



**HAL**  
open science

# Management du cycle de vie d'un produit actif : Concept d'agent d'augmentation

Yves Sallez, Thierry Berger, Damien Trentesaux

## ► To cite this version:

Yves Sallez, Thierry Berger, Damien Trentesaux. Management du cycle de vie d'un produit actif : Concept d'agent d'augmentation. congrès génie industriel (GI), Jun 2009, tarbes, France. <hal-03088757>

**HAL Id: hal-03088757**

**<https://hal.science/hal-03088757v1>**

Submitted on 27 Dec 2020

**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.



HAL Authorization

# Management du cycle de vie d'un produit actif : Concept d'agent d'augmentation

YVES SALLEZ, THIERRY BERGER, DAMIEN TRENTESAUX

LAMIH – SP

UNIVERSITE DE VALENCIENNES

Le Mont-Houy, F-59313 VALENCIENNES Cedex 9

prenom.nom@univ-valenciennes.fr

---

**Résumé** - Ce papier présente le nouveau concept d'agent d'augmentation pour le contrôle des systèmes de production. Le concept d'agent d'augmentation permet aux produits passifs d'être transformés en produits actifs aptes à informer, communiquer, décider et agir de façon à atteindre leurs objectifs. Les avantages attendus sont la traçabilité du produit tout au long de son cycle de vie, une réactivité accrue face à des perturbations et une meilleure adaptation aux changements dans l'environnement de production ainsi qu'aux fluctuations de la demande. Une analyse de l'état de l'art dans le domaine du «produit actif / intelligent» a été réalisée. Suite à cette analyse, notre définition de produit actif est introduite et le concept d'agent d'augmentation est proposé. Le concept est validé sur une application réelle : le routage de produits actifs dans la cellule flexible de production du pôle AIP-Primeca de Valenciennes.

**Abstract** - This paper presents a new concept for manufacturing control, called the *augmentation agent*, which enables passive in-progress products to become active products able to inform, communicate, decide and act in order to reach goals. Expected advantages include traceability through the entire product life cycle, reactivity to unexpected events during production and adaptability to changes in the production environment and customer needs over time. After a brief state-of-the-art, our definition of active product is introduced and the concept of augmentation agent is proposed. Our proposal is illustrated through a real application: the routing of passive vs. intelligent products within the Flexible Manufacturing System (FMS) of the Valenciennes AIP-Primeca pole.

**Mots clés** - produit actif, agent d'augmentation, routage dynamique, système flexible de production

**Keywords** - active product, augmentation agent, dynamic routing, flexible manufacturing system.

---

## 1 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 [Sauer, 2008]. Dans ce cadre, de nouvelles architectures de pilotage de production basées sur l'accroissement de l'autonomie des entités (produits et ressources) ont vu le jour, apportant plus de réactivité et d'adaptabilité. Parmi les avantages attendus, relevons une traçabilité améliorée, une meilleure robustesse, ainsi qu'une facilité de reconfiguration en cas de changement de production ou d'aléas. Ces entités mettent en œuvre de nouvelles activités décisionnelles afin d'agir 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 œuvre de ce type d'entités à des coûts sans cesse réduits.

L'objectif de cet article est de présenter l'intérêt de rendre le produit actif tout au long de son cycle de vie et de proposer une modélisation du produit actif, basée sur le concept d'augmentation. Dans cet article, nous nous restreignons à l'étude de l'activité associée au produit et non à celle de la ressource. La partie suivante décrit brièvement l'état de l'art dans le domaine des produits actifs. Les principales approches

utilisées pour supporter l'interaction entre les produits et leur environnement sont décrites. Les insuffisances des travaux actuels nous ont conduits à nous intéresser au management du cycle de vie du produit actif et à proposer un modèle de produit actif basé sur le concept d'agent d'augmentation. Nos premiers développements théoriques sont introduits et une validation est présentée sur la cellule flexible de production du pôle AIP-Primeca à Valenciennes.

## 2 ETAT DE L'ART SUR LA NOTION DE PRODUIT ACTIF

Cette partie est divisée en deux sections : la première présente une analyse suite à un bref état de l'art, la seconde propose une synthèse qui nous permettra d'introduire notre contribution.

### 2.1 Etat de l'art : analyse

Les notions d'activité (ou d'intelligence) pour le produit sont associées diversement, par de nombreux auteurs, en fonction des concepts, des contextes manipulés et de la localisation dans le cycle de vie du produit, principalement lors de sa phase d'utilisation ou lors de sa phase de fabrication.

Lors de sa phase d'utilisation le produit est vu comme un objet, *communicating object* ou *smart object*, utilisé au quotidien et plongé dans une infrastructure ambiante lui permettant d'être en interaction avec son environnement. Pour [Kintzig et al., 2002], le terme *smart object* équivaut à *communicating object*, mais pour [Mattern, 2003], un *smart object* est bien plus ; c'est un objet capable de s'adapter à son

environnement, capable de fournir des services et capable de se connecter spontanément à des réseaux pour avoir accès à de l'information distante ou de nouveaux services sur l'internet par exemple.

Lors de la phase de fabrication, [Brun Picard et al., 1997] définissent l'*active product* dans un contexte de commande de système manufacturier, dans lequel des entités autonomes coopèrent et coordonnent leurs actions pour atteindre un but commun. Dans ce contexte, chaque entité est capable de communiquer, de décider et d'agir (i.e. envoi d'ordres). Les prises de décisions reposent également sur une base de données locale à chaque entité.

[McFarlane et al., 2002] utilisent le terme d'*intelligent product*, pour caractériser un objet communiquant dans un système manufacturier. Ils associent un ensemble de services à un produit, qui est instrumenté avec une étiquette RFID et selon les cas un système de traitement. Pour ces chercheurs un *intelligent product* est un produit possédant une identification unique, capable de communiquer, stocker des données et prendre des décisions. Ils définissent deux types de *product intelligence* [McFarlane et al. 2002] : - Le type 1 correspond à un produit capable de communiquer son état. Pour ce type le produit est orienté «information». - Le type 2 ajoute au type 1 la possibilité pour le produit d'influer sur son devenir et ses fonctions. Pour ce dernier type le produit est orienté «prise de décision».

[Bajic, 2004] a enrichi la définition initiale de [Kintzig et al., 2002] et a défini un *communicating object* comme un objet physique capable de communiquer avec son environnement, ses utilisateurs et autres objets via des technologies filaires ou sans fil. [Bajic, 2004] a également défini 4 types d'objet : objet porteur d'information, objet pointant vers une source d'information, objet producteur-consommateur de services, et objet sensible à son environnement.

D'autres travaux de recherche ont enrichi les dernières propositions de Bajic. [Cea Ramirez, 2006] a défini un *passive object* comme un producteur de services et un *active object* comme un consommateur de services. Il considère un *communicating object* comme un objet composé d'une partie physique et d'une partie informationnelle. Cette dernière partie a des capacités : mémorielle, de communication, d'action (dans le domaine informationnel) et de décision. Cea Ramirez a proposé trois types de *communicating object*. Le premier type, *Passive Communicating Object* (PCO), associe deux éléments : un produit physique et une étiquette RFID (Radio Frequency Identification). Le PCO est capable, dans son environnement, de fournir des services aux autres [Cea Ramirez et Bajic, 2005]. Le deuxième type, *Active Communicating Object* (ACO), est un produit physique auquel est attaché un dispositif de traitement et de communication. Un ACO est à la fois producteur et fournisseur de services avec en plus une capacité décisionnelle. Le troisième type, *Active Unified Communicating Object* (AUCO), associe un produit physique, un dispositif de traitement-communication, et également une capacité de perception.

Dans un contexte de stockage de produits industriels dangereux, [Dobre et Bajic, 2008] ont récemment introduit le concept d'*active product*, qu'ils décrivent comme un produit où l'information et les traitements sont supportés par le produit lui-même.

## 2.2 Synthèse

Différentes observations peuvent être faites :

- Il existe une vaste terminologie pour définir la notion de produit actif ou intelligent. En outre, la signification du terme "actif" peut différer fortement d'un auteur à un autre.
- Les propositions et modèles sont très orientés technologie.
- De nombreux modèles traitent de produits avec données statiques embarqués, mais très peu exploitent le potentiel des données dynamiques et des capacités de traitement embarqués sur le produit.
- Enfin, aucun des auteurs ne propose un modèle adapté à l'ensemble du cycle de vie du produit. Les contextes traités sont essentiellement ceux associés à la fabrication ou à l'exploitation des produits.

Afin de compenser les lacunes relevées dans l'état de l'art et synthétisées dans ce paragraphe, la partie suivante décrit le concept d'activité associée à un produit au travers des différentes phases du cycle de vie. Le concept d'agent d'augmentation est également introduit.

## 3. PROPOSITION

### 3.1 Le produit actif et son cycle de vie

Selon notre point de vue, 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. Cette activité doit être définie sur tout le cycle de vie, de la phase de conception à la phase de recyclage.

Les figures 1 et 2 ci-après illustrent l'évolution d'un produit actif versus un produit passif lors des étapes successives du cycle de vie. Dans ces figures, l'accent est mis sur la traçabilité associée au produit. Sur la figure 1, le produit est entièrement passif et «subit» les transformations successives associées aux différentes étapes du cycle de vie.

Lors de la phase d'utilisation, il répond aux sollicitations de l'utilisateur mais ce dernier est responsable du déclenchement des demandes de soutien logistique (approvisionnement, maintenance...), alors qu'un produit actif pourra prendre en charge lui-même cette requête et parfois, l'interaction avec le service de soutien lui-même. Comme illustré par la figure 2, le produit actif est à la fois offreur et consommateur de services, selon sa position dans le cycle de vie (ses interactions avec les différents systèmes traversés sont détaillées ci-après).

En ce qui concerne la traçabilité du produit, dans le cas d'un produit passif les seuls retours d'expérience sont issus des différents systèmes par lesquels le produit a transité ainsi que des utilisateurs (Flèches 1 et 2 sur la figure 1).

Le produit actif apporte un retour d'expérience supplémentaire, via les informations glanées à chaque étape du cycle de vie (flèche 3 de la figure 2). Plusieurs catégories d'informations peuvent y être distinguées :

- informations proprioceptives, permettant d'observer l'évolution de l'état interne du produit,
- informations extéroceptives, permettant d'observer quelles caractéristiques de l'environnement extérieur (températures, pressions...) ont été rencontrées par le produit,
- informations d'usage retraçant comment le produit a été utilisé lors de la phase d'utilisation (modes de fonctionnement, catégories d'utilisateur),
- informations spécifiques aux divers systèmes ayant rendu des services au produit.

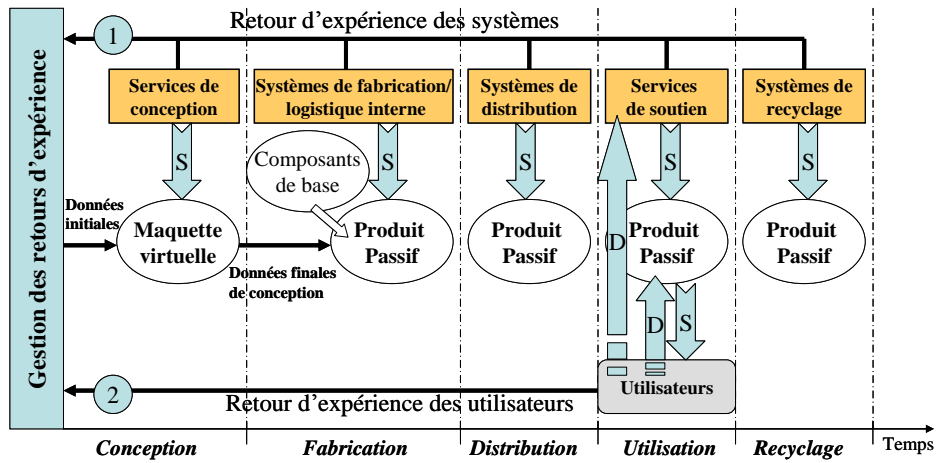


Figure 1. Cycle de vie d'un produit passif

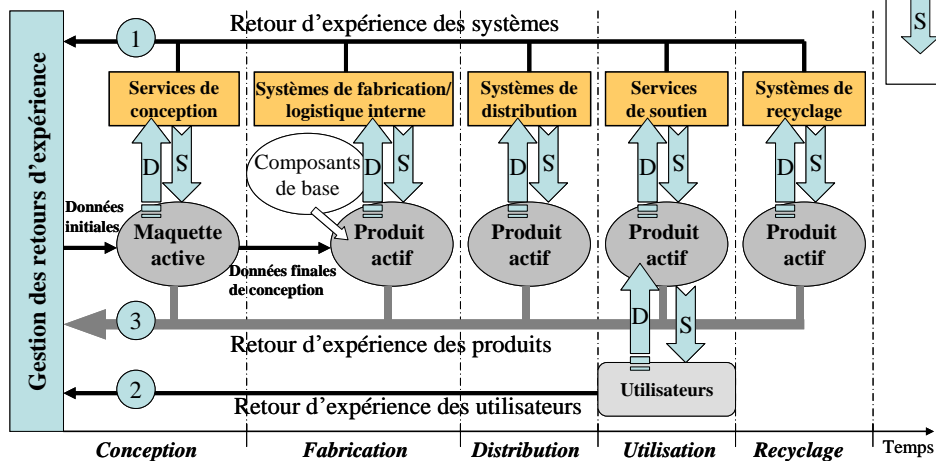
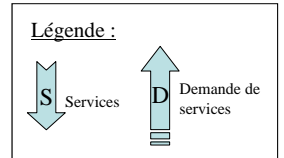


Figure 2. Cycle de vie d'un produit actif

Nous détaillons ci-après les spécificités des produits actifs selon la phase du cycle de vie considérée.

**Phase de conception :** Le concept de produit actif, classiquement considéré en phase de production ou d'utilisation, peut être extrapolé à la phase de conception. Le produit est alors considéré comme une maquette virtuelle pouvant interagir avec le processus de conception et générer des besoins spécifiques sur événements selon son état d'avancement.

Par exemple, dans le cas de la conception d'une pièce mécanique complexe, les besoins en étude CAO, en tests sur logiciel de simulation (crash, déformation, simulation dynamique) pourront être déclenchés par la maquette virtuelle qui se construit selon un canevas introduit par le concepteur.

**Phase de fabrication :** Comme explicité précédemment dans la section 2.1, le produit passif peut être rendu actif par l'utilisation des nouvelles technologies en matière d'identification et de communications sans fil. Le produit peut alors être vu comme le « contrôleur » des moyens de production [Morel et al., 2007], [Thomas et al., 2008]. Il est capable de capter les variations de son environnement, d'interagir avec le système de production (ressources humaines et matérielles), avec les autres produits et de prendre des décisions (choix des ressources qui peuvent réaliser les services dont il a besoin, choix d'un itinéraire de routage et d'un système de transport adéquat).

Par exemple, dans le cas d'un véhicule, ce dernier sera capable de stocker certaines informations caractéristiques de son

parcours dans le système de fabrication (références des ressources visitées, date de fabrication, références des composants...) de façon à enrichir les informations de traçabilité pour son usage futur ou pour reboucler (retour d'expérience) sur la phase de conception des versions suivantes du véhicule. Cette capacité constitue actuellement un enjeu fort par exemple dans le domaine ferroviaire.

**Phase de distribution :** A cette étape, les informations véhiculées par le produit actif peuvent être utilisées par les chaînes de logistique pour faciliter la gestion des stocks (possibilité d'inventaires automatiques, de détection de dates de péremption proches, de non comptabilité entre produits proches stockés, etc.).

Ainsi, dans certains cas (produits périssables ou sensibles à leur environnement), le produit peut également avoir besoin d'interagir avec son environnement lors d'opérations de transport ou de stockage.

Un exemple intéressant de telles interactions est disponible dans [Dobre et Bajic, 2008] dans le cadre du stockage de produits chimiques. Dans cette application, le produit actif (fût de produit chimique instrumenté) veille à ce que les caractéristiques de l'environnement (température, pression...) ne viennent pas altérer son intégrité. Il est également capable via une communication inter-produits de détecter la présence d'autres fûts non désirables (cause potentielle d'explosion). Si ces caractéristiques ne sont pas conformes, le produit actif peut alerter le système de distribution de façon à enclencher les mesures correctives nécessaires.

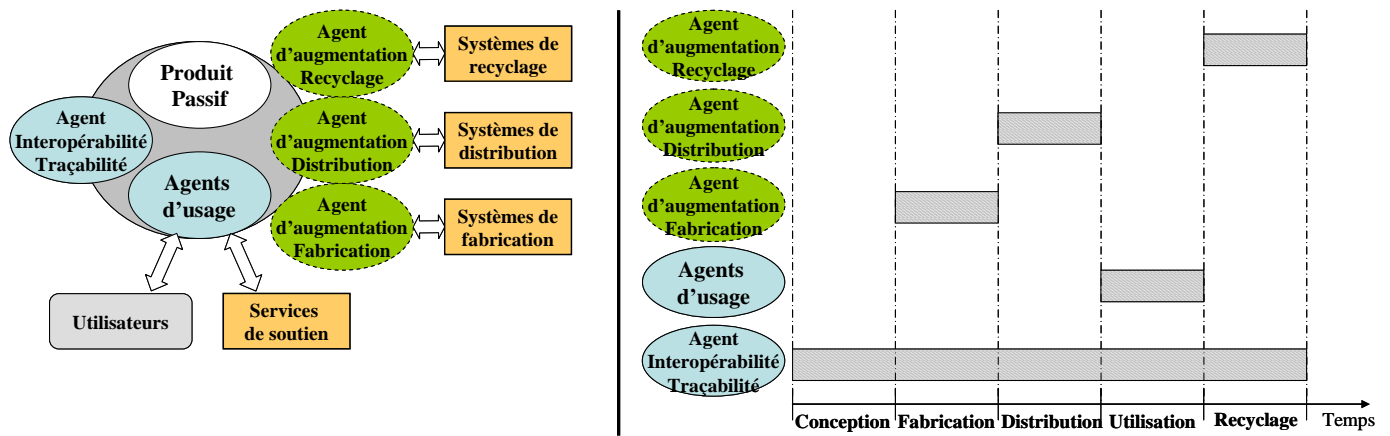


Figure 3. Agents associés au produit actif

**Phase d'utilisation :** Lors de cette étape, le produit actif n'est plus simplement consommateur de services mais devient offreur de services. Pour ce faire, il doit être capable d'interagir pleinement avec son environnement : autres produits (concept machine-to-machine) [Livre blanc M2M, 2006] et les différents utilisateurs.

Selon son état interne (informations proprioceptives), le produit actif peut demander des services à une logistique de soutien (maintenance, réapprovisionnement) lui permettant de continuer de fonctionner normalement. Le produit peut également tenir compte des conditions d'utilisation ambiante (informations extéroceptives : température, taux d'humidité...) afin d'assurer son intégrité et d'enregistrer dans un historique les conditions réelles d'utilisation. Ces dernières informations pourront être utilisées pour retracer les conditions d'utilisation et aider par exemple au diagnostic de certaines défaillances ; puis, remontées en conception ces expériences permettront d'améliorer les versions futures du produit. Cette approche est actuellement sérieusement étudiée en aéronautique pour le suivi de certains composants critiques (turbines, systèmes d'avionique).

**Phase de recyclage :** Suite à cette phase ultime, les données enregistrées par le produit actif tout au long de son cycle de vie pourront être utilisées pour la réingénierie de la nouvelle génération de produits.

Le problème de l'interopérabilité entre les différents systèmes traversés au cours du cycle de vie s'avère capital. De nombreuses recherches sont menées sur ce thème [Tursi et al., 2007]. Cet aspect ne sera pas approfondi dans cet article.

### 3.2 Concepts d'agents associés au produit actif

Dans l'approche que nous proposons (à l'exception de la phase de conception), le produit actif est vu comme un produit passif auquel sont ajoutés différents agents gérant les interactions avec les services et systèmes intervenant lors du cycle de vie (fabrication, distribution, logistique de soutien et recyclage). La figure 3 explicite ces interactions et positionne les agents par rapport aux différentes phases du cycle de vie. Trois types d'agents sont distingués :

- Les agents d'usage assurent les interactions avec les utilisateurs ainsi que les requêtes de service auprès des services de soutien logistique. Ils ne sont actifs que lors de la phase d'utilisation.

- Les agents «Interopérabilité-Traçabilité» assurent les transitions entre les différents systèmes (de production, de

distribution...) traversés lors du cycle de vie, ainsi que le retour d'expérience via les différentes informations proprioceptives et/ou extéroceptives glanées par le produit. Ces agents sont persistants tout au long du cycle de vie.

- Les agents d'augmentation jouent un rôle capital dans l'activité associée au produit en apportant une assistance temporaire lors de certaines phases du cycle de vie. Ils prennent en charge les interactions spécifiques non supportées par les agents «Interopérabilité-Traçabilité».

Par exemple, lors de la phase de fabrication, le produit étant en cours de fabrication, est incapable de gérer les interactions avec les différentes ressources de transformation ou de logistique interne. L'agent d'augmentation de fabrication (A.A.F.) prend alors en charge ces interactions et s'assure du bon déroulement des opérations de la gamme associée au produit, de la réservation des ressources adéquates et du routage du produit vers ces ressources.

La figure 4 explicite l'utilisation de ces agents. Un A.A.F. est affecté à chaque produit entrant dans le système de fabrication et reçoit de la part des agents «Interopérabilité-Traçabilité» (A.I.T.) les données de conception qui peuvent lui être utiles. A l'issue de la fabrication, les informations acquises par l'A.A.F. lors de l'exécution de ses tâches viennent enrichir le retour d'expérience du produit. Une fois leur tâche d'assistance terminée, les A.A.F. sont recyclés au profit d'autres produits. Un parallèle intéressant peut être dressé entre la notion d'A.A.F. et le concept de Kanban. Le lecteur est renvoyé à [Thomas et al., 2008] qui traite d'implémentation de produits actifs dans un contexte de juste à temps.

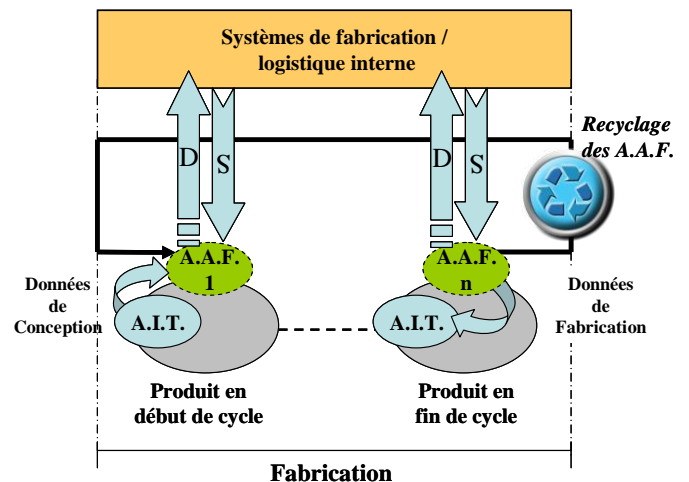


Figure 4. Utilisation des A.A.F.

### 3.3 Illustration du concept d'A.A.F. : proposition d'un modèle

A titre illustratif de la section précédente, cette partie se focalise sur la mise en œuvre d'un agent d'augmentation lors de la phase de fabrication au travers d'un modèle applicatif. Comme vu précédemment, dans le cas de la fabrication, un produit actif est obtenu en associant un agent d'augmentation à un produit passif. Cet agent d'augmentation peut être distant [Morel et al., 2007], [Pannequin et al., 2008] ou associé physiquement au produit.

Dans le premier cas, chaque produit a uniquement besoin d'être identifié pour être pris en charge par un système de décision extérieur (dans un contrôleur central tel qu'un automate programmable).

Dans le second cas (association physique), cet agent est implanté sur un contrôleur embarqué adjoint au système support du produit (par exemple, une palette) lors des opérations de transitique. Le modèle de l'agent d'augmentation est représenté sur la figure 5 ci-après. L'implémentation de cet agent via un contrôleur embarqué est illustré figures 7 et 8.

L'agent d'augmentation de fabrication (A.A.F.) 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, l'identificateur (ID) du produit, la gamme de fabrication issue de la phase de conception peuvent être distingués. Comme vu précédemment, ces données sont transmises par les agents «Interopérabilité-Traçabilité» au début de la phase de fabrication. Comme exemple de données dynamiques, le WIP (work-in-progress) concernant le produit, la liste des ressources visitées peuvent être citées.

- **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 l'A.A.F. et le produit (interactions proprioceptives), soit entre l'A.A.F. et l'environnement informationnel et / ou physique (interactions extéroceptives).

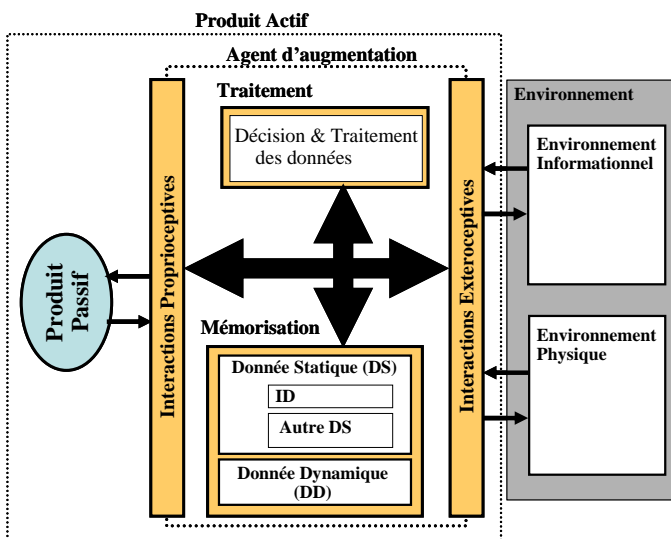


Figure 5. Modèle d'A.A.F.

## 4 VALIDATION DE NOTRE PROPOSITION

Nous nous proposons de valider dans cette partie le modèle illustratif d'A.A.F. détaillé dans la partie 3.3, ce qui correspond, rappelons le, à la phase de fabrication dans le cycle de vie du produit. L'apport du concept d'A.A.F. pour la résolution des problèmes d'allocation et de routage dans un système de production a été détaillé dans [JESA ou CII]. Dans ce papier, nous nous intéressons uniquement à la problématique du routage de deux types de produits (passif et actif). Nous avons choisi à cet effet une approche stigmergique qui permet non seulement un routage dynamique exploitant les capacités d'augmentation du produit actif, mais qui s'adapte également à la charge du réseau de transport et aux événements qui peuvent survenir. A titre de comparaison expérimentale, cette approche ne sera pas utilisée dans le cas du produit passif qui sera par conséquent «routé» selon des itinéraires statiques.

### 4.1 Approche adoptée pour le routage

L'approche de routage proposée dans ce papier s'inspire du concept de stigmergie, reposant sur un marquage de l'environnement et classiquement utilisé par de nombreux systèmes biologiques telles que les colonies de fourmis [Dorigo et Stützle, 2004].

La cellule flexible peut être représentée par un graphe sur lequel les produits actifs transitent, nœud après nœud, depuis un nœud source jusqu'à un nœud destination. Arrivé à un nœud où une décision de routage doit être prise, le produit actif choisit le prochain nœud par lecture d'une table de routage qui indique le meilleur chemin à suivre jusqu'à la destination. Par analogie avec les systèmes biologiques, les coefficients de la table de routage sont représentatifs des taux de phéromone sur les différents arcs du graphe. Durant son déplacement, chaque produit actif enregistre son historique de parcours (succession des nœuds traversés et dates correspondantes). Comme les fourmis, qui déposent une trace de phéromones quand elles retournent au nid, chaque fois qu'un produit actif atteint le nœud destination, son historique de parcours est utilisé pour mettre à jour les coefficients de routage (phéromones virtuelles) des différents nœuds parcourus. Pour plus de détails sur ce type de routage, le lecteur peut consulter [Sallez et al., 2009].

### 4.2 Contexte expérimental

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 [Montech, 2008]. 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.

L'expérimentation se focalise sur la partie droite de la cellule (nommée zone cible sur la figure 6) comportant onze nœuds :

- N1, N4, N6, N8 et N11 (en blanc) sont les nœuds/stations ou différents services peuvent être obtenus. Ils constituent les nœuds destinations possibles.

- N2, N3, N5, N7, N9 et N10 (en gris) sont des transferts divergents, utilisés pour aiguiller les navettes sur les rails choisis. La décision de routage est prise en exploitant les informations disponibles à ces emplacements.

Les autres transferts ne sont pas pris en compte. Ils sont uniquement utilisés pour relier des rails convergents, et aucune prise de décision n'y est requise.

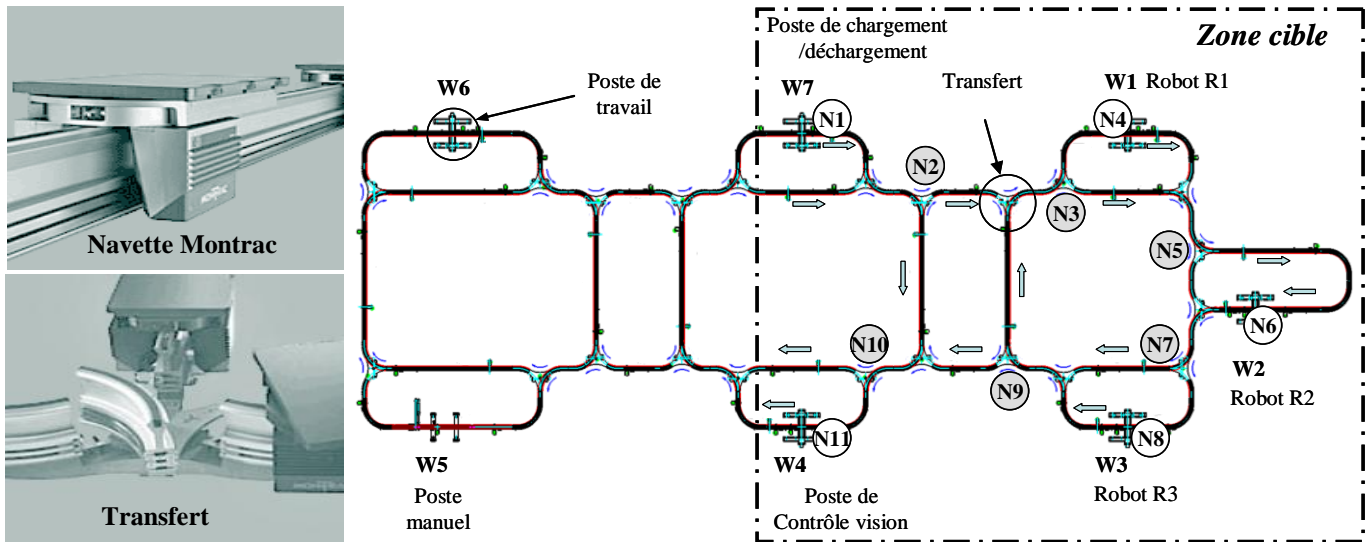


Figure 6. Description de la cellule expérimentale

#### 4.3 Instrumentation

Dans notre mise en œuvre, le produit passif a été transformé en produit actif par ajout d'un A.A.F. embarqué (voir la figure 7). L'A.A.F. est supporté par un assistant personnel digital (PDA avec processeur Intel, communication infrarouge IrDA et système d'exploitation Windows Mobile).

Une décision de routage doit être prise à chaque nœud divergent, instrumenté à l'aide d'un contrôleur et de deux systèmes de transmission de données. Le contrôleur Wago 750-841 du nœud [Wago, 2008] gère le transfert associé afin d'éviter les collisions. Il met également à jour la table de routage utilisé par le produit actif (phéromones virtuelles associées aux arcs sortant du nœud).

Les systèmes de transmission reposent sur Ethernet pour les échanges de données de nœud à nœud et sur un système infrarouge IrDA pour la communication entre nœud et produit actif. (système esb-101 [Clarinet, 2008]).

La technologie infrarouge a été retenue pour sa basse consommation d'énergie, son haut débit de transfert de données (plus de 100 Ko/secondes) et sa courte portée qui permet la localisation géographique des produits qui se trouvent en face des nœuds.

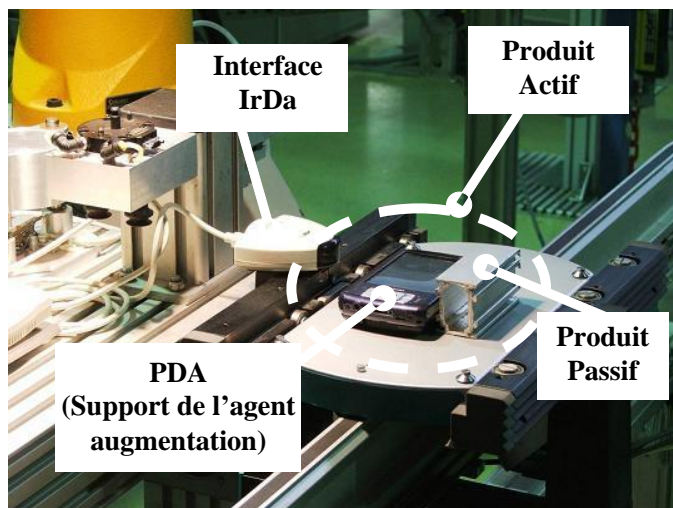


Figure 7. Produit et A.A.F. embarqué

#### 4.4. Interaction entre produit actif et contrôleurs de nœuds

La figure 8 illustre les interactions entre un produit actif et les contrôleurs de nœuds.

Quand un produit actif arrive à un nœud de routage, il communique avec le contrôleur du nœud au moyen du système IrDA Clarinet. Plusieurs étapes se succèdent:

- 1/ Le produit actif transmet le temps qu'il a mis pour transiter du nœud précédent au nœud actuel.
- 2/ Le contrôleur de nœud transmet ce temps aux autres contrôleurs de nœuds.
- 3/ Chaque contrôleur de nœud met à jour sa table de routage en modifiant les phéromones virtuelles associées aux arcs reliant aux nœuds voisins.
- 4/ Les valeurs de la table de routage sont transmises au produit actif, qui choisit alors le meilleur voisin.
- 5/ Le produit actif demande au contrôleur de nœud un service de routage (aiguillage) vers le voisin choisi.
- 6/ Le contrôleur de nœud positionne le transfert selon le choix réalisé à l'étape 5.

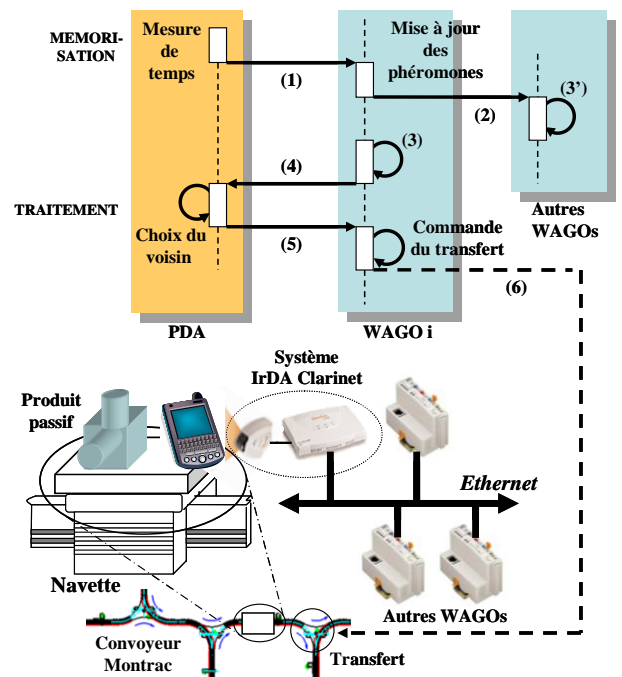


Figure 8. Interactions entre produit et contrôleur de nœud

#### 4.5. Algorithme de routage du produit actif

Dans nos expérimentations, N1 et N11 sont respectivement les nœuds source et destination pour le routage des produits. Au sein de chaque produit actif, l'algorithme stigmergique a été utilisé pour élaborer le meilleur itinéraire (c'est-à-dire, le chemin ayant la durée de parcours la plus courte) en exploitant les valeurs des phéromones virtuelles associées aux arcs du graphe de routage. Pour les produits passifs, une liste statique de nœuds à visiter est introduite et tient lieu d'itinéraire fixe.

Le premier scénario constitue le cas de référence. Une liste statique de nœuds est utilisée et aucune perturbation n'est introduite. Pour le deuxième scénario, le routage statique est maintenu mais une perturbation est introduite (par exemple un goulot d'étranglement, ralentissement, panne) qui affecte la fluidité du chemin N2-N10 au temps  $\tau$ . Dans le troisième scénario, un routage dynamique reposant sur l'approche stigmergique est utilisé en présence de la même perturbation que dans le scénario 2.

Pour le cas de référence (avec un routage statique), la liste des nœuds à emprunter est [N1-N2-N10-N11]. Les produits passifs transitent par ce chemin en 10 unités de temps. Nous analysons alors les résultats des scénarios 2 et 3 illustrant le comportement d'un produit passif et d'un produit actif face à la perturbation.

Dans le second scénario, le routage est statique et ne prend pas en compte la perturbation sur l'arc N2-N10 (ralentissement de 40 unités de temps). Par conséquent, les produits passifs empruntent systématiquement le même chemin altérant ainsi l'efficacité du processus de routage.

Dans le scénario 3, la table de routage associée à chaque contrôleur de nœud est mise à jour par l'algorithme de renforcement présenté précédemment et exploitant le temps de parcours mesuré entre N2 et N10. Selon le principe décrit par la figure 8, le produit actif se déplace de nœud en nœud sur le chemin alternatif [N1-N2-N3-N5-N7-N10-N11]. En conséquence, lors d'une perturbation, seul le premier produit actif affecté se trouve retardé; les autres produits actifs prennent en compte la perturbation sur l'arc N2-N10 et choisissent le chemin alternatif pour atteindre leur destination. Le produit actif emprunte de nouveau le chemin [N1-N2-N10-N11] quand un événement externe informe les contrôleurs de nœuds que la perturbation a cessé.

Les figures 9 et 10 ci-dessous illustrent les résultats obtenus par simulation (temps de parcours, chemins empruntés) pour les différents cas étudiés. Pour plus de détails sur le simulateur utilisé et une analyse plus poussée des résultats obtenus, le lecteur est renvoyé à l'article [Sallez et al., 2009].

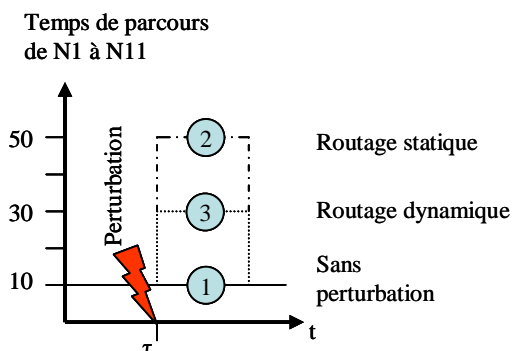


Figure 9. Temps de parcours

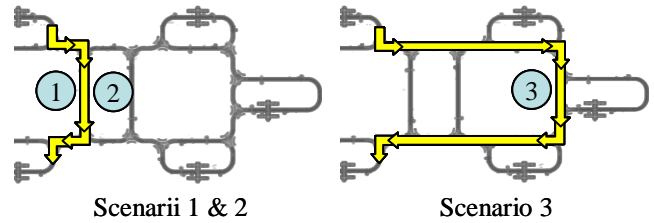


Figure 10. Chemins empruntés

#### 4.6. Conclusions issues des expériences

En termes de commande, les avantages du système proposé sont les suivants:

- Le produit actif est capable de trouver un chemin alternatif efficace plus facilement en utilisant une approche de routage dynamique, apportant plus de réactivité au système.
- La prise de décisions locale sans aucun point centralisé de contrôle rend le système plus robuste face aux perturbations.
- L'ajout d'un nouveau nœud se solde simplement par l'ajout d'un contrôleur, d'un système de communication IrDA et par leur connexion au réseau, améliorant ainsi la scalabilité du système.
- Puisque chaque produit actif peut être localisé précisément à l'aide des systèmes IrDA, aucun système de localisation global n'est nécessaire.

### 5. PERSPECTIVES

Nos futurs travaux de recherche s'orientent vers une étude plus approfondie des interactions des produits actifs via l'agent d'augmentation pour élaborer une commande efficace. Par exemple ; une approche de commande classique est d'utiliser le protocole contract-net [Smith, 1980] pour intégrer des mécanismes de négociation dans un produit actif. Cependant, une approche aussi classique n'exploite pas toutes les fonctionnalités potentielles d'un produit actif dans un contexte d'intelligence ambiante. Nous travaillons actuellement sur une idée plus innovatrice appelée «l'Open control» associant une approche classique de commande explicite avec un nouveau type de commande, intitulé commande implicite [INCOM Sallez et al, 2009].

Dans ce dernier type de commande, les entités actives ne sont pas contrôlées directement, mais sont sous l'influence de leur environnement et des autres entités d'une manière hétéroarchique. Cette approche implicite devrait permettre une meilleure exploitation du potentiel des agents d'augmentation. Cependant, cette approche pose de nouveaux défis puisque deux sortes de contrôle doivent maintenant être gérés et intégrés dans un plus grand paradigme de commande. Par conséquent, les approches traditionnelles ayant l'habitude d'évaluer et de valider des architectures de commande en utilisant l'analyse et les outils de simulation doivent être revues pour prendre ces nouveaux comportements en considération. L'implémentation de ces nouvelles architectures pourra exploiter pleinement les progrès récents en infotronique et mécatronique, voir ceux des nanotechnologies. Les dernières avancées dans ce dernier domaine permettent en effet d'envisager une intégration plus forte de capteurs ou d'actionneurs au sein même de la structure du produit.

### 6. CONCLUSION

Le but de ce papier était de présenter une nouvelle approche de management du cycle de vie d'un produit en le rendant actif. Notre examen de la littérature dans le domaine des produits actifs a mis en évidence le manque d'un modèle générique et

d'une définition claire du terme de produit actif. Différents types d'agents ont été proposés pour répondre aux spécificités de chaque phase du cycle de vie du produit. Nous avons ensuite focalisé notre étude sur la phase de fabrication. La mise en œuvre d'un produit actif se fait à ce niveau via un agent d'augmentation de fabrication associé au produit passif incluant trois fonctionnalités principales (la mémorisation, le traitement et l'interaction). Notre modèle a été validé par des expérimentations portant sur le routage dynamique de produits actifs en cours de fabrication dans la cellule flexible du pôle AIP-Primeca à Valenciennes. Quelques perspectives de recherche ont également été introduites visant à étudier les interactions des produits actifs.

Nous avons montré que le concept de produit actif permet d'accroître l'adaptation aux événements dans le cas du routage et d'améliorer sensiblement la traçabilité des produits en distribuant aux produits actifs le rôle de collecte des informations de suivi de production. Cela rend la traçabilité plus précise, plus exhaustive et finalement, plus aisée à réaliser. Cela permet également de décharger les couches de supervision (MES) de cette tâche en la distribuant à chacun des produits actifs en cours de fabrication. Enfin, en cas de panne globale, la ré-initialisation est facilitée par l'interrogation des données embarquées des produits afin d'identifier l'état et la localisation des encours.

## 7. RÉFÉRENCES

Bajic, E., (2004) Ambient Networking for intelligent objects management, mobility and services. *Seminar Institut For Manufacturing – IFM*, University of Cambridge, Angleterre, 2 Avril.

Brun Picard, D., Bouvet, H., Baboli, H., Binder, Z., (1997) The product as an active element of distributed production control. *IFAC-IFIP-IMACS Conference*, Belfort, France, 20-22 Mai.

Cea Ramirez, A., (2006) Contribution à la Modélisation et à la Gestion des Interactions Produit-Processus dans la chaîne logistique par l'Approche Produits Communicants. Thèse du Centre de Recherches en Automatique de Nancy, 18 Juillet.

Cea Ramirez, A., Bajic, E., (2005) Service Modeling for Intelligent Products in the Supply Chain''. *ICPR 18 –18th International Conference on Production Research*, Fiasciano, Italie, 31 Juillet-04 Août.

Clarinet System, Network Connectivity for Mobile Devices, (2008) <http://www.clarinetsys.com>

Dobre, D., Bajic, E., (2008) Active product modeling for chemical security management based on smart object concept. *7th Francophone Conference of Modélisation and SIMulation - MOSIM'08*, Paris, France, 31 mars-2 avril.

Dorigo, M., Stützle, T., (2004) *Ant Colony optimization*, The MIT Press.

Kintzig, C., Poulain, G., Privat, G., Favennec, P. (2002) *Objets Communicants*. HermesScience''. *France Télécom R&D et Lavoisier*, Paris. Livre blanc "Machine to Machine" (2006) co-dirigé par la FING, Syntec Informatique et France Télécom, mars

Mattern, F., (2003) From Smart Devices to Smart Everyday Object. *Proceedings of SOC'2003 (Smart Objects Conference)*, Grenoble, France.

McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C.Y., Ashton, K. (2002) The intelligent product in manufacturing control and management. *15th Triennial World Congress*, Barcelona, Spain.

Montech Technology, Conveyor systems (2008) <http://www.montech.com>

Morel, G., Valckenaers, P., Faure, J.M., Pereira, C.E., Diedrich, C., (2007) Manufacturing plant control challenges and issues. *Control Engineering Practice* 15, pp.1321-1331.

Pannequin, R., Thomas, A., Morel, G., (2008) Proposition d'un environnement d'évaluation pour la mise en œuvre d'un pilotage par le produit. *7th Francophone Conference of Modélisation and SIMulation - MOSIM'08*, Paris, France, 31mars-2 avril.

Sallez, Y., Berger, T., Trentesaux, D., (2009) A stigmergic approach for dynamic routing of active products in FMS. *Computers in Industry*, 2009.

Sauer, O., (2008) Automated engineering of manufacturing execution systems – A contribution to "adaptativity" in manufacturing companies. *Proceedings of DET2008 - 5th International Conference on Digital Enterprise Technology*, Nantes, France, 22-24 Octobre.

Smith, R.G., (1980) 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.

Thomas, A., Klein, T., El Haouzi H., Belmokhtar S., (2008) Architecture de systèmes contrôlés par le produit pour un environnement en juste à temps. *7th Francophone Conference of Modélisation and SIMulation - MOSIM'08*, Paris, France, 31mars-2 avril.

Tursi, A., Panetto, H., Morel, G., Dassisti, M., (2007). Ontology-based products information interoperability in networked manufacturing enterprises. *Proceedings of the IFAC Conference on Cost Effective Automation in Networked Product Development and Manufacturing, IFAC-CEA'07*, Monterrey, Mexico, 2-5 Octobre.

Wago system, innovative connections (2008) <http://www.wago.com>

JESA