Pilotage des systèmes de production : approche par produits actifs et champs de potentiel

Nadine Zbib, Yves Sallez, Thierry Berger, Damien Trentesaux

▶ **To cite this version:**

Nadine Zbib, Yves Sallez, Thierry Berger, Damien Trentesaux. Pilotage des systèmes de production : approche par produits actifs et champs de potentiel. 3èmes Journees Doctorales/Journees Nationales Macs, Mar 2009, angers, France. hal-01876162

HAL Id: hal-01876162
https://hal.science/hal-01876162

Submitted on 18 Sep 2018

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.

Pilotage des systèmes de production : approche par produits actifs et champs de potentiel

NADINE ZBIB, YVES SALLEZ, THIERRY BERGER, DAMIEN TRENTESAUX

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, et d'Informatique Industrielles et Humaines UMR CNRS
Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9 , France

prenom.nom@univ-valenciennes.fr

***Résumé* — Ce papier traite de l'application du concept de champs de potentiel pour le pilotage des systèmes de production. Ce type d'approche nécessite d'augmenter les capacités décisionnelles et informationnelles non seulement des ressources de production, mais également des produits eux-mêmes. C'est pourquoi la première partie de cet article décrit le concept de « produit actif », qui est défini comme le couplage entre un produit passif en cours de production avec un module d'augmentation. Une analyse de l'état de l'art dans le domaine du « produit actif» a été réalisée. Suite à cette analyse, notre définition de produit actif est proposée. Le mécanisme de champs de potentiel est alors détaillé. Ce champ de potentiel assure l'allocation dynamique des ressources et le routage dynamique des produits. Nous envisageons d'appliquer nos propositions à la cellule flexible de l'AIP PRIMECA de Valenciennes. La validation par simulation sera réalisée eu utilisant la plateforme Netlogo.**

***Mots clés* — produit actif, module d'augmentation, champ de potentiel, allocation dynamique, routage dynamique, système de production.**

I. INTRODUCTION

Dans le contexte concurrentiel actuel, les responsables de production désirent d'avantage d'adaptabilité de leur outil de production à l'environnement et à son évolution rapide plutôt que d'obtenir un comportement optimisé par un système (ordonnancement optimal, etc.) contraint par des hypothèses fortement réductrices qui rendent cet outil de production très sensible aux changements de l'environnement. Dans ce cadre, de nouvelles architectures de pilotage de production basées sur l'accroissement de l'autonomie des produits et ressources ont vu le jour. Ces entités mettent en œuvre de nouvelles activités décisionnelles afin d'agir en concertation en fonction de l'état réel du système de production pour maintenir un niveau de performance souhaité. Aujourd'hui, les technologies embarquées (RFID, smart cards, communication infrarouge ...) permettent d'envisager la mise en oeuvre de ce type d'entités à des coûts sans cesse réduits.

Dans ce cadre, l'objectif de notre travail consiste à s'appuyer sur le concept de champs de potentiel et à l'appliquer pour réaliser une allocation et un routage dynamique entre les produits et ressources actifs.

La partie suivante décrit brièvement l'état de l'art dans le domaine des produits actifs. Les principales approches utilisées pour l'interaction entre entités sont décrites. Les insuffisances des travaux actuels nous ont conduit à proposer un modèle de produit actif basé sur le concept du module d'augmentation. L'utilisation des champs de potentiel est alors justifiée et appliquée à notre étude. Les premiers développements théoriques sont présentés, et une validation est alors proposée.

II. ETAT DE L'ART

Cette section fournit un bref état de l'art divisé en trois parties : la première traite la notion d'activité attribuée à un produit et présente notre typologie ; la deuxième décrit les approches de modélisation pour assurer les interactions entre les entités du système ; la troisième propose une synthèse qui met en évidence les insuffisances des travaux actuels.

A. Concept de produit actif

De nombreux chercheurs ont proposé leur définition pour le concept de produit actif et ce, dans des contextes différents. Cea Ramirez [1] a défini un objet passif comme un fournisseur de service et un objet actif comme un demandeur de service. Brun Picard et al. [2] a utilisé le terme de produit actif dans le cadre d'un système de fabrication, comme une entité autonome qui coopère et coordonne ses actions pour atteindre ses objectifs. Dans ce contexte, chaque entité est capable de communiquer, de décider et d'agir, pour prendre sa décision. McFarlane et al. [3] a utilisé le terme "*Intelligent product* " pour définir un produit avec la capacité de communiquer avec l'environnement et d'influencer les décisions qui affectent son avenir. Une étude bibliographique plus complète est disponible dans [4] et a conduit à la typologie suivante (Figure 1).

Le premier axe représente le cycle de vie de produit et ses différentes phases: conception, fabrication, utilisation et recyclage des produits actifs. Nos travaux se focalisent pour l'instant sur les deux phases de fabrication et d'utilisation.

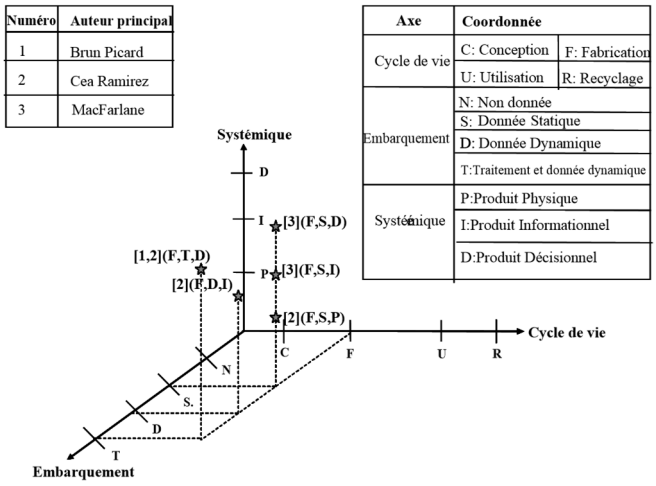

Figure 1 – Typologie de produit actif

Le deuxième axe traite du degré d'embarquement des données et capacité de traitement au sein des produits ; le troisième concerne la dimension systémique utilisé par Le Moigne [5] pour décrire le degré d'intelligence d'un système, en commençant par

un produit physique sans capacité à un produit capable de prendre des décisions en passant par un produit capable de s'informer et d'informer. Cette typologie pour l'instant appliquée aux produits pourra être reconduite au niveau des ressources.
Les différents travaux recensés sont alors positionnés selon ces trois axes : la première coordonnée concerne la phase du cycle de vie, la deuxième se réfère au degré d'embarquement et la dernière désigne le degré d'intelligence d'un produit.

B. Approche de modélisation et d'interaction

Il existe différentes approches de modélisation d'un système à base d'entités « intelligentes » appliqué au pilotage d'un système manufacturier. Relevons en particulier :

- L'approche multi-agents : Un système multi-agents peut être défini comme un groupe d'agents qui interagissent les uns avec les autres, directement ou indirectement. Par exemple, Maione et Naso [6], utilisent cette approche dans le cadre de l'assemblage. Les produits et les ressources sont des agents capables de communiquer et de coopérer pour atteindre les objectifs de production.
- L'approche holonique : un HMS (Holonic Manufacturing Systems) est constitué d'Holons spécifiquement dédiés à la production. Dans un système de fabrication holonique, le produit est considéré comme une entité (éventuellement récursive) composée d'une partie information et une partie matérielle. Il peut décider seul de son cheminement à travers le système de production. Dans ce contexte, Van Brussel [7], a proposé l'architecture de référence PROSA, comportant quatre types d'Holon (order, resource, product et staff).
- Les approches bioniques et bio-inspirés : ces approches sont assez récentes. Les systèmes de production bioniques (SPB) ont été proposés par Okino [8]. Cette approche exploite les propriétés des systèmes naturels, c'est-à-dire qu'elle transpose les caractéristiques biologiques (auto-organisation, évolution, apprentissage, ou adaptation) au pilotage d'un système de production [9].

En ce qui concerne les différentes approches d'interaction, on remarque que la grande majorité des modèles agents et holoniques sont basés sur le protocole contract-net [10]. Ce protocole de négociation présente l'avantage d'être très général, intuitif et facilement applicable aux différents contextes applicatifs. Basé sur un processus de négociation, ce protocole permet la répartition de tâches entre entités.
D'autres approches sont utilisées dans le cadre bionique ou bio-inspiré. La stigmergie en est un exemple illustratif (algorithmes ACO : ant colony optimisation). Un autre exemple est celui des champs de potentiel [11], mais cette technique est encore peu présente dans le contexte de la production.
Notre objectif est d'appliquer ce concept dans le cadre de la production. Historiquement dans l'équipe, les interactions entre entités (alors des agents – resources uniquement) étaient régies par le contract-net. Plus récemment, nous nous sommes intéressés à la stigmergie pour le routage de produits (assimilés à des fourmis). L'application de ce troisième mécanisme d'interaction nous donnera une vue assez complète sur les avantages et inconvénients de chaque concept afin de proposer une approche multi-modèles.

C. Modélisation des interactions via champs de potentiel

Dans cet article, les champs de potentiel sont utilisés comme mécanisme assurant les interactions entre les produits actifs et les ressources.
Depuis les travaux précurseurs de Khatib [12], de nombreuses méthodes utilisant les champs de potentiel ont vu le jour dans le domaine des SMA, avec des applications concrètes en robotique mobile [11]. Ces méthodes facilitent notamment la planification de trajectoires pour des entités mobiles réactives. Ces dernières remontent le champ de potentiel attractif généré par un objectif en prenant en compte les champs de potentiels répulsifs émis par les obstacles. L'entité mobile suit un champ de potentiel global, défini comme la somme vectorielle des champs d'attraction et de répulsion.
Les champs de potentiel ont également été récemment utilisés pour le positionnement de ressources vis-à-vis des demandes [13]. Ils permettent par exemple le positionnement d'entrepôts par rapport à des centres de distribution, ou d'arrêt de bus selon les demandes « clients ».
Dans le domaine manufacturier, Vaario et Ueda [14] ont également utilisé les champs de potentiel afin d'effectuer une allocation dynamique des produits parmi un ensemble de ressources disponibles. Ils ont notamment appliqué ce concept à un système de production line-less où les produits (transportés sur des AGVs) sont traités par des robots montés sur des plate-formes mobiles. D'autres chercheurs ont plus récemment utilisé la notion de gradient de potentiel pour le routage d'AGVs dans un atelier [15].

Un champ de potentiel peut être modélisé de façon très simple à l'aide d'une courbe décrivant la capacité d'attraction en fonction de la distance euclidienne séparant l'entité à attirer et le centre de l'attraction. Plus la distance est petite, plus l'attraction est importante (voir Figure 2a).

La figure 2b montre un exemple de deux buts fixes B1 et B2 qui émettent des potentiels attractifs en champ libre. L'entité E est attirée vers le but B1 qui a le champ attractif le plus fort.

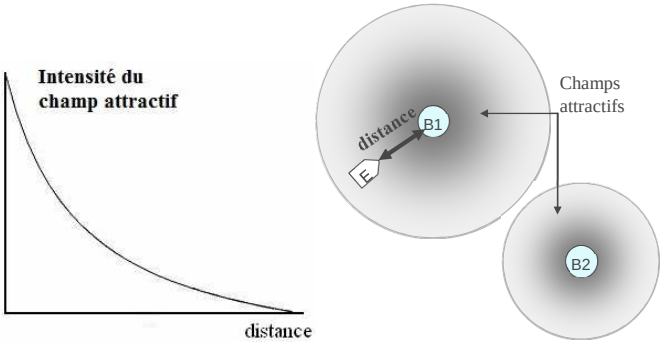

Figure 2a: Variation du champ de potentiel, Figure 2b: Interaction entité mobile-but,

D. Synthèse

Au niveau du produit, suite à notre analyse de l'état de l'art, la signification du terme "intelligent" peut différer fortement d'un auteur à un autre. En outre, les propositions et modèles sont très orientés technologie. Si de nombreux modèles traitent de produits avec données statiques embarqués, très peu exploitent le potentiel des données dynamiques et du traitement embarqué sur le produit. Enfin, aucun des auteurs ne propose un modèle

adapté à la fois au contexte de la fabrication et à celui de l'exploitation des produits : il est important de noter que, pendant la phase de fabrication, le produit étant en cours de fabrication, il est incapable de supporter « l'intelligence » qui lui est prêtée, ce qui nous a poussés à proposer le concept de module d'augmentation.

Au niveau de l'allocation par champs de potentiel, dans leurs contextes applicatifs respectifs (coordination d'agents, allocation de ressources, positionnement d'entrepôts en logistique), Ueda [9], Ferber [11], et Moujahed [13] prennent la distance entre une entité mobile et son point d'attraction comme unique critère de variation de l'attraction.

Dans toutes ces applications, les entités attractives émettent des champs de potentiel se propageant dans un espace plan dans toutes les directions. Les entités mobiles se déplacent quant à elles en champ libre sans utiliser un quelconque réseau de routage. Ces caractéristiques se révèlent trop limitatives et ne correspondent pas à la complexité que l'on rencontre habituellement dans un système de production.

La partie suivante décrit notre concept de produit actif et celui de module d'augmentation. Ce modèle est proposé pour compenser les lacunes relevées dans l'état de l'art et synthétisées dans ce paragraphe. L'approche par champs de potentiel y est également décrite.

III. PROPOSITION

A. Concepts de produit actif et de module d'augmentation

Un ''produit actif ''est défini comme une entité capable d'agir physiquement sur son environnement, de traiter de l'information (mémorisation, communication), de décider et d'interagir avec son environnement afin d'atteindre un objectif recherché.

Dans le cas de la fabrication, un produit actif est obtenu en ajoutant un module d'augmentation à un produit passif en cours de fabrication. Ce module est implanté sur un contrôleur embarqué adjoint au système support du produit (par exemple, une palette). Ce concept est illustré dans la figure 3.

Le module d'augmentation est composé de trois blocs fonctionnels : mémorisation, traitement et interaction:

- Mémorisation: Ce bloc traite les données statiques (lecture seule) et les données dynamiques (lecture / écriture). Comme exemple de données statiques, on peut citer l'identificateur (ID) du produit et comme exemple de données dynamiques, l'état d'avancement du produit dans la gamme de fabrication.

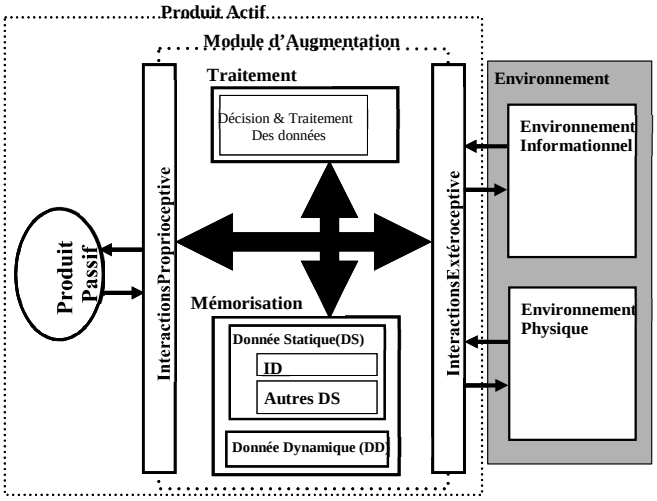

Figure 3 : Concept de produit actif avec son module d'augmentation

- Traitement: Ce bloc assure le traitement des données glanées par le produit actif et supporte les prises de décisions: allocation dynamique des ressources, acheminement du produit dans le système, apprentissage des meilleures routes, adaptation aux perturbations, etc.
- Interaction: deux types d'interaction peuvent être identifiés, soit entre le module d'augmentation et le produit, soit entre les entités actives et l'environnement informationnel et / ou physique. Le premier type d'interaction est appelé *proprioceptif* et le deuxième est nommé *extéroceptif.*

B. Typologie de produit actif

Afin de compléter notre concept de produit actif, nous avons introduit une typologie illustrée table 1 et définissant quatre classes.

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Fonctionnalités	
			X		**Capteurs / Actionneurs**
		X	X	Prise de décision	**Traitement**
X	X	X	X	Traitement des données	
		X	X	Orienté service	**Communication**
X	X	X	X	Orienté donnée	
Lecture	Lecture / Ecriture	Lecture / Ecriture	Lecture / Ecriture	Donnée	**Mémorisation**

Table 1 : Quatre classes de produit actif

Dans la table 1, "X" est utilisé dès lors qu'une fonctionnalité est embarquée dans le produit. "Lecture" signifie que seule la lecture des données est possible alors que "Ecriture" signifie qu'il est possible de modifier des données existantes. Il existe deux types de communication, une orientée donnée qui permet la lecture et l'écriture de données situées à distance et une seconde orientée service qui concerne tous les services fournis par le produit actif. Nous trouvons ici une forte analogie avec les "services Web", par exemple il est possible de demander à un produit en particulier combien de temps il lui faudra pour sortir du système.

Dans la première classe, le produit est automatiquement identifié par un identifiant unique (ID), ce produit ne contient

que des données statiques, et le traitement associé à cette classe est un traitement basique permettant l'accès aux données.
La deuxième classe concerne des produits identifiés dont la mémoire permet la lecture / écriture de données dynamiques. *Ces deux classes caractérisent un produit actif informationnel.*
Un produit de classe 3 sera capable de participer et de prendre des décisions concernant son propre destin au cours de son cycle de vie.
La quatrième classe concerne un produit décisionnel capable d'interagir avec son environnement physique. *Ces deux dernières classes caractérisent un produit actif décisionnel.*
Sur la figure 4, cette typologie est positionnée selon les 3 axes présentés auparavant. La classe 4 n'est pas représentée car elle concerne un produit qui interagit avec son environnement, ce qui n'a pas été analysé dans l'état de l'art.
En comparant notre typologie à celle de MacFarlane [3] qui est largement répandue, nous trouvons qu'il y a une similitude entre la classification de produit, surtout sur l'axe de cycle de vie et l'axe systémique. La différence se situe surtout sur l'axe d'embarquement: MacFarlane définit un produit actif identifié, mais les informations et les données nécessaires pour le traitement et la décision sont toujours situées à distance, le produit n'ayant que des données statiques embarquées.

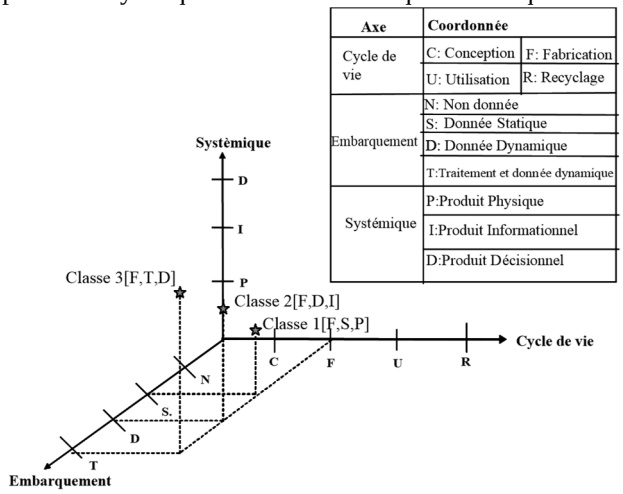

Figure 4 - Positionnement de notre typologie

Selon notre point de vue, un produit actif est aussi un produit identifié avec des données statiques et dynamiques mais il dispose également de capacités décisionnelles embarquées via le module d'augmentation.

Par conséquent, notre classe 2 est semblable au niveau 1 de MacFarlane (exception faite de l'axe d'embarquement), la classe 3 est équivalente au niveau 2 (même exception).
Concernant la classe 4, un produit décisionnel qui interagit avec l'environnement, nous trouvons une analogie avec [16], qui définit, dans le cadre de l'exploitation (et non plus de la fabrication) un objet qui contient des capteurs et des actionneurs pour s'immerger dans son environnement (concept d'intelligence ambiante).

C. Contraintes spécifiques aux systèmes de production pour l'élaboration du modèle "champ de potentiel".

Certaines caractéristiques essentielles d'un système de production doivent être prises en compte pour l'élaboration de notre modèle de champ de potentiel :

- Un système de production peut généralement être représenté sous la forme d'un graphe de ressources. Ces dernières, situées sur certains nœuds, émettent des champs de potentiel et les produits actifs empruntent une succession d'arcs pour se déplacer vers elles. Le déplacement ne s'effectue donc plus en champ libre mais dans un environnement contraint par la topologie du graphe.
- Dans le cadre de notre étude d'allocation, d'autres critères autres que la simple distance produit-ressource doivent être pris en compte. Au niveau de chaque ressource, la capacité de la file d'attente, la disponibilité de la ressource, le temps d'exécution d'un service, l'état de la ressource (en panne ou non), la qualité du service rendu sont à considérer.
- De même au niveau du réseau de convoyage, les différentes perturbations (blocage sur un arc, embouteillage) seront à intégrer dans le modèle. Ces perturbations ne seront pas prises en compte dans le cadre de notre étude préliminaire.

D. Modèle proposé

1. Principe et notations

Prenons R= $\{R_j\}$ l'ensemble des ressources localisées sur des nœuds, et P= $\{P_i\}$ l'ensemble des produits actifs qui se déplacent dans un système manufacturier afin d'obtenir la liste des services demandés S= $\{S_k\}$. Chaque R_i émet un champ de potentiel attractif pour un type de service S_k.
Ce champ de potentiel a comme principale caractéristique de se propager en tenant compte de la topologie du graphe (voir figure 5) et de s'annuler au-delà d'une distance prédéfinie. Le produit P_i, cherchant à satisfaire un service S_k, remonte vers la ressource émettant le champ de potentiel le plus intense pour ce service. Une file d'attente étant allouée à chaque ressource, T_a (P_i, R_j) désigne le temps d'attente d'un produit P_i dans la file d'attente d'une ressource R_j.
Le temps total de traitement d'un produit P_i nécessitant un service S_k sur une ressource R_j s'exprime donc sous la forme : $T(R_j, S_k) = T_a(P_i, R_j) + T_{ex}(R_j, S_k)$, où $T_{ex}(R_j, S_k)$ représente le temps d'exécution nécessaire pour que la ressource rende le service S_k.
Par conséquent, l'intensité du champ attractif doit agréger les critères de distance produit-ressource (détaillée ci-dessous), et d'occupation de la ressource.
La ressource diffuse le champ de potentiel en respectant la topologie du graphe de convoyage. La Figure 5 reprend le principe de la figure 2 en l'appliquant sur un graphe représentatif du système de production.

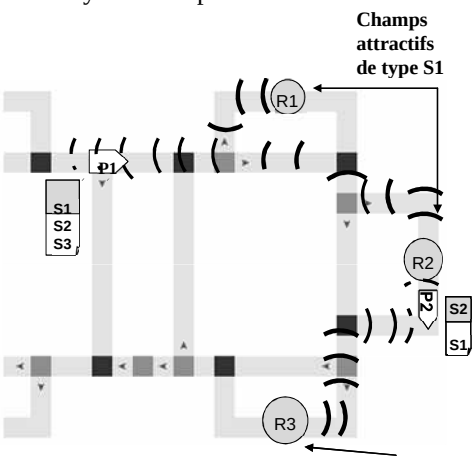

Figure 5 : Graphe d'étude

Dans ce contexte, la distance entre deux points n'est plus la distance euclidienne mais la somme des longueurs des arcs joignant ces deux points. Ainsi sur l'exemple de la figure 6, la distance entre le nœud de départ A et le nœud destination E, s'exprime comme dist(A,E) = d1+d2+d3+d4, di représentant la longueur de chaque arc i parcouru.

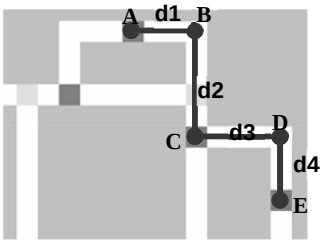

Figure 6 : Distance utilisée

2. Modèle de comportement d'un produit

Le réseau de Petri de la figure 7 décrit les étapes successives permettant à un produit d'être traité.

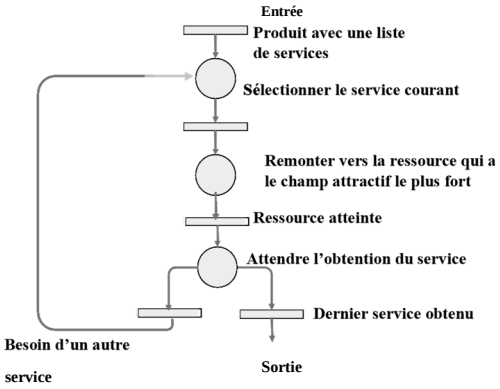

Figure 7: Modèle avec réseau de Petri

Un produit doit obtenir tous les services de sa liste afin d'être considéré fini. Sur la base du service courant sélectionné le produit remonte ensuite le gradient de potentiel vers la ressource exprimant le plus grand pouvoir attractif au regard de ce service. Arrivé sur la ressource, il attend jusqu'à obtention du service requis. Ce processus est réitéré jusqu'à épuisement de la liste de services à obtenir.

IV. VALIDATION

Après une présentation du contexte expérimental, nous détaillons le modèle de champs de potentiel retenu et présentons notre protocole expérimental.

A. Contexte d'expérimentation

La cellule d'assemblage flexible du pôle AIP PRIMECA à Valenciennes constitue notre contexte expérimental. Cette cellule comporte un réseau de convoyage basé sur la technologie Montrac [17]. Les produits sont acheminés via des navettes autopropulsées sur un système monorail équipé de transferts, permettant d'aiguiller les produits vers les différents postes de travail.

La cellule de la figure 8 comporte :

- 7 postes de travail (W1 à W7) qui sont les nœudsressources sur lesquels les produits obtiennent les services,
- 11 transferts divergents, où un choix de routage doit avoir lieu,
- 11 transferts convergents.

Sur cette cellule circulent des produits actifs de classe 3. Ce produit est obtenu par l'ajout d'un module

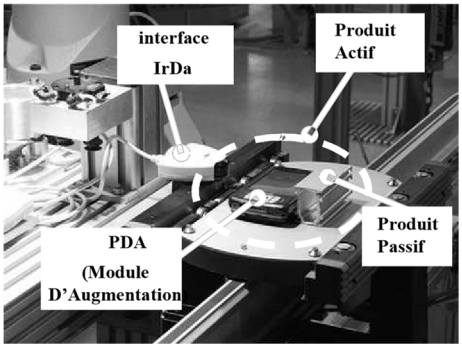

Figure 9 : Produit actif de classe 3.

d'augmentation au produit passif (voir figure 9). Ce module d'augmentation est basé sur un assistant numérique personnel (PDA).

Le principe d'allocation par champs de potentiel sera dans un premier temps validé par simulation. Pour ce faire, la plateforme de modélisation et de simulation multi-agents « Netlogo » [18] a été retenue. Cette dernière permet de manipuler deux grands types d'entités : les agents (mobiles ou fixes) et les patches (cellules de l'environnement sur lesquelles les agents peuvent se déplacer et agir). Chaque agent a son comportement propre et peut interagir facilement avec les autres entités et avec les patches situés dans sa proximité. Cette plateforme est très fréquemment utilisée pour simuler des phénomènes biologiques ou sociétaux.

B. Modèle de champs de potentiel retenu

La formule de champs de potentiel retenue pour nos premières simulations est la suivante :

$$C_{attr}(t) = \frac{1}{dist(R_j, P_i)} * \sum_{k=1}^{nb} \frac{1}{T(R_j, S_k)}$$

Cette formule se base sur les critères cités dans la partie III.D.1. (la distance, le nombre des produits dans la file d'attente d'une ressource, le temps de traitement, …). Ce champ de potentiel diminue donc avec la distance et le nombre de produits présents dans la file d'attente.

C. Protocole expérimental

Les différents paramètres devant être définis pour la simulation sont :

- les dates de début et de fin souhaitées pour la fabrication de chaque produit,

- la capacité de la file d'attente de chaque ressource,

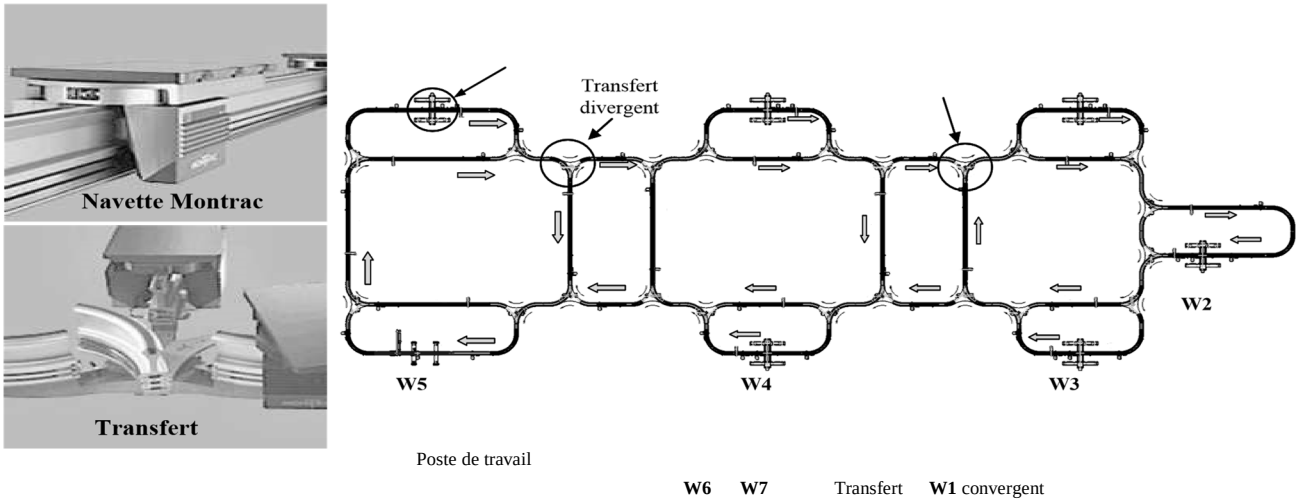

Figure 8 : Cellule d'assemblage flexible utilisée

- les services offerts par chaque ressource,
- les temps d'exécution des services sur les différentes ressources,
- la gamme opératoire de chaque produit. A l'issue de la simulation, nous souhaitons mesurer les performances suivantes :
- le nombre de produits fabriqués et leur avance ou retard,
- le taux d'utilisation des ressources.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de ce papier était d'appliquer une approche par champs de potentiel à un système de production dans lequel circulent des produits actifs.

Un premier état de l'art a été réalisé pour positionner le concept de produit actif. Un second état de l'art positionne l'intérêt des champs de potentiel pour l'allocation « produitressource ». Après avoir dressé une typologie du produit actif, nous proposons de transformer un produit passif en produit actif au moyen d'un module d'augmentation.

Ensuite, nous proposons une approche d'allocation basée sur les champs de potentiel. La validation du modèle sera réalisée par simulation (NetLogo) en prenant pour cadre applicatif la cellule flexible de l'AIP-Primeca de Valenciennes.

Nos travaux futurs devront prendre en compte une plus grande complexité du système de production :

- en ajoutant des perturbations sur le routage,
- en ajoutant des défaillances au niveau des ressources,
- en généralisant notre approche à un graphe contenant des chemins bidirectionnels.

L'approche à base de champs de potentiels présente de nombreux avantages qu'il conviendra de vérifier : - les différentes entités (produits ou ressources) peuvent être facilement ajoutées ou supprimées, sans nécessiter une refonte du mécanisme d'allocation et de routage,

- la mise en œuvre est très simple et ne nécessite pas de traitements fastidieux,
- le nombre d'entités ne complexifie pas les interactions, contrairement aux approches par négociations.

Cependant, comme de nombreuses approches « réactives », elle présente l'inconvénient de ne pas être optimale. En effet, plusieurs produits requérant le même service peuvent se voir attirer vers une même ressource, alors qu'un seul pourra réellement être servi. Appliquée de manière très directe, cette méthode peut entraîner des déplacements inutiles de produits, d'où une prévisible baisse de performances du système de production. Dans le cadre de nos futurs travaux, il conviendra donc d'élaborer un mécanisme plus subtil d'allocation, associant attraction des produits par les ressources et répulsion des produits entre eux.

VI. REFERENCES

[1] Cea Ramirez A, Thesis ''Contribution à la Modélisation et à la Gestion des Interactions Produit-Processus dans la Chaîne Logistique par l'Approche Produits Communicants'', Research center of Automatic in nancy, 18 July 2006.

[2] Brun Picard D, Bouvet H, Baboli H and Binder Z, ''The product as an active element of distributed production control''. IFAC-IFIP-IMACS Conference, Belfort, 2022 May 1997.

[3] McFarlane D., Sarma S., Chirn Jin Lung, Wong C.Y., Ashton K. The intelligent product in manufacturing control and management. 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, 2002.

[4] Zbib N., Raileanu S., Sallez Y., Berger T., Trentesaux D. From "Passive Products to Intelligent Products: The Augmentation Module Concept". 5th CIRP-sponsored, International Conference on Digital Enterprise Technology – DET, Nantes, France, 22-24th October 2008.

[5] LeMoigne J.L. La théorie du système général, Théorie de la modélisation. Deuxième édition, Paris : PUF, 338p, 1984.

[6] Maione B. et Naso D., "Evolutionary adaptation of dispatching agents in heterarchical manufacturing systems", international journal of production research, vol. 39, N°7, pp. 1481-1503, 2001.

[7] Van Brussel et al. Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA, Computers in Industry, 37, 255-274, 1998.

[8] Okino N., Bionic Manufacturing System, in Flexible Manufacturing System : past – present – future, J. Peklenik (ed), CIRP, Paris, pp. 73- 95, 1993.

[9] Ueda K., Synthesis and emergence - research overview, Artificial Intelligence in Engineering, vol.15, pp. 321-327, 2001.

[10] Smith R.G., The contract net protocol: High level communication and control in a distributed problem solver, IEEE Transactions on Computer, vol. C29, n°12, pp. 1104-1113, 1980.

[11] Ferber J., Les systèmes multi- agents – vers une intelligence collective, InterEditions, Paris (ISBN 2-7296- 0572- X), 1995.

[12] Khatib, O., Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. In IEEE international conference on robotics and automation, pages 500-505, 1985.

[13] Moujahed S., Approche multi-agents auto-organisée pour la résolution des contraintes spatiales dans les problèmes de positionnement mono et multi-niveaux. Thèse de l'Université de Franche-Comté et de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2007.

[14] Ueda K., Vaario J., An emergent modelling method for dynamic scheduling, Journal of Intelligent Manufacturing, pp. 129-140, 1998.

[15] BretonL., Maza S., Castagna P., « Simulation multiagent de systèmes d'AGVs : Comparaison avec une approche prédictive», Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation, MOSIM'04, Nantes (France), 2004.

[16] Bajic E, ''Ambient Networking for intelligent objects management, mobility and services''. Seminar Institut For Manufacturing - IFM University of Cambridge, Angleterre, 2004.

[17] Montrac Technology, Conveyor systems, http://www.montech.com, 2008.

[18] Wilensky U. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL, 1999.