

UNE MODELISATION OBJET DES PROCESSUS INDUSTRIELS

Pierre-Alain Millet*

Résumé. - Les techniques de la production au plus juste (juste à temps, réduction des temps de cycle, production unitaire, à la commande, configurateur, gestion par activité...) conduisent à rechercher des systèmes d'informations capables de réactivité, flexibilité, communication, intégration... pour s'adapter aux mutations accélérées des technologies et des produits, aux contraintes toujours plus fortes de coûts, délais, qualité. Or, les applications existantes de gestion industrielle s'appuient en général sur le modèle M.R.P et sur la modélisation classique des processus industriels en nomenclatures et gammes linéaires issue de l'entreprise taylorisée. Elles ne peuvent alors prendre en compte la diversité et la complexité des produits et ressources industrielles. Les approches nouvelles de "gestion hiérarchisée" proposent un cadre pour une décentralisation maîtrisée des outils de pilotage de systèmes industriels. Les approches objets constituent un cadre nouveau de modélisation, conception et développement de systèmes informatisés. Cet article propose donc une modélisation orientée objet des processus industriels à partir d'une expérience de terrain dans l'industrie et les services. Cette modélisation hiérarchisée permet de prendre en compte les notions de co-produit, sous-produit, multi-produits, variantes, ressources usables, différenciation retardée, découpe, tri sélectif, bains ou fours avec contraintes de configurations, modélisation à base de règles... Une telle modélisation va dans le sens d'une reconception des applications industrielles autour d'un serveur dynamique d'objets avec contraintes dialoguant avec des serveurs d'optimisation et résolution de problèmes, de communication et messagerie dans une architecture distribuée.

Mots clés : objet, modélisation, processus industriels, production, gestion hiérarchisée, logiciels intégrés, E.R.P.

1. Introduction

Organisées auparavant pour la stabilité, les entreprises deviennent flexibles pour être réactives aux demandes d'un marché en perpétuelle évolution, pour être capables de remettre en cause leurs produits, technologies, métiers, structures... On parle désormais de

* consultant en gestion industrielle. Article issu du mémoire de DESS productique (laboratoire PRISMA-LISPI, Université LYON 1).

production au plus juste (lean production) nécessaire pour s'adapter à ces changements accélérés et aux contraintes toujours plus forte de coûts, délais, qualité.

1.1 un nouveau contexte pour la gestion industrielle

Ces mutations portent sur tous les aspects de l'entreprise; cycles de production, de conception et de vie, délais clients toujours plus courts, ingénierie simultanée, produits configurables, flux tendus au poste, Kanban, éclatement de grands groupes, cellule autonome, qualité, analyse des coûts par activité... Les méthodes d'organisation et de gestion qui se développent dans ce contexte remettent en cause la séparation classique conception/industrialisation/production et multiplient le parallélisme et l'intégration des fonctions. Les entreprises sont poussées à prendre en compte des ressources diverses qui ne se limitent plus à un parc de machines définies comme une capacité horaire. Des contraintes d'outillages, de configuration d'ateliers, de compétences, d'énergies ou d'espaces doivent être prises en compte....

Les entreprises recherchent donc des systèmes d'informations capables:

- de flexibilité pour s'adapter aux évolutions des produits, des technologies, des marchés
- de réactivité pour prendre en compte les perturbations externes et internes
- d'intégration de l'ensemble des fonctions de l'entreprise dans la diversité de leurs méthodes de gestion (Kanban, stock, MRP ii, OPT, ordonnancement, cellule, assemblage à la commande)
- de simplification puis d'automatisation des procédures de gestion afin de fournir aux acteurs de l'entreprise des postes de travail tournés vers la communication et la prise de décision
- d'intégration des systèmes de mesures et de décision

Dans le même temps, les technologies matérielles et logicielles des systèmes d'information évoluent en permanence: complexité des problèmes à résoudre, techniques de simulation, intelligence artificielle, architectures d'applications (client-serveur, bases réparties...)...

L'approche objet devient une technique de base. Elle modifie profondément le processus de développement informatique en permettant à terme un véritable " assemblage " de composants standards pour un système au plus près des besoins des utilisateurs.

1.2 les systèmes d'informations existants

De grands progiciels intégrés émergent sur le marché mondial de T E.R.P. (Enterprise Resource Planning) mais les modélisations des processus industriels, les outils de pilotage restent classiques associant nomenclatures, gammes linéaires, gestion de projet et M.R.P. comme pour l'immense majorité des systèmes d'information de gestion industrielle.

Or ces concepts et méthodes nées dans les années 70 héritent des approches industrielles du Taylorisme et du Fordisme, notamment de l'industrie mécanique:

- * séparation nette entre les fonctions de conception (nomenclatures), industrialisation (gammes) et production

- recherche des effets de série par regroupement des besoins dépendants calculés sur une longue période (en dehors de la gestion à la commande)
- Malgré la dénomination de Manufacturing Ressources Planning, gestion de ressources limitée aux "centres de charges" classiques dont la capacité est définie en heures.
- processus industriels modélisés par des nomenclatures et des gammes linéaires s'adaptant avec difficulté aux industries de process ou semi-process, aux processus aboutissant à plusieurs produits (chimie, pharmacie...) aux processus non linéaires nécessitant une modélisation en réseau... aux ressources spéciales comme les fours, bains, convoyeurs....
- faible prise en compte de la complexité, de l'aide à la décision dans les fonctions de pilotage

1.3 une approche objet de la gestion industrielle

Une autre approche des systèmes industriels est donc nécessaire. Ce travail propose une modélisation des processus industriels s'appuyant sur deux approches existantes:

la gestion industrielle hiérarchisée s'organise en différents niveaux et horizons de prises de décision autour d'une modélisation hiérarchique de l'entreprise, de ses ressources et de ses produits. On ne cherche pas à résoudre l'équilibre détaillé entre demande et ressources pour l'ensemble de l'entreprise, mais au contraire à définir à chaque horizon de décision un niveau plus ou moins agrégé de modélisation. On peut ainsi rechercher des outils réactifs sur un problème limité puis transmettre des "sous-problèmes" réalistes à un niveau plus détaillé. Cette approche est naturelle dans les fonctions de planification ou le long terme se préoccupe de familles de produits, le moyen ou court terme gérant des produits, voire des variantes. Elle correspond aussi aux approches de décentralisation d'un atelier en îlots autonomes. La taille limitée du problème à gérer à chaque niveau assure l'efficacité et l'interactivité des outils de résolution de problèmes les plus adaptés. La cohérence des différents niveaux de gestion nécessite la définition de règles d'agrégation/désagrégation.

L'approche objet génère de nouveaux gains de productivité dans le développement et la maintenance, de nouveaux métiers de l'information autour de la notion de composants logiciels, de frameworks applicatifs... Elle apporte une cohérence nouvelle entre techniques de modélisation pour l'analyse et la conception et techniques de développement. Les concepts d'héritage, de classification, de polymorphisme la rendent pertinente pour concilier universalité de méthodes de gestion de ressources et infinie variété des problèmes posés par chaque machine, organisation d'atelier, chaque métier...

1.4 Vers une nouvelle modélisation des processus industriels

Dans ce contexte, il est nécessaire de proposer une nouvelle modélisations des méthodes de pilotage et des processus industriels. Une telle modélisation peut bénéficier des approches objet pour définir une véritable taxonomie des ressources industrielles, et des méthodes générales de gestion de capacité, délai, priorité, contraintes,... spécifique à chaque ressource.

Les nomenclatures et gammes doivent être généralisées pour décrire des processus non linéaires, multi-produits, des ressources plus complexes et de manière générale des modèles configurables capables de gérer de multiples variantes.

Les méthodes de pilotage doivent prendre en compte la hiérarchisation / décentralisation des fonctions de pilotage et les possibilités d'optimisation qu'offrent les technologies informatiques existantes.

	Typologie industrielle	Typologie technologique	Modélisation des processus	Méthodes de gestion
1950: les trente glorieuses	production de masse: fordisme	bases de données centralisations	nomenclatures et gammes	MRP I, II Jalonnement
1990: les mutations accélérées	production au plus juste il?	Objets Réseaux IA. simulations	processus ressources variantes	gestion hiérarchisée optimisations locales sous contraintes

2. De nouveaux besoins de gestion industrielle

2.1 La gestion hiérarchisée

La complexité des problèmes de gestion industrielle, le dépassement du Taylorisme, les besoins de réactivité et flexibilité conduisent à structurer l'entreprise en entités de taille réduites, elle-même pouvant être subdivisées. Cette structuration peut prendre en compte des critères économiques, techniques, fonctionnels, dimensionnels et conduit à définir différents *centres de responsabilité* à différents *niveaux* de prise de décision. Chaque centre de responsabilité se définit par son niveau, les fonctions qu'il assure, un ensemble de ressources et de produits connus de manière plus ou moins détaillée. La hiérarchisation limite la complexité et la taille des problèmes à chaque niveau de pilotage pour permettre cette réactivité.

Cette hiérarchisation rend nécessaire la mise en cohérence des différents niveaux par des règles d'agrégation et désagrégation. La planification long terme s'intéresse à des gammes pour des familles de produits sur des sites, la planification moyen terme s'intéressant à des gammes pour des produits sur des centres de charges, la planification court terme s'intéressant à des gammes détaillées sur des machines pour des variantes de produits.

AYEL (3rd Int. Conf. DKSME LYON1992, Université de Savoie) et ADAMO (Int. Conf on industrial engineering and production management, LAB CNRS BESANCON) proposent de telles modélisation hiérarchique. AKOKA (ESSEC CERGY) montre l'intérêt économique de l'approche hiérarchisée et propose des critères de classifications pour définir des entités homogènes.

2.2 La diversification et la complexification des ressources et produits

L'entreprise ne peut se limiter à la gestion de *centres de charges* regroupant des moyens de production homogènes. L'organisation en îlot autonome conduit au contraire à regrouper des moyens hétérogènes affectés à une ligne de produit ou un segment de marché. De plus en plus, les centres d'usinages, machines transfert, ateliers flexibles, chariots filoguidés, convoyeurs... mais aussi les fours, bains, machines de découpe... nécessitent la gestion de caractéristiques techniques diversifiées (températures, volumes, poids, compatibilité, énergie...). Certains postes traitent en un même cycle opératoire plusieurs opérations pouvant concerner des produits différents (étuvage de cartes électroniques, traitements de surface, machines d'usinages spéciales...). Les contraintes de coût et de qualité conduisent à prendre en compte la gestion des outils et des outillages. La planification peut parfois prendre en compte des problèmes d'espace de stockage, de volumes, de consommation d'énergie, de limites de rejets polluants...

Les produits deviennent configurables pour automatiser la prise en compte des nombreuses options et variantes qu'il faut pouvoir offrir sans surcoût ni délai. Cela conduit à définir des nomenclatures et gammes avec des *règles* permettant de générer des données techniques de variante à partir de données *génériques*.

Les ressources aussi deviennent configurables. C'est le cas classiquement dans les industries de process ou un atelier est configuré pendant une *campagne* pour un type de production. C'est aussi le cas dans des industries discrètes où les besoins d'optimisation conduisent à réorganiser l'atelier en fonction d'un programme de production, à dédier pendant une période un ensemble de machines à une *ligne* ou une *cellule* temporaire.

L'ingénierie simultanée et la conception autour de base de données techniques fonctionnelles (form features) conduit à un nouveau rapprochement entre conception et gestion. Dans les situations de conception à la commande, un produit est planifié sur la base d'une macro-description. Le détail de sa structure technique fait l'objet d'une gestion de données techniques spécifiques à la commande. A l'inverse de la situation classique, l'article n'est plus une donnée statique préexistante, mais une donnée dynamique liée à la commande.

3. Une modélisation objet des processus industriels

3.1 Processus, ressources et produits

La modélisation des processus industriels proposée s'appuie sur une généralisation des nomenclatures et gammes autour du concept de *processus* nécessitant des *ressources* et fournissant des *produits*. Les ressources peuvent être

- *consommables*: une unité n'existe plus après avoir été utilisée. On gère un disponible à date

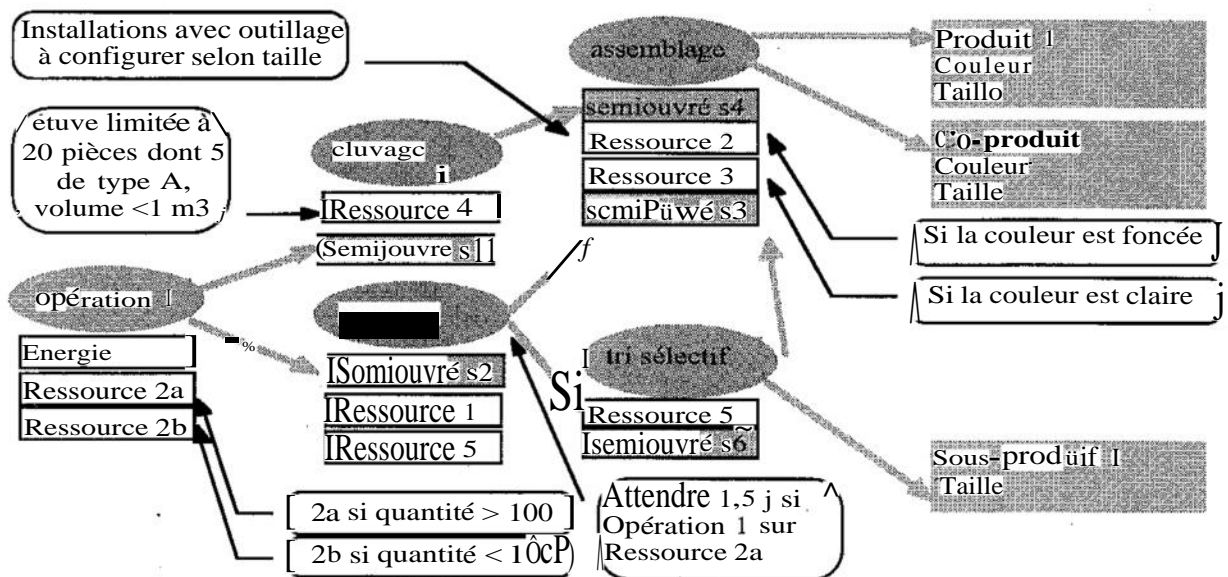
- *temporaires*: une unité n'existe que pendant un certain temps (denrées périssables)
- *usables*: On gère un disponible à date et une *usure* par une mesure de la production réalisée ou une caractéristique propre de l'outil (valeur calculée, mesurée)
- *capacitaires*: On gère une capacité relative à un calendrier et une occupation (une charge)
- *configurables* à partir d'une ressource *générique* instanciable dans différentes configurations ou variantes
- *informative*: la ressource est nécessaire mais n'est ni usée, ni consommée (information)
- *humaines* nécessitant de gérer des compétences, responsabilités, fonctions indirectes...

Un processus réalise des produits qui peuvent être des ressources consommables, mais aussi des ressources capacitaires, des ressources usables...

- fabrication d'un outil ou d'un outillage
- contrôle statistique sur des lots et des procédés
- contrôle qualitatif en réception, réglage, configuration d'une ressource
- maintenance, formation, les réunions...

Un processus peut aboutir à plusieurs produits répondant aux besoins existants de

- valorisation de déchets ou de *sous-produits*
- obtention de plusieurs *co-produits* par une même opération (découpe d'un rondin de bois en deux formes complémentaires, tissage de plusieurs rubans à partir de la même chaîne)
- semi-process et process en chimie, agro-alimentaire...



Une modélisation des processus industriels doit prendre en compte:

- l'intégration des gammes et nomenclatures, ce qui conduit à gérer chaque résultat d'une opération comme un produit consommé en tant que ressource par les opérations suivantes.
- les processus non linéaires nécessitant la gestion d'un réseau de liens entre opérations
- Les contraintes sur le choix des ressources, l'équilibrage de cadences, les temps inter-opérateurs dépendant des produits
- La définition de ressources et produits configurables avec des règles de choix ou de définition de ressources en fonction de *caractéristiques* du produit.

La modélisation doit définir des objets qui représentent une connaissance "statique" et "technique" des processus industriels réalisables dans un système de production (processus, ressources...) A chaque ordre (vente, fabrication, achat) il sera nécessaire de créer un objet "dynamique" représentant ce que l'on va faire.

Cela conduit à la distinction entre

- OBJET TECHNIQUE: description statique d'une connaissance technique
- OBJET DE GESTION: description dynamique d'un ordre pour une date et un besoin

Un OG est créé comme un cas réel, un exemple d'OT. Le comportement d'un OG est déterminé en partie par l'OT qu'il réalise. On peut donc considérer qu'il y a héritage ce qui implique héritage multiple.

3.2 Approche Hiérarchisée

Cette modélisation doit être hiérarchisée. Une opération ou une ressource est définie à un certain niveau de détail, correspondant à un "centre de responsabilité" et peut être détaillée en un graphe d'opérations plus précises.

Ainsi un moteur électrique sera à un premier niveau i décrit par un type de rotor et de stator, une famille d'isolant, et la nature de l'enroulement (cuivre, épaisseur, tresse...). A ce niveau i , on peut planifier la charge globale d'enroulement du cuivre et d'assemblage. On peut aussi planifier l'approvisionnement en cuivre par des contrats par nature de cuivre. La description peut être incomplète et imprécise.

A un niveau plus détaillé ($i+1$), le rotor et le stator sont précisés comme deux ensembles de pièces, des accessoires de montage (à délai court) sont ajoutés à la description du moteur, les références des fils de cuivre sont précisées... On peut alors déclencher les appels de livraison du cuivre et la fabrication.

La cohérence entre ces différents niveaux doit être étudiée:

- ressources *locales* au niveau détaillé qui ne sont pas visibles au niveau agrégé mais dont le coût doit être agrégé dans le coût de la ressource globale.
- définition de la charge à chaque niveau sur les ressources modélisées à ce niveau et agrégation des charges plus détaillées définies aux niveaux inférieurs.

- hiérarchisation *transparente* pour certaines fonctions. Un sous-processus peut être fantôme et ne pas exister pour les fonctions de lancement et de suivi, ou peut être géré en planification à un niveau différent du processus principal.
- On peut trouver dans BARAKAT (Thèse, Université de Franche-Comté 1991) une description d'une telle hiérarchisation de modélisation formalisés en 7 niveaux permettant une représentation plus ou moins fine des processus industriels à partir de quelques tâches élémentaires canoniques
- Au delà de la hiérarchisation des processus de production eux-mêmes, il est nécessaire de gérer des regroupements en familles des produits, moyens pour créer des *macro-structures* facilitant des analyses rapides de charge, de faisabilité de plan, de lissage, de valorisation...
- C'est cette hiérarchisation de la définition des données qui est le coeur des approches hiérarchiques en planification. Elle nécessite des méthodes de *classification* qui peuvent reposer sur des critères technologiques, de gestion (TGAO)...

3.3 *Modélisation objet*

La hiérarchisation se modélise naturellement dans une approche objet par la spécialisation ou la composition.

- La spécialisation correspond à la notion de "famille". Le fauteuil cuir EST_UN fauteuil.
- La composition correspond à la définition plus détaillée d'un ensemble en plusieurs éléments.

La notion de classification par famille semble bien correspondre à la classification de l'approche objet. Mais il nous semble nécessaire de différencier la classification de famille et la hiérarchisation des processus.

On ajoute donc les classes FAM-PROCESSUS et FAM-RESSOURCES hiérarchisée par une relation d'appartenance.

Un PROCESSUS peut-être composée de TACHES qui sont elles-mêmes des processus. La notion de TACHE devient une spécialisation de la classe PROCESSUS.

Pour les RESSOURCES, il n'est pas nécessaire de différencier une classe "sous-ressource". La hiérarchisation peut donc être directement représentée par un lien de composition RESSOURCES-RESSOURCES

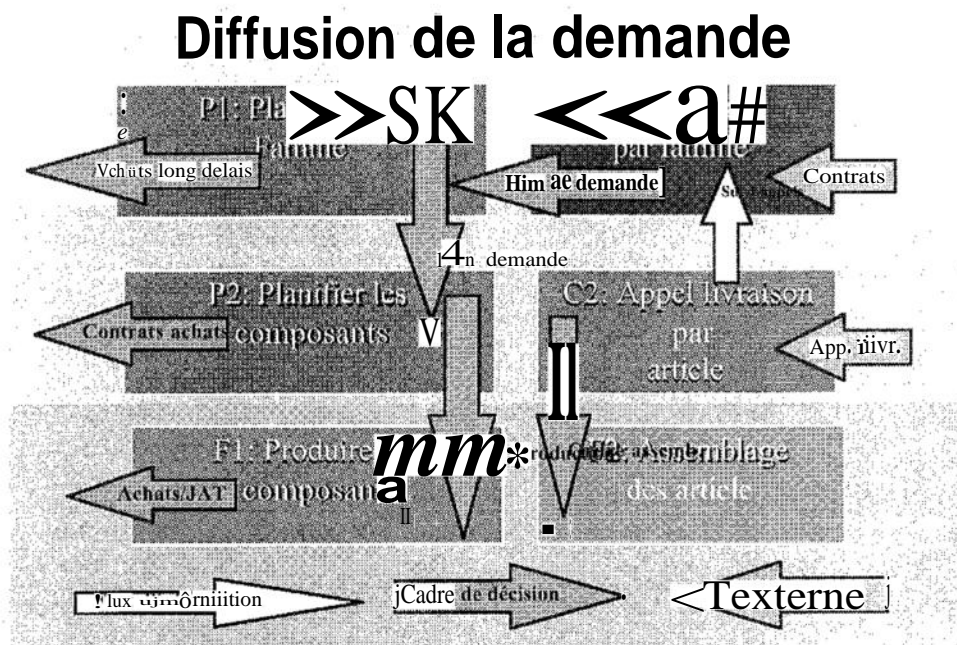
demande est pilotée aussi par le mode de gestion (Kanban, MRP, à la commande, choix de processus...)

On peut alors distinguer deux fonctions dans le pilotage des processus:

- propager toute nouvelle contrainte dans l'ensemble des processus concernés
- optimiser un centre de responsabilité en prenant des décisions sur les choix de processus, les priorités...

On trouve dans CHILOUP (Thèse LILLE 91) une modélisation des systèmes de production par objets avec contraintes.

Le schéma ci-dessous montre une propagation de la demande dans le processus de production contrôlée au niveau de différents " centre de responsabilité ".



5. Conclusion

Cette recherche sur la modélisation orientée objet de la gestion industrielle est indispensable pour porter les progiciels à la hauteur des exigences des entreprises et des potentialités qu'offrent les techniques informatiques existantes.

Elle s'inscrit dans une architecture d'application distribuée faisant appel à

- des ensemble d'objets avec contraintes dynamiques modélisant les demandes, processus et besoins d'un centre de responsabilité
- des outils d'optimisation et de résolution de problèmes à partir d'un sous-ensemble d'objets d'un centre de responsabilité (système expert, réseaux de neurones, outils heuristiques, programmation linéaire...)
- des outils de gestion de bases de données objets

- un moteur de messagerie avec règles organisant la propagation des contraintes, demandes de décisions ou d'actions aux opérateurs dans une approche de Workflow
- des outils de consultation et navigation dans les ensembles dynamiques d'objets

Cette approche a de fortes conséquences sur l'organisation du marché aujourd'hui structuré par un nombre limité de "grands" progiciels. En effet, la définition de bibliothèques de composants, de *frameworks* applicatifs diminuent le poids des éditeurs et autorisent un *développement* à la demande, revalorisant les métiers des intégrateurs, sociétés de services...

L'approche objet permet une réelle capitalisation. On peut alors enrichir un progiciel pour le configurer par métiers, marché. Il y a alors plusieurs segments de valeur ajoutée:

- Les concepts et fonctions de base de la gestion industrielle intimement liés à la maîtrise fine de la technologie objet choisie concrétisée par des *frameworks*, bibliothèques de composants de base et outils de résolution de problèmes.
- L'expérience d'un métier, d'un type de production, d'un marché par le développement de bibliothèques d'objets métiers, d'outils d'optimisation spécifiques.
- les méthodologies de mise en oeuvre de projet dans une approche objet conduisant au développement rapide d'applications basées sur les environnements objets et métiers dans une démarche de *prototypage* avec le client.

L'approche objet permet de dépasser de ce point de vue le dualisme organisation-système d'information:

- Les logiciels spécifiques étaient censés s'adapter précisément à l'organisation mais conduisaient à des coûts de développements et de maintenance prohibitifs
- Les progiciels permettent d'amortir sur plusieurs milliers de sites les coûts de développements et de maintenance, améliorent fortement l'efficacité et la cohérence des applications, mais conduisent à une démarche difficile d'intégration entre organisation et progiciel
- L'approche objet doit permettre de conserver l'efficacité d'une approche industrielle des développements de composants de base, tout en laissant la plus grande flexibilité à l'assemblage d'un système client à la demande.

Des prototypes illustrant les idées à la base de la modélisation proposée ont été réalisés en Lisp objet. En conclusion, ce travail qui cherche à définir un domaine de recherche-développement, nécessite d'être poursuivi par la réalisation d'un prototype plus global reprenant les fonctions de base de gestion des approvisionnements et de gestion du travail autour d'une taxonomie complète des ressources et produits industriels