production. Jun [20] utilise un modèle ontologique pour favoriser l'échange de features entre les systèmes CAO et CAPP (Computer-Aided Process Planning) en se basant sur le « Knowledge Interchange Format (KIF) ».

Au niveau produit, les modèles ontologiques sont essentiellement utilisés pour favoriser l'enrichissement des données produits afin de favoriser la collaboration. Yoo [21] propose un modèle sémantique qui s'appuie sur une base de connaissances produits standardisés pour vérifier les incohérence de systèmes. Les données produits sont enrichies de façon à connaitre les incompatibilités d'un produit dans un système. Vegetti [22] grâce à PRONTO (PROductONTOlogy) propose une approche ontologique qui permet de définir un modèle globale qui puisse renseigner toutes les informations produits pour tous les acteurs du processus. Patil [23] développe un langage spécifique pour enrichir les données produits pour assurer l'interopérabilité sémantique inter-domaines. Ce langage ontologique est le PSRL (Product Semantic Representation Language). Rachuri [24] utilise OAM (Open Assembly Model) pour enrichir les produits avec des données pour l'assemblage, les tolérances, la cinématique…Ce modèle ontologique est enrichie par le DAIM (Design-Analysis Integration Model) et le PFEM (Product Family Evolution Model) également développé par le NIST (National Institute of Standards and Technology) [25]. Bock [26] propose un modèle qui permet de supporter une collaboration au niveau du design en combinant les ontologies pour créer un langage spécifique au design. Dans le même sens Li [27] propose un modèle ontologique qui permet d'enrichir le modèle CAO d'un produit avec des annotations. Ce modèle OntoCAD propose une approche d'annotations standards.

Le niveau intermédiaire aux deux premiers concerne l'utilisation d'approche ontologique et la prolongation des standards existants assurant déjà la continuité sémantique. Ainsi, le NIST [28] a travaillé à développer le CPM (Core Product Model) en se basant sur des langages standards tels que UML ou EXPRESS. Ce modèle permet de créer une représentation formelle des informations produits. De même, Barbau [29] développe OntoSTEP une ontologie basée sur le standard STEP. Le standard STEP est notamment régi par la norme ISO 10303 et permet d'assurer les échanges d'information dans un format neutre entre les logiciels de CAO.

Cette étude sur l'utilisation des ontologies pour assurer l'échange des données et la capitalisation des connaissances montre que l'utilisation d'ontologies est favorisée ces dernières années. En effet, pour enrichir les données produits ou pour créer une architecture qui va permettre l'échange d'informations de nombreux travaux utilisent les ontologies. Cette ontologie peut soit être créée spécifiquement pour un domaine de façon à assurer le lien sémantique entre plusieurs entités, soit se baser sur des standards qui pourront être enrichies avec des données produits en fonction des acteurs et des domaines.

C. *Les manques pour l'usinage*

L'étude réalisée dans la partie précédente a mis en avant l'intérêt de l'utilisation des ontologies pour assurer le partage d'information. Ce partage de l'information est amélioré lorsque l'ontologie décrit un domaine avec un langage standard. Il apparaît aussi dans l'étude que de nombreux travaux créent un échange d'information depuis les phases de production vers les phases amont de conception et d'industrialisation : ONTO-PDM [19], KIF [20], PABADIS'PROMISE [13], SOM [10]. Ces modèles ontologiques permettent l'échange d'information au niveau des systèmes d'information et renseignent les données liant la production et la conception en assurant le lien entre les différentes phases du cycle de vie produit. Bien qu'autorisant l'échange de méta-données depuis les phases avals de fabrication vers les phases amonts de conception et d'industrialisation, ces modèles ne permettent pas l'échange d'informations spécifiques à la MOCN. Pour assurer ce retour d'information depuis la MOCN vers la phase d'industrialisation, une modélisation plus détaillée est nécessaire.

Le standard STEP-NC, régit par deux normes ISO 10303 - AP238 [30] et ISO 14649 [31], assure l'intégralité des échanges entre les différents systèmes logiciels CAO/FAO/MOCN. STEP-NC contient à la fois toutes les données liées à la modélisation 3D d'un produit et toutes les informations nécessaires pour la réalisation des opérations d'usinage avec les outils correspondants. La création d'OntoSTEP-NC, une ontologie basée sur le standard STEP-NC, permet d'assurer les échanges d'information depuis la MOCN vers la phase d'industrialisation comme exposé en figure 1. Le standard STEP-NC restant alors maître de l'échange d'information sur la chaîne CAO/FAO/MOCN tandis qu'OntoSTEP-NC favorise la remontée d'information vers les phases amont via les systèmes d'informations.

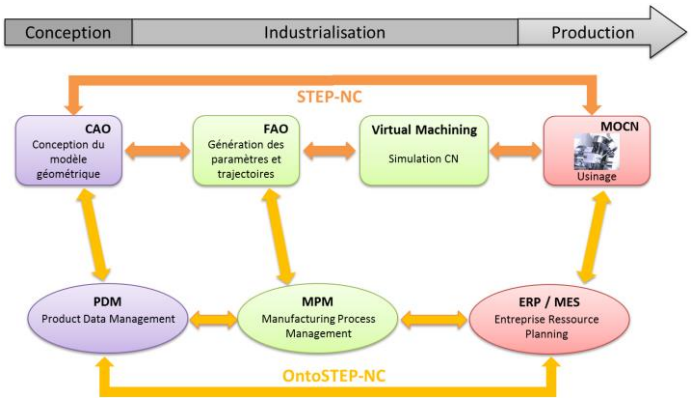

Figure 1. CHAINE ONTOSTEP-NC

L'étude réalisée précédemment met aussi en avant la capitalisation des connaissances au travers des ontologies. Les travaux analysés au cours de l'étude détaillent peu les méthodes de capitalisation de connaissances et les mécanismes d'instanciations des modèles ontologiques. OntoSTEP-NC doit proposer une capitalisation des connaissances d'usinage permettant ainsi une réutilisation future au niveau de la FAO lors de la réalisation du programme de la MOCN.

La partie suivante détaille la méthodologie de création d'OntoSTEP-NC et présente les choix de modélisation qui ont été réalisés pour transformer la norme STEP-NC en ontologie.

III. PROPOSITION : ONTOSTEP-NC

A. *STEP-NC*

Comme expliqué dans la partie précédente, OntoSTEP-NC est une ontologie basée sur le standard STEP-NC. Il a été choisie ici de se baser sur l'ARM (Application Référence Model) définit par l'ISO 14649 [31]. La norme ISO14649 est composé d'entité indépendante liée les unes aux autres exprimée en langage EXPRESS. La norme STEP-NC ISO 14649 se définit au travers de 8 Part :

- Part 1: Overview and fundamental principles
- Part 10: General process data
- Part 11: Process data for milling
- Part 12: Process data for turning
- Part 13: Process data for wire-EDM
- Part 14: Process data for sink-EDM
- Part 111: Tools for milling
- Part 121: Tools for turning

Pour les besoins d'OntoSTEP-NC, seules les Part 10, 11, 12, 111 et 121 sont nécessaires dans un premier temps. La Part 10 qui comporte le schéma général du fichier STEP-NC est la base de l'ontologie. Les Parts 11 et 12 se raccroche à la Part 10 par l'entité NC_function. Les Part 111 et 121 se raccroche à la Part10 par l'entité cutting_tool.

Un fichier STEP-NC se compose de deux parties distinctes : HEADER et DATA. La première comporte toutes les informations liées aux propriétés (Nom du programmeur, type de produit…) et la seconde comporte le programme d'usinage de la pièce à fabriquer. L'entité de plus haut niveau qui va initier le programme est l'entité Project. Elle pointe vers 3 autres entités : workplan, worpiece, person_and_address et vers 3 attributs : identifier, date_and_time, approval comme montré sur la figure 2.

```
ENTITY project;
  its_id:          identifier;
  main_workplan:   workplan;
  its_workpieces:  SET [0:?] OF workpiece;
  its_owner:       OPTIONAL person_and_address;
  its_release:     OPTIONAL date_and_time;
  its_status:      OPTIONAL approval;
  (*
  Informal proposition:
  its_id shall be unique within the part programme.
  *)
END_ENTITY;
```

Figure 2. EXEMPLE ENTITE PROJECT

De même l'entité worplan pointera sur d'autres entités et notamment sur la liste des entités executable qui va contenir toute la partie logique des instructions pour la réalisation du programme d'usinage.

B. *Les choix de modélisation*

En se basant sur les études de Noy [4] et Kapoor [32] il a été choisi d'utiliser le logiciel Protégé 4.3 pour la création d'OntoSTEP-NC et de décrire ce modèle ontologique à l'aide du langage OWL.

Contrairement au langage de modélisation EXPRESS qui décrit la norme STEP-NC et qui permet de définir simplement les relations existantes entre les entités et les attributs, en langage OWL, la notion d'entités, d'attributs et de cardinalités n'existent pas. Ces notions sont remplacées en OWL par les *Classes*, les *Object properties* et les *Data properties*. Il apparaît donc nécessaire de faire des choix pour transformer la norme STEP-NC décrite en langage EXPRESS en OntoSTEP-NC décrite en langage OWL.

Le premier choix qui est effectué est la transformation des « Entity » du langage EXPRESS de STEP-NC en « Classes » du langage OWL pour OntoSTEP-NC. Avec ce choix, deux entités en EXPRESS qui seront qualifiées de mère-fille se transformeront en classes mère-fille en OWL. Ainsi la relation définissant le lien en EXPRESS « SUBTYPE OF (…) » devient « <SubClassOf> » en OWL comme présenté sur l'exemple en figure 3 avec les entités radiused_slot_end_type et slot_end_type.

```
ENTITY radiused_slot_end_type
   SUBTYPE OF (slot_end_type);
END_ENTITY;
```

```
<SubClassOf>
    <Class IRI="#Radiused_slot_end_type"/>
    <Class IRI="#Slot_end_type"/>
</SubClassOf>
```

Figure 3. TRANSFORMATION DES ENTITES EN CLASSES

De même que pour les entités en EXPRESS, les attributs de la norme STEP-NC ne sont pas traductible en OWL, c'est pourquoi il faut créer des *Object properties* pour chacun des attributs. En reprenant l'exemple de l'entité Project, l'attribut concernant le statut approval peut-être défini en créant une entité dans les *Object properties* du modèle OntoSTEP-NC comme illustré en figure 4 avec la création de « *Project_has_status* ».

```
<SubClassOf>
    <Class IRI="#Approval"/>
    <ObjectMinCardinality cardinality="1">
        <ObjectProperty IRI="#Project_has_status"/>
        <Class IRI="#Project"/>
    </ObjectMinCardinality>
</SubClassOf>
```

Figure 4. EXEMPLE D'OBJECT PROPERTY

Contrairement au langage EXPRESS, en OWL tout ce qui n'est pas contraint est considéré comme possible. C'est pourquoi pour assurer la cohérence des données il est nécessaire de contraindre les attributs en leur attribuant une spécification de type (decimal, integer, double, string…). Pour cela il faut déclarer des *Data properties* sur l'attribut. En reprenant l'exemple de l'entité Project, l'attribut qui concerne le statut représenté en OWL par la classe *Approval* doit être spécifié comme étant du texte. C'est pourquoi il faut créer dans les *Data properties* une entité qui contraint le type : « *approval_is_label* » et lui affecté la valeur « *string* » comme représenté sur la figure 5.

```
<SubClassOf>
    <Class IRI="#Approval"/>
    <DataAllValuesFrom>
        <DataProperty IRI="#approval_is_label"/>
        <Datatype abbreviatedIRI="xsd:string"/>
    </DataAllValuesFrom>
</SubClassOf>
```

Figure 5. EXEMPLE DE DATA PROPERTY

Les choix de modélisation exposés dans cette partie peuvent être généralisés à l'ensemble des entités de la norme STEP-NC ISO14649. Il s'agit alors de créer chacun des attributs individuellement et chaque propriétés.

IV. DISCUSSION ET TRAVAUX FUTURS

Dans la partie précédente est exposée une solution pour transformer la norme STEP-NC définie en EXPRESS en OntoSTEP-NC une ontologie en OWL. La difficulté majeure rencontrée pour la création d'OntoSTEP-NC vient du fait qu'il n'y a pas la possibilité de traduire directement les entités et tous leurs attributs et leurs cardinalités en langage OWL simplement. Chaque attribut contient des propriétés qui ne sont pas transformables facilement. C'est pourquoi pour traduire des attributs, il faut utiliser les *Object properties* et les *Data properties*. La création de ces propriétés permet alors de contraindre l'ontologie et de définir ses propriétés. En effet, l'environnement ontologique étant différent de l'environnement STEP-NC, il est nécessaire de créer des conditions sur OntoSTEP-NC pour conserver les propriétés minimales définies par la norme. La création de propriétés connexes dépendrait ensuite des applications qui interagissent avec l'ontologie mais ne peuvent être imputés à OntoSTEP-NC. Bien qu'on traite les questions des entités et des attributs par ces choix de modélisation, l'aspect cardinalité n'est pas pris en compte par cette méthode. En effet la cardinalité définit par « SET [0 : ?] » (eg figure 2), « LIST [0 :?] », « ONE OF » n'apparaissent pas dans le modèle OntoSTEP-NC.

Comme précisé dans la partie (II.C), OntoSTEP-NC doit d'une part favoriser l'échange d'information entre les différents systèmes de la chaîne numérique CAO/FAO/MOCN et les systèmes d'informations PDM/MPM/ERP mais doit d'autre part assurer la capitalisation des connaissances d'usinage en vue d'une réutilisation au niveau de la FAO. C'est pourquoi il a été décidé d'instancier l'ontologie OntoSTEP-NC à l'aide de la plateforme OPENLINK Software VIRTUOSO Universal Server® [33]. Cette instanciation va permettre de créer des règles de connaissances métier et de favoriser l'échange d'information au travers des différentes phases du cycle de développement produit.

De plus, l'instanciation d'OntoSTEP-NC va permettre de traiter le problème de la cardinalité non traité au niveau de la modélisation de l'ontologie. En imposant des conditions sur les listes d'entités au niveau de l'instanciation cela va permettre d'alléger OntoSTEP-NC et de favoriser la capitalisation au niveau de la future base de connaissance. Cette capitalisation sera mise en œuvre dans un second temps avec Closed-Loop Manufacturing [34].

Une fois l'implémentation d'OntoSTEP-NC réalisée, le modèle globale sera testé avec un cas d'étude qui sera décrit par un programme d'usinage en STEP-NC pour valider la complétude de l'ontologie. Ce cas d'étude testera d'une part la fonctionnalité de l'ontologie en tant que modèle de donnée et d'autre part la capacité de l'instanciation à capitaliser les connaissances et savoir-faire métier pour l'usinage de pièces aéronautiques complexes.

V. CONCLUSION

Ce papier a proposé dans un premier temps de dresser un état de l'art succinct sur l'utilisation des ontologies produit dans les domaines de la conception, simulation, industrialisation et de la production. Il a ensuite mis en lumière certains manques au niveau de la fabrication afin de traiter l'échange d'information pour la capitalisation depuis la MOCN vers les phases amont en alimentant les systèmes d'informations. C'est pourquoi en se basant sur des données de bas-niveau au travers du standard STEP-NC, ce papier propose une méthodologie pour la création d'OntoSTEP-NC en s'appuyant sur le langage standard OWL à l'aide de Protégé. Afin de créer OntoSTEP-NC des choix de modélisation ont été réalisés en créant des correspondances entre les entités et leurs attributs et les classes, data properties et object properties présentent en OWL. La capitalisation des connaissances d'usinage sera ensuite avancée par l'instanciation d'OntoSTEP-NC de façon à créer une base de connaissance en vue d'une réutilisation future pour la programmation des usinages au niveau de la FAO.

Ces travaux feront l'objet d'une validation avec un cas d'étude issue de l'industrie aéronautique.

VI. REMERCIEMENTS

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet ANGEL, financé par le programme FUI (Fonds Uniques Interministériels) et soutenu par le pôle Systématique. Nous remercions tous les partenaires du projet pour la qualité des échanges très riches scientifiquement.

VII. REFERENCES

[1] Y.-S. Lee, "Admissible tool orientation control of gouging avoidance 5-axis complex surface machining," *Comput. Aided Des.*, vol. 29, no. 7, pp. 507–521, 1997.

[2] "International Standards Organization, ISO 6983-1. Automation systems and integration — Numerical control of machines — Program format and definitions of address words — Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems." 2009.

[3] P. Wegner, "Interoperability," *ACM Comput. Surv.*, vol. 28, no. 1, pp. 285–287, 1996.

[4] N. F. Noy and C. D. Hafner, "The State of the Art in Ontology Design A Survey and Comparative Review," *AI Mag.*, vol. 18, no. 3, pp. 53–74, 1997.

[5] D. M. Pisanelli, A. Gangemi, and G. Steve, "Ontologies and Information Systems : the Marriage of the Century ?," *Software Methodologies, Tools and Techniques*, pp. 125–133, 2002.

[6] T. R. Gruber, "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing," 1993.

[7] J. Lee, H. Chae, C. Kim, and K. Kim, "Design of product ontology architecture for collaborative enterprises," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 2300–2309, 2009.

[8] N. Guarino, "Formal Ontology and Information Systems," in *Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98)*, 1998, no. June, pp. 3–15.

[9] M. Uschold and R. Jasper, "A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications," in *In Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5)*, 1999, pp. 1–12.

[10] A. Matsokis and D. Kiritsis, "An ontology-based approach for Product Lifecycle Management," *Comput. Ind.*, vol. 61, no. 8, pp. 787–797, 2010.

[11] G. Antoniou and F. Van Harmelen, "Web Ontology Language : OWL," in *Handbook on ontologies*, Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 67–92.

[12] L. Zhou, "Ontology learning : state of the art and open issues," *Inf. Technol. Manag.*, vol. 8, no. 3, pp. 241–252, 2007.

[13] H. Kühnle, *Distributed Manufacturing: Paradigm, Concepts, Solutions and Examples*. Springer Verlag London, 2010, p. 191.

[14] J. Cho, S. Han, and H. Kim, "Meta-ontology for automated information integration of parts libraries," *Comput. Des.*, vol. 38, pp. 713–725, 2006.

[15] H. K. Lin and J. a. Harding, "A manufacturing system engineering ontology model on the semantic web for inter-enterprise collaboration," *Comput. Ind.*, vol. 58, no. 5, pp. 428–437, Jun. 2007.

[16] Y. Jiang, G. Peng, and W. Liu, "Research on ontology-based integration of product knowledge for collaborative manufacturing," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 49, no. 9–12, pp. 1209–1221, Dec. 2009.

[17] Y. Chen, Y. Chen, and H. Chu, "Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 2759–2779, 2009.

[18] I. Grosse, J. Benoit, and J. Wileden, "Ontologies for supporting engineering analysis models," *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–18, 2005.

[19] H. Panetto, M. Dassisti, and A. Tursi, "ONTO-PDM: Product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 26, no. 2, pp. 334–348, Apr. 2012.

[20] H.-B. Jun, D. Kiritsis, and P. Xirouchakis, "Research issues on closed-loop PLM," *Comput. Ind.*, vol. 58, no. 8–9, pp. 855–868, Dec. 2007.

[21] S. B. Yoo and Y. Kim, "Web-based knowledge management for sharing product data in virtual enterprises," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 75, pp. 173–183, 2002.

[22] M. Vegetti, H. P. Leone, G. P. Henning, and D. M. Gimenez, "PRoduct ONTOlogy : Defining product-related concepts for logistics planning activities," *Comput. Ind.*, vol. 59, no. 2, pp. 231–241, 2008.

[23] L. Patil, S. Member, D. Dutta, R. Sriram, and S. Member, "Ontology-Based Exchange of Product Data Semantics," *Autom. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 213–225, 2005.

[24] S. Rachuri, M. Baysal, U. Roy, S. Foufou, C. Bock, S. Fenves, and R. Sriram, "Information models for product representation: core and assembly models," *Int. J. Prod. Dev.*, vol. 2, no. 3, pp. 207–235, 2005.

[25] S. Rachuri, S. J. Fenves, R. D. Sriram, and F. Wang, "A product information modeling framework for product lifecycle management," *Comput. Des.*, vol. 37, no. 13, pp. 1399–1411, 2005.

[26] C. Bock, X. Zha, H. Suh, and J. Lee, "Advanced Engineering Informatics Ontological product modeling for collaborative design," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 24, no. 4, pp. 510–524, 2010.

[27] C. Li, C. Mcmahon, and L. Newnes, "Progress with OntoCAD : A Standardised Ontological Annotation Approach to CAD Systems," in *International Conference on Product Lifecycle Management (PLM11)*, 2011, pp. 364–374.

[28] S. J. Fenves, S. Foufou, C. Bock, and R. D. Sriram, "CPM : A Core Model for Product Data," *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, 2008.

[29] R. Barbau, S. Krima, S. Rachuri, A. Narayanan, X. Fiorentini, S. Foufou, and R. D. Sriram, "OntoSTEP: Enriching product model data using ontologies," *Comput. Des.*, vol. 44, no. 6, pp. 575–590, Jun. 2012.

[30] "International Standards Organization, ISO/IS 10303-238. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 238: Application interpreted model for computerized numerical controllers." 2006.

[31] "International Standards Organization, ISO 14649-1. Industrial automation systems and integration — Physical device control — Data model for computerized numerical controllers — part 1: Overview and fundamental principles." 2003.

[32] B. Kapoor and S. Sharma, "A Comparative Study Ontology Building Tools for Semantic Web Applications," *Int. J. Web Seamantic Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–13, 2010.

[33] "Virtuoso universal server." [Online]. Available: http://virtuoso.openlinksw.com/. [Accessed: 15-Dec-2014].

[34] C. Danjou, J. Le Duigou, and B. Eynard, "OntoSTEP-NC for information feedbacks from CNC to CAD / CAM systems.," in *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World*, S. B. Heidelberg, Ed. 2014, pp. 256–263.