

Utilisation des ontologies pour satisfaire les exigences d'interopérabilité des systèmes informatiques de pilotage de production

SEKKAT Souhail, ABADI Asmae, ZEMMOURI El Moukhtar, BENAZZA Hussein
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Département Génie Industriel et Productique.
ENSAM – Dept GIP
Meknes, Morocco.

s_souhail@hotmail.com; asmae.abadi@gmail.com; ezemmouri@yahoo.fr; hbenazza@yahoo.com

Abstract— De nos jours, un système de production est constitué de plusieurs composants physiquement et logiquement distribués. La communication entre ces composants est primordiale et le niveau d'intégration du système détermine son efficacité. Par suite le système informatique de pilotage doit couvrir différents horizons temporels. Parmi les composants du système de pilotage nous pouvons citer les logiciels de pilotage MES (Manufacturing Execution Systems). Un système MES permet une intégration du système de pilotage. Lors du développement d'un système MES, l'interopérabilité est parmi les exigences les plus difficiles à assurer. Plusieurs ontologies ont été proposées pour résoudre le problème d'interopérabilité au niveau du pilotage d'atelier. L'Ontologie doit assurer que la sémantique utilisée par les applications en interopération est compréhensible par les différentes parties, elle concerne le niveau sémantique de l'interopérabilité. Dans cet article nous allons voir comment assurer l'interopérabilité tout au long du processus de développement d'un système MES ; de l'extraction des données en passant par la modélisation et l'alignement des modèles. Nous allons par suite, utiliser les ontologies en tant que support pour la conception des systèmes informatiques de pilotage.

Mots clés—Logiciels de pilotage d'atelier type MES; Ontologies; Interopérabilité sémantique; Productique.

Keywords—Manufacturing Execution Systems MES; Ontologies; semantic interoperability; Computer Integrated Manufacturing CIM.

I. INTRODUCTION

De nos jours, la compétition industrielle est sévère. Pour survivre, les entreprises doivent optimiser le pilotage de leur production. Ils doivent adopter des démarches d'amélioration continue et opter pour des systèmes de management de production Lean. Les systèmes informatiques de pilotage de production permettent d'atteindre ces défis. Ces dernières années, ces systèmes ont subi une révolution profonde grâce à l'introduction des nouvelles technologies informatiques. De nouveaux besoins en production, tels que l'ordonnancement, l'analyse des performances ou la traçabilité des produits, peuvent être facilités grâce aux logiciels de pilotage d'atelier de type MES. Le développement et l'implémentation d'un logiciel de pilotage est un problème difficile. En effet, pour ces types de projets, l'interopérabilité est parmi les exigences les plus

Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

Xth International Conference on Integrated Design and Production, CPI 2015, December 2-4, 2015, Tangier - Morocco.

difficiles à assurer. Plusieurs ontologies ont été proposées pour résoudre le problème d'interopérabilité au niveau du pilotage d'atelier. Cette communication aborde l'utilisation des ontologies pour satisfaire les exigences d'interopérabilité des systèmes informatiques de pilotage de production. L'objectif est d'assurer l'interopérabilité tout au long du processus de développement d'un système MES ; de l'extraction des données en passant par la modélisation et l'alignement des modèles.

Dans la section 2 de cet article nous allons définir le pilotage des systèmes de production. Ensuite, dans la section 3, les différentes méthodes de développement d'un système de pilotage de production sont présentées. Nous allons aborder spécialement les solutions proposées pour résoudre le problème d'interopérabilité. Au niveau de la section 4, nous allons introduire le concept d'ontologie, qui peut être appliqué pour le développement des systèmes interopérables. Dans la section 5, nous présentons les modèles d'activités de pilotage, proposés par la norme ISA S95 qui ont été préconisées pour résoudre le problème d'interopérabilité. Finalement dans la section 6, nous allons utiliser les ontologies en tant que support pour la conception des systèmes informatiques de pilotage et les conclusions sont données à la fin de l'article.

II. SYSTÈMES INFORMATIQUES DE PILOTAGE

De nos jours, un système de production est devenu complexe. En productique, le système de production est représenté, sous une forme hiérarchique par la pyramide CIM. Dans cette section, nous allons décrire les outils informatiques de pilotage de production. Nous allons présenter les différents niveaux de la pyramide CIM et expliciter les fonctions assurées par les logiciels de pilotage d'atelier de type MES.

A. La pyramide productique

Un système de production comporte du matériel mécanique, automatique et informatique. En productique on réalise une hiérarchisation du matériel par classes de niveaux croissants d'abstraction, cette démarche permet de regrouper dans chacune des classes tout ce qui relève d'un même métier et des spécialistes parlant le même langage. La pyramide CIM (Fig 1) fait apparaître cinq niveaux successifs [1] [2].

Niveaux 0 : Capteurs – actionneur. A ce niveau on trouve des capteurs, des actionneurs et des pré-actionneurs.

Niveaux 1 : Machine. C'est l'entité élémentaire d'un système de production.

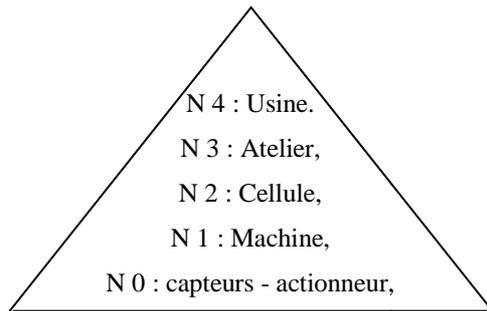


Fig. 1. : La pyramide CIM

Niveaux 2 : Cellule. Elle se compose, en générale, d'un magasin de stockage, d'un moyen de transfert, d'un ou plusieurs robots pour la manutention et de moyens de production. Elle est pilotée par un logiciel de supervision de type SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) comme par exemple (WinCC de Siemens, CIROS de Festo [3], RSVIEW d'Allen Bradley...).

Niveaux 3 : Atelier. Il est assuré par des logiciels de pilotage de type MES Manufacturing Execution Systems, qui permettent le lien entre les systèmes informatiques de gestion et les logiciels de supervision et assure des fonctions relatives aux ressources de production (Ordonnancement, Collecte des données, Traçabilité, Analyse des performances ...).

Niveaux 4 : Usine. Ce niveau est piloté par des logiciels de gestion GPAO et ERP (SAP, Baan, JDEdwards). Ce sont des outils informatiques qui assurent les fonctions liées à la gestion de l'entreprise: gestion des ressources humaines, comptabilité, gestion de la relation client

Un système de production intégrée comporte, en plus des réseaux locaux industriels, pour faire communiquer les machines d'un atelier ainsi que les différents services d'une usine. Les Systèmes de Production sont de plus en plus intégrées et flexibles et leurs développement est devenu de plus en plus difficile. En effet, développer un système flexible de production va au-delà de la simple automatisation du processus. L'intégration du système d'information en entier est un élément indispensable. Vu que nous allons nous intéresser au développement des logiciels MES, nous allons présenter, dans le paragraphe suivant, les fonctions assurées à ce niveau.

B. Logiciels de pilotage d'atelier de type MES

Réduire les coûts, améliorer le rendement et la qualité des produits sont des thèmes récurrents permettant à l'entreprise de se démarquer. Ces efforts d'amélioration impliquent une bonne coordination entre les différents pôles de l'entreprise. Le système MES (Manufacturing Execution System) est le chaînon qui permettra d'accélérer les échanges d'information [4]. Il assurera une maîtrise de l'activité industrielle en permettant de planifier, piloter et contrôler, les temps de

production, la main d'œuvre, les parcs machines et les flux physiques.

Avant l'avènement des logiciels MES, le pilotage n'était pas automatisé, il était assurées par le chef d'atelier. Cette façon de faire a jusqu'à présent donné satisfaction, cependant, les entreprises aujourd'hui se doivent d'être plus réactives, plus rapides et plus performantes.

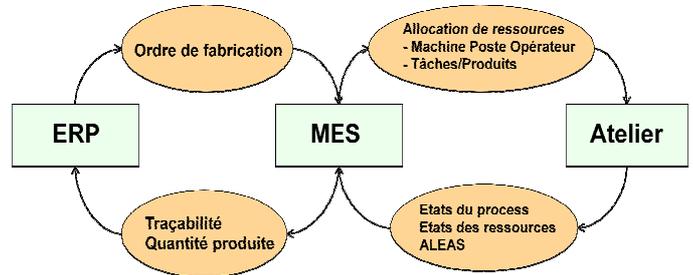


Fig. 2. : flux d'information entre le MES et les autres systèmes

Le MES permet donc de décharger l'homme des tâches ingrates de collecte et de saisie des informations. Il est alimenté dès le départ par les ordres de fabrications (Fig 2), ensuite, il permet l'ordonnancement de la production, le suivi de production et le cheminement des lots. Il transmet les consignes et les recettes au système de production. Il peut aussi, envoyer des instructions de production (ordres de fabrication, gamme de fabrication, etc.) aux superviseurs de différentes cellules et télécharger les programmes NC dans les directeurs de commande de différentes machines. Lorsque le produit est réalisé, le MES assure la fonction de collecte de données et de traçabilité. Il envoie ensuite, vers le système informatique central les productions, les consommations, les prédictions de production, les états de stock, etc.

Lors du développement d'un système MES, l'interopérabilité est parmi les exigences les plus difficiles à assurer. L'Ontologie peut être adoptée pour satisfaire ce type d'exigence. Elle doit assurer que la sémantique utilisée par les applications en interopération (Logiciels MES, SCADA, PLM, ERP...) est compréhensible. D'ailleurs des ontologies du domaine de pilotage d'atelier, comme l'ISA S95, ont été proposées pour résoudre le problème d'interopérabilité. Dans la section qui va suivre, nous allons regarder de près les différentes méthodes qui ont été proposées pour le développement des systèmes informatiques de pilotage. Nous allons nous focaliser spécialement sur les méthodes utilisées pour la satisfaction des exigences d'interopérabilité.

III. DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME INFORMATIQUE DE PILOTAGE

Un système de production est un système complexe et pour affronter cette complexité, il faut adopter une démarche disciplinée pour le concevoir. Dans ce paragraphe, nous allons présenter les différentes méthodes utilisées pour le développement d'un système de pilotage de production. Dans un premier temps, nous allons définir les méthodes de développement des systèmes informatiques de pilotage. Ensuite, nous allons présenter le problème d'interopérabilité, qui se pose avec acuité, lors de la conception d'un système de production.

A. L'ingénierie d'entreprise

Les démarches de conception d'un système informatique de pilotage doivent couvrir le processus complet de développement, de la conception d'architecture en passant par le développement et l'intégration, jusqu'à l'installation, l'administration et la maintenance du système. Ce processus comporte, généralement, les étapes suivantes :

- Analyse de l'existant
- Spécification (Description des fonctionnalités attendue)
- Proposition de plusieurs solutions,
- Choix d'une solution et validation de la faisabilité
- Implémentation de la partie matérielle et logicielle et intégration du système
- Formation du personnel

Les étapes les plus importantes du processus sont la spécification et l'implémentation.

Spécification : Lors de la spécification, il faut décrire les fonctionnalités de la partie opérative (système de production), et de la partie pilotage et conduite (système d'information). Pour ce faire, il faut utiliser des méthodes de modélisation.

Implémentation : L'implémentation est une étape de mise en œuvre, qui consiste à choisir des machines, des logiciels, de la programmation des interfaces de commande et de supervision, et de les tester. L'implémentation consiste à choisir, dans un premier temps, une architecture technique du système (matériel informatique, réseaux de communication, systèmes d'exploitation). Dans un deuxième temps, il faut choisir une architecture logicielle pour assurer l'intégration du système.

Pour affronter la complexité des systèmes informatiques à développer, le processus d'ingénierie système [5] propose des méthodes, langages et outils de développement. En fait la conception n'adopte pas une approche totalement descendante. L'ingénierie système préconise d'opter pour une analyse ascendante en proposant un modèle générique du système, qu'on peut réutiliser. L'ingénierie d'entreprise est une extension de l'ingénierie système elle prend en compte la nature multidisciplinaire et hétérogène des systèmes industriels. L'Ingénierie d'Entreprise IE doit permettre la conception de systèmes interopérables. Pour développer un système interopérable, il faut assurer la communication entre les différentes applications ou composants du système et définir une terminologie commune permettant à ces applications d'échanger des informations. L'IE doit aussi, permettre la conception de systèmes intelligents. En effet, de nos jours les systèmes de production doivent être de plus en plus autonomes, agiles et adaptables, ils doivent aussi réagir à des événements imprévus. Il faut donc intégrer une certaine intelligence ou connaissances au sein des différents composants du système. Le système est donc composé d'un ensemble d'agents qui collaborent pour trouver une solution à chaque problème.

Comme l'ingénierie système IS, l'ingénierie d'entreprise IE préconise d'adopter une analyse et spécifications ascendante, et d'élaborer des modèles indépendants de la plateforme. Par

contre, lors de l'implémentation, elle propose d'adopter une approche descendante et de transformer ces modèles en des éléments spécifiques au domaine d'applications. D'ailleurs, pour la conception des systèmes automatisés, Chiron a proposé [6] la méthodologie MBCSA (Méthodologie Bidirectionnelle de Conception des Systèmes Automatisés). Cette méthode s'appuie sur le concept d'objet d'automatisme multi facettes et propose de faire une spécification selon deux mouvements distincts :

- Dans un premier temps, une analyse ascendante permet de proposer des composants génériques du système.
- Dans un deuxième temps, une analyse descendante a pour but d'utiliser ces composants pour implémenter le système.

Dans le même ordre d'idées, la méthodologie ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation) a été développée par Huet et All [7] pour permettre la conception d'un outil d'aide à la décision pour l'optimisation du circuit des médicaments au sein de la pharmacie d'un hôpital. Au niveau de cette méthode, les phases d'analyse et de spécification permettent d'obtenir un modèle du système, qui est à la fois générique et relatif à un domaine donnée. Les phases de Conception et d'implémentation, quant à elles, permettent la création d'une bibliothèque de composants logiciels dans ce domaine. Il faut donc, adopter une analyse indépendante de la plate forme et lors de l'implémentation utiliser un langage spécifique au domaine des systèmes automatisés de production et des formats d'échange standards. PLCopen, par exemple, permet de générer automatiquement des programmes Automate a partie d'un fichier XML [6].

Pour développer un système informatique de pilotage, l'interopérabilité est donc parmi les exigences les plus difficiles à assurer. Dans ce qui suit, nous allons, mettre la lumière sur la notion d'interopérabilité.

B. Systèmes de production interopérable

Pour concevoir un système de production interopérable, nous devons, utiliser une méthodologie disciplinée et proposer une Ontologie de ce domaine. Dans cette section nous présentons le problème d'interopérabilité, qui se pose avec acquiescence, lors de la conception d'un système de production.

L'interopérabilité peut être définie comme la capacité de deux ou plusieurs systèmes ou composants d'échanger l'information et d'utiliser l'information qui a été échangée. L'échange de ces informations se déroule en une séquence de processus qui consistent en ; la traduction des symboles du langage de l'expéditeur dans un langage standard, qui peut être transmis par le réseau vers le destinataire, on utilise, on général le langage XML, la traduction du message reçu dans le langage du destinataire et l'interprétation de ce message par le destinataire. Il y a plusieurs niveaux possibles d'interopérabilité [8].

- Les trois premiers niveaux d'interopérabilité ; de codage, lexicale et syntaxique, correspondent à l'interopérabilité technique, elle est assurée par la standardisation des interfaces matérielles et logicielles.

- Le quatrième niveau d'interopérabilité, sémantique assure la compréhension au niveau métier entre les différents acteurs du système. Elle représente l'interprétation des échanges entre les différentes applications de l'entreprise (ERP, MES, SCM, PLM...), par la définition d'un vocabulaire commun.
- Le cinquième niveau sémiotique demande des algorithmes complexes issus du domaine de l'intelligence artificielle et systèmes multi agents pour traiter l'information et prendre des décisions.

Il faut noter, à ce niveau, qu'un système intégré, n'est pas forcément interopérable. Pour développer un système interopérable, il ne suffit pas d'assurer la communication entre les différentes applications ou composants du système, il faut aussi, penser à l'adaptation suite à des modifications dès la conception du système. En effet, de plus en plus les entreprises doivent concevoir des systèmes flexibles et configurables. Cependant, lorsqu'on veut introduire un nouveau produit et créer les données relatives à ce produit ou pièce mécanique par exemple, il faut intervenir au niveau des différents niveaux de la pyramide CIM. Il faut commencer par saisir les informations concernant cette pièce dans la base de données de production. Dans un deuxième temps, il faut, en se basant sur la gamme de fabrication de cette pièce, générer son processus de production au sein du logiciel de supervision. Enfin, si les différentes phases d'usinages, ne sont pas déjà programmées au niveau de la machine à commande numérique CNC, il faut les générer aussi. Le système de pilotage de production est donc un système reconfigurable. Le problème de configuration peut aussi se poser lorsqu'on veut ajouter une nouvelle machine au système de production ou lorsqu'on veut programmer un nouvel indicateur de performance. Les systèmes configurables sont des systèmes formés de plusieurs composants (produit, machine, processus ...) qu'on peut recombinaisonner et qui doivent atteindre certains objectifs. La configuration du système peut changer avec le temps ajout ou suppression d'une machine, ou d'un produit, proposition d'un nouvel indicateur de performance. Les systèmes configurables sont des systèmes dynamiques

Une partie de la configuration est fait manuellement une autre partie est assuré automatiquement grâce à la Plate-forme d'Intégration, en se basant sur des technologies informatiques comme le langage XML. Quand on veut transmettre les informations d'une application vers une autre, on affronte un certain nombre de difficultés. En effet, les différentes applications peuvent utiliser des terminologies différentes pour décrire les mêmes concepts. Quand ces applications utilisent les mêmes terminologies, ils peuvent associer une sémantique différente pour un même terme, on a des écarts sémantiques. Pour remédier à ce problème nous devons expliciter et spécifier la sémantique associée à chaque terme. L'ontologie peut être utilisée à cet effet. Pour résoudre le problème d'interopérabilité sémantique et définir un vocabulaire commun à l'entreprise, lui permettant d'échanger les informations et les connaissances, on fait appel à la modélisation d'entreprise, à l'ontologie et aux architectures et plateformes.

- La modélisation d'entreprise permet d'assurer que les exigences de l'utilisateur sont bien définies et comprise par le maître d'œuvre.
- Les ontologies traitent de l'interopérabilité sémantique et définissent des terminologies spécifiques aux entreprises et à leurs domaines d'activité.
- Les Architectures et Plate-forme définissent des solutions d'implémentation pour accomplir les exigences interopérabilité.

Pour résoudre les problèmes d'interopérabilité, au niveau du pilotage d'atelier et développer des systèmes ouverts, plusieurs solutions ont été proposées, parmi ces solutions nous pouvons citer ; l'architecture de référence CIMOSA et la norme ISA S95. Nous allons, donc dans la suite présenter ces propositions, leurs points forts et leurs limites.

C. Solutions proposées pour la résolution des problèmes d'interopérabilité

Les systèmes de production sont de plus en plus distribués, le niveau de leur intégration détermine leur efficacité. Nous allons présenter, à présent, les propositions, permettant de développer des systèmes de production interopérables.

L'architecture CIMOSA propose le concept de construct [9]. C'est une structure informatique élémentaire (primitives) constituant les éléments de base du cadre de modélisation CIMOSA. Ce cadre de modélisation s'articule autour d'un axe de généralité qui suggère de construire le modèle particulier de l'entreprise à partir de modèles partiels, eux mêmes exprimés en termes de construct générique de base. Pour résoudre les problèmes d'interopérabilité, l'Infrastructure Intégrante (IIS) spécifiée dans la Référence Formelle du CIMOSA est composée d'un ensemble de services distribués qui assurent des fonctionnalités génériques du système telles que ; la conduite du processus de production, l'administration des échanges d'information, l'interfaçage entre l'homme et la machine ... Cependant, l'architecture CIMOSA ne couvre pas tout le cycle de la vie du système. Les règles de passage du modèle partiel au modèle particulier ne sont pas définies.

La norme ISA S95 propose les modèles d'activités [10] et définit l'interface entre les niveaux 3 et 4 de la pyramide productive. Elle offre un cadre pour la spécification des fonctions du système MES et permet de faciliter la communication entre le maître d'ouvrage, l'utilisateur et le maître d'œuvre, éditeur et intégrateur. Cependant, elle ne prend pas en compte la modélisation des systèmes configurables et l'interopérabilité sémantique.

L'approche composant [11] [12] propose de créer un système ouvert, en développant un Framework CIM. L'architecture de la Plate-forme d'Intégration doit comporter les différents composants qui vont implémenter les différents services assurés par le Framework CIM, on pourra citer : les services de communication pour proposer une interface API aux applications et aux équipements, les services de gestion des données, pour fournir un entrepôt de données centralisé pour stocker et consulter les données, les services Interface Utilisateur, pour fournir un ensemble d'interfaces convivial aux

utilisateur ... Cependant, cette dernière approche, ne prend pas en compte la gestion des systèmes configurables.

Pour remédier à ces limites et assurer l'interopérabilité des systèmes informatiques de pilotage, le développement d'une ontologie collaborative, pour intégrer les différentes informations dans un environnement distribué peut constituer une solution. En effet, on peut se baser sur la gestion des connaissances pour développer des services de gestion partagé des connaissances au niveau du Framework CIM en se basant sur les ontologies. Dans ce qui suit nous allons voir la possibilité de l'utilisation des ontologies pour la conception de systèmes de production interopérables.

IV. ONTOLOGIE ET REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

L'ontologie provient du mot grec onto qui veut dire être et du mot logie qui veut dire étude. C'est donc, l'étude de l'être en tant qu'être, c'est-à-dire l'étude des propriétés générales de ce qui existe. En informatique, l'objectif d'une ontologie est de modéliser un ensemble de connaissances dans un domaine donné. Elle permet de représenter l'ensemble des connaissances de ce domaine en les organisant en un ensemble structuré de termes, de concepts et de relations entre ces concepts. Selon Gruber [13], [14] « l'ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation », c'est-à-dire qui permet de spécifier dans un langage formel les concepts d'un domaine et leurs relations. L'ontologie est l'extension de la gestion de la connaissance qui est une branche de l'Intelligence Artificielle. Un problème central de la gestion de connaissances est la représentation des connaissances. Dans ce paragraphe nous allons d'abord introduire le problème de représentation des connaissances, ensuite nous allons présenter les langages et formalismes destinés à implémenter les ontologies et enfin décrire les environnements de développement des systèmes à base de connaissance.

A. *Représentation des connaissances*

L'Intelligence Artificielle IA est la branche de l'informatique, elle a pour objectif de reproduire le comportement de l'homme dans ses activités intelligentes pour les automatiser par le biais de l'informatique. Parmi les domaines de l'IA on peut citer ; la robotique, la reconnaissance de la parole, la reconnaissance de l'image ... Le Système à Base de Connaissances (SBC) est un concept particulier de l'IA, c'est un logiciel conçu pour résoudre un problème demandant une certaine expertise ou connaissance. Les SBC sont utilisés dans plusieurs domaines, on peut citer ; l'ordonnancement, la résolution des problèmes qualité, l'élaboration des gammes d'usinage ... En effet, un QAS Quality Advisory Systems, est un logiciel qui permet de proposer une solution pour la résolution d'un problème qualité. Il analyse le problème à traiter en fonction du dialogue (système/utilisateur) selon une stratégie bien déterminée pour mener son raisonnement et proposer une solution à l'utilisateur. Un SBC appliqué à l'ordonnancement d'atelier permet de proposer un ordonnancement à capacité finie en fonction des règles exprimées par le responsable d'atelier [15]. Dans le domaine de l'élaboration automatique d'une gamme d'usinage, le SBC permet la génération automatique d'une gamme d'usinage à partir de la description géométrique de la pièce à

réaliser en se basant sur un certain nombre de règles d'expertise [16].

La tâche la plus difficile quand on développe un Système à Base de Connaissances est la représentation des connaissances. Un certain nombre de connaissances (tacites) non exprimables participent aux processus de raisonnement et de décision. Cependant pour un système informatique, la connaissance se limite à celle que nous pouvons représenter de manière formelle (connaissances explicites). Le cognicien doit donc expliciter les connaissances. D'autre part, les techniques d'Intelligence Artificielle se basent sur une représentation déclarative des connaissances. En général pour exprimer un problème on peut le diviser en :

- Connaissances du système étudiées : structure, fonctionnement.
- Mécanisme d'exploitation de ces connaissances : objectif, stratégie, méthodes de résolution.

Dans le cas d'une représentation procédurale, l'important est de décomposer les étapes du raisonnement qui permet d'atteindre l'objectif. La connaissance est celle du comment. Elle est figée dans un programme suivant une séquence précise. Pour échapper à cette logique et se rapprocher du raisonnement de l'expert, la représentation déclarative utilise une représentation de connaissance indépendante de leur utilisation qui est facile à lire et à modifier. Néanmoins, lors de l'interprétation de cette connaissance un minimum de représentation procédurale sera nécessaire. Les systèmes procéduraux dirigeaient le contrôle et l'exploitation des connaissances. Seulement en contrepartie, la complexité pouvait devenir importante, rendant toute modification délicate. A l'inverse dans les systèmes déclaratifs l'exploitation et la recherche des connaissances est assurée par une autre entité indépendante.

Une ontologie informatique permet de représenter un corpus de connaissances. C'est une base de formalisation des connaissances. Elle se situe à un certain niveau d'abstraction et dans un contexte particulier. C'est aussi une représentation d'une conceptualisation partagée et consensuelle, dans un domaine particulier. Le processus de formalisation des connaissances comprend plusieurs étapes :

1. L'identification des sources de connaissances,
2. Leur formalisation,
3. Leur organisation, leur stockage et leur distribution
4. leur mise à jour et leur enrichissement.

Dans ce processus, le concepteur va devoir choisir une technique de représentation de connaissances. Il va avoir en général le choix entre quatre possibilités :

1. Utiliser une modélisation profonde des connaissances,
2. Structurer les connaissances sous forme d'hypertexte,
3. Indexer les connaissances,

1 Modélisation profonde des connaissances : Ce cas correspond à l'utilisation d'une des techniques de représentation explicite des connaissances développées en intelligence

artificielle, réseaux sémantiques, systèmes de production, objets structurés. Une fois les connaissances représentées, l'intelligence artificielle fournit les outils pour les manipuler et les exploiter.

2 Structuration des connaissances sous forme d'hypertexte: Souvent il n'est pas nécessaire de réaliser un modèle conceptuel des connaissances et une structuration sous forme d'hypertexte suffit. Un système hypertexte est un système contenant des nœuds liés entre eux par des hyperliens. Un nœud est une partie du texte ou doucement contenant des informations. Les liens entre les parties du texte sont gérés par ordinateur et permettent d'accéder à l'information de manière non linéaire, au gré de l'utilisateur.

3 Indexation des connaissances : Lorsque la quantité de documentation existante est importante, on se contente de les indexer. Dans ce cas on se contente d'intégrer les connaissances dans le système de capitalisation en les indexant par thème et sous thème et d'affecter un code à chaque thème. Il est essentiel, de plus, de développer des interfaces homme machine pour faciliter la sélection du document désiré.

B. Langage pour les ontologies

Les ontologies informatiques permettent de représenter un corpus de connaissances sous une forme utilisable par un ordinateur. Pour modéliser une ontologie, on utilisera donc des formalismes logiques et des langages. L'utilisation du formalisme logique pour exprimer la connaissance est très ancienne. Le raisonnement logique est un des fondements du rationalisme. Le principe est d'énoncer des postulats supposés vrais dans un domaine et de chercher à démontrer la validité ou non d'un théorème. Le langage de spécification est l'élément central sur lequel repose l'ontologie. La plupart de ces langages se basent sur la logique du premier ordre, et représentent donc les connaissances sous forme d'assertion (sujet, prédicat, objet). Ces langages sont typiquement conçus pour s'abstraire des structures de données et se concentrer sur la sémantique. La démonstration logique est une procédure de réécriture syntaxique complètement indépendante du domaine. Sa puissance vient de sa sémantique parfaitement définie. De nos jours un grand nombre de formalismes sont proposées pour modéliser la connaissance des experts ; les systèmes de production, les réseaux sémantiques, les schémas, la logique floue ... Nous présenterons, dans la suite, quelques formalismes.

Les Systèmes de production :La connaissance de l'expert est représentée par un grand nombre de règles simples à utiliser pour déduire des conclusions. Les règles sont des assertions données sous forme d'implications. L'expression d'une règle est la suivante : Si Situation Alors Conséquence. Les systèmes de production peuvent être schématisés par trois éléments de base : Un ensemble de règles ; Une base de faits ; Un moteur d'inférence.

Les objets structurés: Un schéma se définit comme une structure de donnée idéale, prototype, servant de base pour la création d'autres objets. Un objet particulier est une instance du prototype considéré. Un schéma est caractérisé par un certain nombre d'attributs Ces attributs sont spécifiques d'un objet, on

définit une carte à jouer par sa couleur et sa force, un être humain par son sexe, son âge, etc.

Les réseaux sémantiques : Un réseau sémantique est un graphe marqué destiné à la représentation des connaissances. Il comporte un ensemble de nœuds reliés entre eux par des arcs.

- Les nœuds peuvent représenter des concepts ou des objets
- Les arcs se sont des relations entre les nœuds qui peuvent représenter une agrégation, une composition ou une instanciation.

On associe à une question des chemins spécifiques dans le réseau, l'interprétation de ces chemins fournit une réponse. Pour déterminer si un objet, représenté par un nœud A, est membre d'un ensemble, représenté par un nœud B, il faut suivre tous les arcs allant de A pour voir si on peut rencontrer le nœud B.

C. Methodes et outils pour les ontologies

Le développement d'une ontologie est une tâche difficile. Plusieurs méthodologies, plusieurs représentations ontologiques et plusieurs outils d'édition ont été proposées pour accomplir cette tâche. L'ingénierie ontologique est le successeur de l'ingénierie des connaissances, c'est la clé de voute pour le développement des systèmes à base de connaissance. Bien que l'ingénierie des connaissances contribue à l'élicitation de l'expertise et a son organisation pour le développement d'une base de connaissance, les chercheurs en IA ont souligné la nécessité d'avoir une ingénierie plus robuste permettant une réutilisation et un partage de la connaissance et une formulation du processus de résolution du problème considéré. L'ingénierie des connaissances s'est donc développée en une ingénierie ontologique où l'ontologie est le concept clé qu'il faudra développer. Parmi les méthodes de développement des systèmes a base de connaissances les plus connu on peut citer la méthodologie KADS (knowledge Acquisition and design system) [17]. Pour formaliser les connaissances, KADS adopte une structure à quatre niveaux :

- Niveau domaine : décrit la structure du problème
- Niveau tâche : décrit les différentes méthodes utilisées pour le résoudre.
- Niveau inférence : décrit les différentes étapes d'inférence
- Niveau stratégie : décrit comment gérer les inférences et les tâche.

Les différents modèles permettent non seulement de capturer et représenter la connaissance en machine, mais il permet aussi de comprendre le problème réel et l'organisation mise en place. Il existe un ensemble d'outils logiciels associé à la méthode, nous pouvons citer : CGKAT : environnement de la programmation dédiée à la construction de modèles d'expertise. Cokace : outils d'acquisition et de structuration des connaissances.

D'autre part, plusieurs outils informatiques sous forme d'environnements intégrés prenant en charge tous les processus de création des ontologies pour développer des applications utilisant ces ontologies sont proposés. Ces environnements fournissent aux utilisateurs un éditeur d'ontologie, un outil de gestion d'ontologie, une interface de programmation API pour la communication ...etc. Ces outils sont, en général spécifiques au domaine. En effet, dans plusieurs domaines, tel que le Web Sémantique, la bioinformatique, la médecine, et le développement logiciel, des outils de développement d'ontologie spécifiques ont été développés. De nos jours, plusieurs outils commerciaux pour le développement des ontologies sont disponibles. Protégé est parmi les plus connus des éditeurs d'ontologie. Il a été développé par l'université Stanford, il intègre les standards du Web sémantique et offre de nombreux composants optionnels : raisonneurs, interfaces graphiques.

Le développement d'un système MES exige fortement l'interopérabilité sémantique entre les bases de données des différentes applications ou plutôt entre les metadata (données sur les données ou schémas des données). Cette interopérabilité est assurée par la standardisation des informations circulant entre les différentes applications. A ce niveau il est important de proposer un ensemble de concepts ayant une même sémantique et qui vont assurer l'interopérabilité par alignement ontologique. En effet, pour résoudre ce problème la norme ISA S95 a proposé une terminologie et des modèles pour les systèmes de pilotage d'atelier. Dans la section qui suit nous allons présenter ces modèles.

L'implémentation d'un logiciel MES est un projet difficile. En effet, avant de mettre en œuvre un système MES, l'utilisateur (maitre d'ouvrage) doit définir le besoin dans un Cahier des Charges CdC. Cependant, un CdC n'est jamais exhaustif. Par conséquent, l'équipe de développement (maitre d'œuvre) commence toujours par modéliser le système de production, de telle manière que lors de l'implémentation la solution mise en place respecte cette modélisation et reflète fidèlement l'installation. Malheureusement, il n'existe pas d'ontologie du domaine de pilotage d'atelier pour assister la définition du besoin et la modélisation du système. Pour apporter une solution à ce problème, la norme ISA S95 [18] a été proposée par l'ISA, au sein du comité ISA95. Elle fournit à l'ensemble des intervenants, une base terminologique commune et permet, donc, de réduire les difficultés liées à l'intégration du système de pilotage de production. Dans cette section, nous allons décrire les modèles d'activités de pilotage proposés par la norme ISA S95.

La norme ISA S95 offre un cadre pour la spécification des fonctions du système MES. Cela doit permettre de favoriser la compréhension et de faciliter la communication, non seulement au sein des entreprises, mais également entre l'entreprise et ses différents prestataires. Ce standard propose des modèles et terminologies pour décrire non seulement l'atelier et les opérations de production mais aussi les informations liées aux autres fonctions de l'entreprise et les échanges entre ces fonctions.

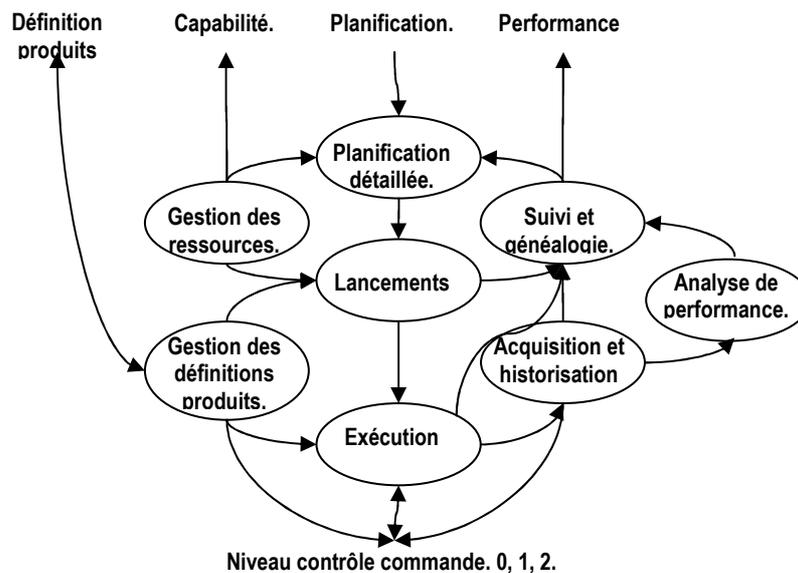


Fig. 3. : Domaines d'activités fonctionnels d'un MES selon la norme ISA S95

La norme ISA S95 est constituée de 5 parties dont les trois premières parties ont été transposées en norme internationale conjointement par l'ISO et l'IEC [10]. Elle se base sur le Purdue Reference Model for CIM (Purdue Enterprise Reference Architecture) [19]. Elle définit l'interface entre les niveaux 3 et 4 de la pyramide productive (PERA). Plusieurs modèles sont utilisés pour décrire les concepts d'intégration, chaque modèle précise une vue particulière du problème de l'intégration. Le

modèle d'activités fonctionnelles définit un cycle général de demande-réponse (Fig 3). Il commence par les demandes des clients ou les programmes, les convertit en un programme détaillé, répartit le travail en fonction du programme détaillé, exécute le travail, collecte les données, les convertit et les retourne comme des réponses. Ce cycle de demande-réponse est complété par :

1) une gestion des ressources utilisées pour l'exécution du travail.

2) une gestion des documents de définition du produit et du processus.

3) une analyse du travail réalisé pour permettre des améliorations ou des corrections.

Au niveau du modèle les ovales représentent les principales activités. Les arcs représentent les flux d'information entre activités. Dans la norme S95, le groupement de différentes unités d'un niveau inférieur permet de former des unités de niveau supérieur dans la hiérarchie des équipements. Des unités supplémentaires de stockage sont proposées (zones de stockage et modules de stockage). Une installation physique est décrite donc, comme un segment de procédé (process segment) composé d'une ou plusieurs unités ou cellules de travail (work cell).

Le modèle générique d'activités et les modèles spécifiques de la norme ISA fournissent une structure logique pour les systèmes MES. Ils permettent d'identifier les flux de données possibles au sein du système de production. Pour assurer l'interopérabilité du système cette norme préconise, d'avoir des interfaces entre le système opérationnel et les différents composants du système MES à savoir ; le composant traçabilité de production, le composant ordonnancement, le composant analyse des performances ...etc. Le groupe de travail WBF a développé un ensemble de schémas XML nommé B2MML (Business to Manufacturing ML) pour mettre en œuvre l'ensemble des modèles de la norme dans le développement d'interfaces XML. Les activités de gestion des définitions des produits et de gestion des ressources permettent de transmettre, aux différents composants du système de pilotages, les données relatives aux machines, aux produits et aux autres entités du système de production. Malheureusement, le modèle générique d'activités et les modèles spécifiques ne prennent pas en compte la configuration du système de production. Généralement, une partie de la configuration est fait manuellement, une autre partie est assuré automatiquement grâce a la Plate-forme d'Intégration, en se basant sur des technologies informatiques comme le langage XML. En effet, si on veut ajouter une machine au sein d'une cellule d'usinage par exemple, il suffit de l'incorporer a la base de donnée de production et la plateforme d'intégration génère un fichier XML. Le système de pilotage se base sur ce fichier pour reconfigurer le système et générer automatiquement des interfaces de supervision. La configuration du système est une tâche qui demande une certaine expertise qu'il faudrait expliciter. Cette expertise est exprimée sous forme de règles (si alors). Nous allons donc, modéliser cette expertise et proposer une ontologie du domaine de pilotage de production. Ce qui nous permettra d'automatiser la configuration du système de production, suite a l'ajout ; d'un nouveau produit, d'une nouvelle machine...

VI. PROPOSITION D'UNE ONTOLOGIE DU DOMAINE DE PILOTAGE DE PRODUCTION

Nous allons proposer une ontologie du domaine de pilotage de production qui est générique, sans se focaliser sur un exemple particulier, de manière à considérer les extensions

possibles du système de production (ajout d'une machine, modification du processus, nouveau produit ...). Nous utilisons, les modèles d'activités de la norme ISA S95, qui propose un langage commun et qui prend en considération le flux d'information qui circule entre les différents composants d'un système informatique de pilotage de production. Nous allons, donc, commencer par adopter une approche procédurale pour proposer une ontologie du domaine de pilotage de production, en utilisant le langage UML. Dans un deuxième temps, nous allons adopter une approche déclarative pour modéliser la stratégie de configuration du système suite à une modification.

A. ontologie du domaine de pilotage d'atelier

Lors des phases d'analyse spécification nous allons proposer une ontologie du domaine de pilotage de production, en utilisant le langage UML. Nous allons d'abord, décrire les scénarios fonctionnels (interaction entre l'utilisateur et le système), en élaborant le diagramme d'activité du système (Fig 4). Le scénario réalisé par le logiciel MES est le suivant [20] :

- Le logiciel de gestion de type ERP envoie au système MES des informations relatives aux OF lancées, nouveau produits, composants, phases ajoutées, modifications de cadences et déclarations calendrier.
- Le chef d'atelier alimente, ensuite, les machines concernées par la Matière Première et l'outillage requis et lance l'Exécution des OFs.
- En cours de production le SCADA récupère les arrêts, leur durée et le nombre de pièces fabriquées.
- Quand les OFs sont soldés, les informations sont transmises au logiciel MES, ce qui permet de constituer les rapports des OF (Pièces bonnes, Rebuts, Durée de fabrication, Durée des arrêts)
- Les données collectées permettent d'analyser les performances et de calculer les indicateurs de performance. Le rapport de production est envoyé au système de gestion.

Dans un deuxième temps, nous allons identifier les différentes classes et objets, permettant de décrire le système. Le personnel (opérateurs) qui exploitent le système de production ainsi que les équipements (machines) sont modélisées par une classe **Ressource**. Les matières premières, produits intermédiaires et produits finis sont décrits par une classe **Produit**. Les différentes opérations du processus sont décrites par une classe **Opération**. La méthode utilisée pour exécuter ces opérations est décrite par la classe **Gamme**. Après avoir identifié toutes les classes nécessaires pour représenter le système, l'étape suivante consiste à trouver les associations ou relations entre les classes et à identifier les attributs de chaque classe. Une gamme décrit, sous forme d'une suite d'opérations, la manière de fabriquer un produit. Une opération est affectée à une ressource. Les données relatives aux opérations du processus, sont des données dynamiques. Elles sont relatives à un ordre de fabrication et collectées au fil de l'eau. Ils sont par suite enregistrés au niveau de l'entité composée, ordre de fabrication.

Pour modéliser la dynamique du système, nous allons identifier la séquence des événements se produisant au sein du système.

renvoyé vers l'OF. L'OF joue donc le rôle d'interface entre le logiciel ERP et le système de production.

B. Configuration du système

A présent, nous allons aborder l'implémentation du système. Nous allons nous focaliser sur la configuration suite à des modifications. Nous allons adopter une approche déclarative pour modéliser la stratégie de configuration du système suite à ces modifications. Lors de la configuration, il faut commencer par saisir les informations concernant le nouveau produit à ajouter dans la base de données de production. Ensuite, il faut, générer son processus de production au sein du logiciel de supervision et générer les programmes de production au niveau de différentes machines du système de production.

Une partie de la configuration nécessite une expertise, elle est, par suite, faite manuellement. Une autre partie est assurée automatiquement grâce à la Plate-forme d'Intégration, en se basant sur le langage XML. Nous allons nous baser sur la gestion des connaissances pour développer des services de gestion partagée des connaissances au niveau du Framework CIM pour automatiser le processus de configuration. En effet, pour assurer l'intégration du système informatique de pilotage, il faut développer une Infrastructure Intégrante (Framework CIM) qui assure les différents services définies dans l'architecture CIMOSA. Cette Infrastructure Intégrante comporte les composants, qui vont implémenter le protocole de communication pour lire des données sur un capteur du réseau (Profibus, ASI ...) ou écrire une donnée sur une base de données. Nous allons donc, incorporer des composants ou agents au Framework CIM pour automatiser le processus de configuration. L'intégration du MES avec les autres composants d'un système de production ; SCADA, machines de production, logiciel ERP ..., nécessite le transfert entre ces application, des informations relatives aux nouveaux produits, composants, phases ajoutées, modifications de cadences ... L'intégration du système est assurée par l'intermédiaire d'un certain nombre de composants ou agents, qu'on incorpore au niveau de la plateforme d'intégration. Des règles d'expertise sont utilisées pour Optimisation des requêtes envoyés par ces agents aux bases de données de production.

Nous proposons d'ajouter à la plateforme d'intégration plusieurs agents serveurs, chacun desservant la base de données d'une application du système informatique de pilotage et un serveur d'ontologie. Chaque base de données d'une application de pilotage peut être une source ou une destination d'un message provenant de la plateforme d'intégration. Les agents serveurs relient les bases de données des applications de pilotage à la plateforme. La plateforme d'intégration comporte une liste prédéfinie de notification, d'événements et de requête qui déclenchent l'échange de messages entre la source de donnée et l'application de destination. Quand un événement comme la création d'un produit ou l'ajout d'une machine a lieu dans la base de données d'une application, les bases de données des autres applications qui ont aussi besoin de cette information ont besoin de comprendre et par la suite de traiter les données relatifs à ce produit ou à cette machine.

Les agents serveurs fournissent le mécanisme permettant de traduire les données dans un format intermédiaire au niveau de

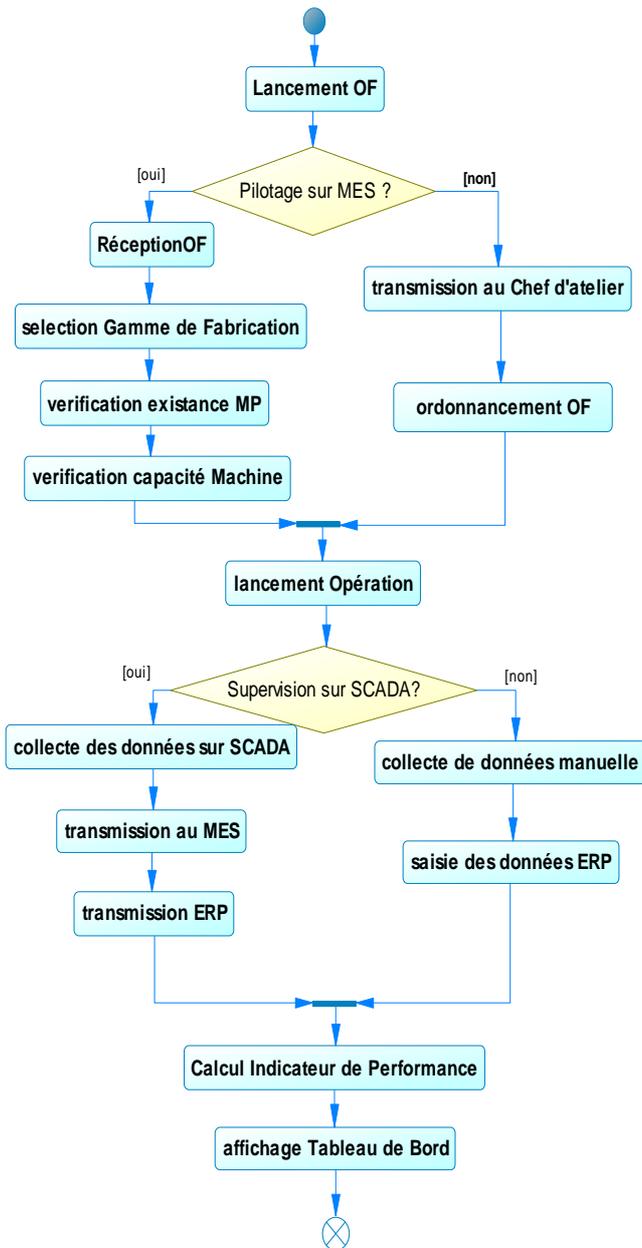


Fig. 4. : Diagramme d'activités du Système Informatique de pilotage.

Considérons un OF planifié au niveau d'un ERP. Cet OF concerne forcément un produit, il va donc lancer la réalisation d'un produit. Ce produit va sélectionner une gamme de fabrication au niveau de la base de données technique de l'entreprise. Si les machines sont disponibles, la gamme de fabrication va exécuter les opérations sur les machines. En cours de fabrication l'opération de collecte de données relatives à cet ordre de fabrication. Nous retrouvons le cycle de demande/réponse décrit dans la norme ISA S95, la demande est matérialisée par un OF qui est reçu par l'entité OF est renvoyé vers les différentes entités du système. La réponse est fournie par la collecte des données effectuée par l'entité opération et

la base de données de l'application source (ce pourrait être le logiciel de supervision, les logiciel MES pour la gestion des capacités des machines ou le logiciel CAO pour gestion des données du produit), et de traduire ce format intermédiaire vers le format de la base de données de l'application de destination.

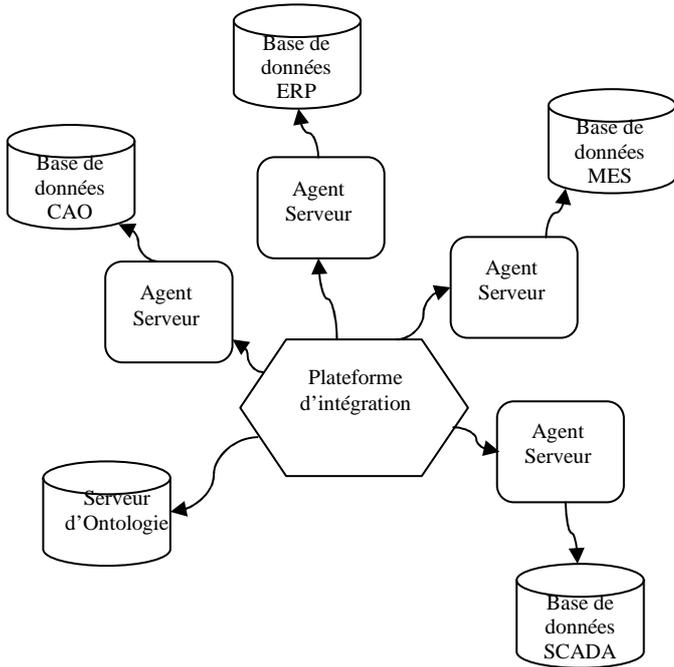


Fig. 5. : Agents serveurs et Serveur d'Ontologie de l'infrastructure intégrante.

Le serveur d'ontologie est un composant important de la plateforme c'est un magasin central qui permet la projection (mapping) des messages entre la plateforme d'intégration et les bases de données des applications de pilotage de production.

VII. CONCLUSION

Cet article nous a permis d'aborder l'utilisation des ontologies pour satisfaire les exigences d'interopérabilité des systèmes informatiques de pilotage de production. Les ontologies ont permis d'assurer l'interopérabilité lors du développement d'un système MES. Nous avons proposé une ontologie du domaine de pilotage de production, en utilisant le langage UML et avons modélisé la stratégie de configuration du système suite à une modification. Comme perspective nous proposons d'utiliser un éditeur d'ontologies comme Protégé pour implémenter cette ontologie et développer des agents serveurs et un serveur d'ontologie pour faciliter la configuration du système de production.

REFERENCES

[1] J. A. Simpson, R. J. Hocken and J. S. Albus, The automated manufacturing research facility of the national bureau of standards, Journal of manufacturing systems, Vol.1, n°1, 1982.
 [2] G. Morel, "Contribution de l'automatisation et à l'ingénierie des

systèmes intégrés de production," 1992.

[3] Festo Didactic, CIROS Supervisions - User Manual, 2008.
 [4] I. MESA, "Data Architecture for MOM: The Manufacturing Master Data Approach.," 2010. [Online]. Available: <https://services.mesa.org/ResourceLibrary/>.
 [5] J.-P. Meinadier and S. Fiorese, Découvrir et comprendre l'ingénierie système, Cepadues, Collection Afis, 2012.
 [6] F. Chiron, "Contribution à la flexibilité et à la rapidité de conception des systèmes automatisés avec l'utilisation d'UML," Université Blaise Pascal, Clermont, 2009.
 [7] J.-C. Huet, J.-L. Paris, K. Kouiss and M. Gourgand, "A new reengineering methodology for the product-driven system applied to the medication-use process," *Decision Support Systems*, 2012.
 [8] J. Euzenat, "Towards a principled approach to semantic interoperability," in *CEUR Proceedings of the IJCAI-01 Workshop on Ontologies and Information Sharing*, August 4-5, Seattle, USA, 2001.
 [9] AMICE, CIMOSA: CIM open system architecture, (2nd ed) ed., Berlin: Springer-Verlag, 1993.
 [10] IEC/ISO 62264-3, "Enterprise-control system integration, Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management," 2006.
 [11] C. Szyperski, Component Software - Beyond Object-Oriented Programming, Great Britain: Pearson Education Limited, Second edition, 2002.
 [12] S. Sekkat, K. Kouiss, J. Saadi and L. Deshayes, "Developing Integrated Performance Measurement System using Component Based Approach," *INT J COMPUT COMMUN*, pp. Volume 8, Issue: 2, pp:294-303, April 2013.
 [13] T. R. Gruber, Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing in Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Kluwer Academic Publishers, 1993.
 [14] S. Staab and R. Studer, Handbook on Ontologies, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2009.
 [15] S. Sekkat, "Apport des systèmes experts en gestion de production," Rapport de DEA. Sciences de gestion. Conservatoire National des Arts et Métiers CNAM, Paris, Décembre 2003.
 [16] P. Bourdet and F. Villeneuve, La gamme automatique en usinage, Groupe GAMA, Lavoisier, 1990.
 [17] G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. Hoog, N. Shadbolt, W. Van de Velde and B. Wielin, Knowledge engineering and management. The CommonKADS méthodologie, Masschsetts: MIT Press, 1999.
 [18] ANSI/ISA.95.00, "Enterprise/Control System Integration - Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management.," 2000.
 [19] J. T. Williams, "A reference model for computer integrated manufacturing. A description from the viewpoint of industrial automation," 1989. [Online]. Available: www.pera.net.
 [20] S. Sekkat, J. L. Paris, K. Kouiss, J. Saadi and L. Deshayes, "Développement du modèle conceptuel d'un Système d'Indicateurs de Performance pour le pilotage d'une Cellule Flexible d'usinage," *8e Conférence Internationale de MODélisation et SIMulation - MOSIM'10*, 2010.