



**HAL**  
open science

## Nouvelles Approches d'Automatisme pour les OEM

Mady Guillemot, Arnaud Lelevé, Didier Noterman

► **To cite this version:**

Mady Guillemot, Arnaud Lelevé, Didier Noterman. Nouvelles Approches d'Automatisme pour les OEM. JOURNEES INNOVATION TECHNOLOGIQUE JIT'2009, Oct 2009, Hammamet, Tunisie. hal-00432576

**HAL Id: hal-00432576**

**<https://hal.science/hal-00432576>**

Submitted on 1 Jun 2012

**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.

## **Nouvelles Approches d'Automatisme pour les OEM**

GUILLEMOT M., LELEVE A., NOTERMAN D.

LIESP – INSA Lyon

21 rue J. Capelle – Bat L. de Vinci

+33(0)4.72.43.60.47 / +33(0)4.72.43.79.92

Email: {arnaud.leleve, mady.guillemot, didier.noterman}@insalyon.fr

**Résumé** – Les enjeux économiques pour les constructeurs de machines (OEM : Original Equipment Manufacturer) reposent sur leur capacité à diminuer les délais de conception, notamment en favorisant la réutilisabilité de leurs développements et en capitalisant les savoir-faire.

A la différence des grands groupes qui intègrent des bureaux d'études d'automatisme, les OEM sont essentiellement des PME dont les compétences sont plutôt mécaniciennes et centrées sur la commande d'axe, l'objectif visé étant la performance. La programmation des systèmes de commande devra donc tendre à minimiser la génération de code et à privilégier le paramétrage de composants métier stockés en bibliothèques.

Le présent article vise à montrer comment les nouveaux ateliers logiciels permettent d'avoir une approche de conception de la commande et du pilotage en adéquation avec le besoin des OEM.

A partir de l'approche « composant d'automatisme » qui en découle, nous tenterons de jeter les bases d'une méthodologie de conception inspirée du langage de modélisation des systèmes complexes SysML.

**Mots clés** : commande système / composant d'automatisme / modélisation / SysML

---

## 1 Introduction

La mondialisation offre aux concepteurs que sont les constructeurs de machine de nouvelles opportunités de développement que seules limitent leur capacité d'innovation et la mise en concurrence avec les autres compétiteurs. Dès lors, la maîtrise globale des coûts et des délais tout au long des étapes du cycle de vie de la machine (conception, mise en route et exploitation) constitue un facteur clé de succès.

Le présent article s'intéressera principalement aux nouvelles approches des automatismes au cours de la phase de conception et plus spécifiquement :

- à l'apport des nouveaux ateliers logiciels favorisant une collaboration inter-métiers et permettant une meilleure intégration des différents outils dans le développement d'un projet,
- à l'étude d'une méthodologie adaptée et inspirée de l'ingénierie système et ayant recours à SysML, langage de modélisation des systèmes complexes.

Un exemple de réalisation appliqué à la commande et au pilotage d'un atelier de conditionnement de piluliers illustrera ce processus.

## 2 Approche fonctionnelle et "Composant d'Automatisme"

Les constructeurs de machines (OEM : Original Equipment Manufacturer) sont essentiellement des PME dont les compétences sont plutôt mécaniciennes et centrées sur la commande d'axe, l'objectif visé étant la performance machine. La composante mécanique de leur bureau d'étude a depuis longtemps adopté la conception modulaire en intégrant tout d'abord les outils CAO puis évolué vers le PLM (Product Lifecycle Management) afin de satisfaire les exigences de flexibilité et d'évolutivité [1].

En revanche la composante automation du bureau d'étude conserve une approche plus monolithique fondée principalement sur l'analyse des modes de marche et des standards de programmation empiriques. Aujourd'hui les ateliers logiciels proposés par les grands offreurs permettent de combiner structuration et réutilisabilité tout en favorisant la conception collaborative et l'interpénétration des différents métiers associés à la conception.

### 2.1 Approche traditionnelle

Le développement d'un système d'automatisation se décompose en phases successives d'analyse, de conception, puis de réalisation. L'avancement du

projet peut être représenté par un diagramme en V (voir figure 1) qui exprime la progression et l'enchaînement des différentes étapes depuis l'expression du besoin jusqu'à la mise en service [2].

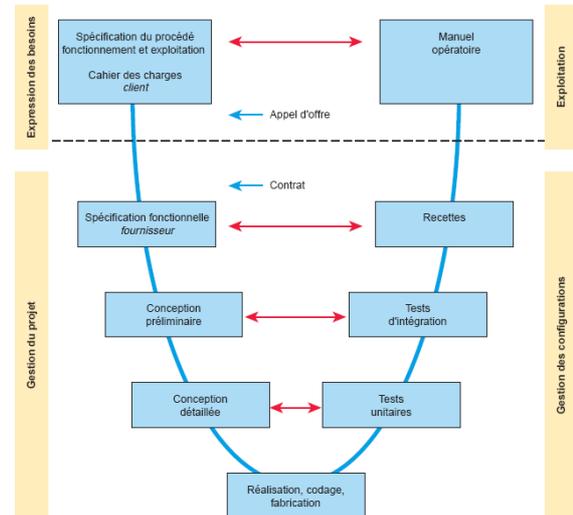


Figure 1. Diagramme du Cycle en V

Le travail d'analyse du bureau d'étude consiste à identifier les fonctions du système d'automatisation tout en mettant en évidence les différents fonctionnements (normal, initial, en reprise d'exploitation...) et leurs transitions associées à partir du cahier des charges qui, en général, ne décrit que le fonctionnement nominal.

Il résulte de cette approche une vision purement automatique et centrée sur l'étude des différents modes de marche.

Sur le plan méthodologique cette démarche s'appuie sur des outils et guides tels que le GEMMA et le GRAFCET et il résulte de cette analyse descendante une structure de commande hiérarchisée indépendante de la programmation et une représentation fonctionnelle synthétique qui facilite la compréhension et dont le comportement est facilement interprétable.

Le codage est ensuite réalisé au moyen d'un ou plusieurs des langages de la norme IEC 61131.3. L'utilisation du SFC (Sequential Function Chart) permet de conserver la structuration et facilite la mise au point et le dépannage.

En revanche chaque analyse est dédiée, une nouvelle application nécessite une reprise globale de l'étude. Il n'y a **pas de réutilisabilité**.

Par ailleurs, cette démarche s'accommode mal des systèmes automatisés répartis, qui sont de plus en plus modulaires et communicants, et est mal

adaptée à la remise à niveau d'installations industrielles existantes.

## 2.2 Approche Composant d'Automatisme

L'approche Composant d'Automatisme s'appuie sur une méthodologie structurant un équipement en sous-ensembles opératifs. L'analyse fait apparaître deux découpages majeurs:

- le découpage physique.
- le découpage fonctionnel.

Un Composant d'Automatisme est représentatif, aussi bien d'un ensemble opératif de l'équipement à automatiser (actionneur, capteurs associés, ...) que d'un module fonctionnel de commande.

Un Composant d'Automatisme est générique (issu d'une bibliothèque standard ou spécifique) et peut faire l'objet d'une spécialisation. Il répond à deux besoins:

- la **réutilisabilité** ; il permet de capitaliser le savoir faire et de le rendre réutilisable,
- la **structuration** ; il complète les méthodes d'analyse descendante traditionnelles par des approches montantes (bottom - up).

Issu de l'approche objet des informaticiens, il en possède les avantages et propriétés : notion de classe, héritage, instanciation, agrégation permettant l'association des objets, ... . Enfin, par nature, le Composant d'Automatisme est autonome sur le plan fonctionnel et multi-facettes. Par exemple on pourra associer à un même composant une facette CAO mécanique, une facette CAO électrique, une facette nomenclature, une facette commande ou encore IHM pour sa conduite.

La figure 2 illustre ce propos en représentant un Composant d'Automatisme au travers de ses différentes facettes [3].

### Figure 2. Composant d'Automatisme multi-facettes

Par ailleurs, l'unicité du découpage fonctionnel contribue à favoriser la collaboration inter-métiers, chaque facette étant associée à un éditeur ou configurateur spécifique.

Enfin, le concept de composant archivable contribue à codifier et capitaliser le savoir faire de l'entreprise.

## 2.3 Nouveaux métiers du bureau d'étude

De nouveaux profils métiers apparaissent dans les bureaux d'études pour tendre vers des organisations telles que celle représentée à la figure 3.

### Figure 3. Nouveaux métiers du bureau d'étude

Les **spécificateurs métiers** définissent les composants, leurs interfaces et les structures de données.

Les **prototypeurs** écrivent ou codent les facettes des composants et réalisent les tests unitaires

L'**administrateur** qualifie les composants et gère les bibliothèques.

Les **architectes de solutions**, au contact des utilisateurs finaux, définissent l'architecture des applications et réalisent l'intégration. Les développements spécifiques réalisés au cours des projets peuvent venir enrichir les bibliothèques de composants métiers.

Ces nouvelles organisations, préconisées par de grands offreurs de solutions d'automatisme, favorisent la capitalisation des savoir-faire de l'entreprise et contribuent ainsi à sa pérennité et sa réactivité.



## Approche méthodologique en Ingénierie Système : SysML

L'ingénierie système (IS) est une démarche méthodologique pour maîtriser la conception des systèmes et produits complexes. C'est une approche interdisciplinaire où les métiers concernés ont recours depuis longtemps à des techniques de modélisation. Depuis les années 80 différentes solutions ont été utilisées telles que SADT, SART ainsi que des méthodes fondées sur les réseaux de Petri ou les machines à états finis.

A la fin des années 90, la communauté logicielle a adopté un formalisme de modélisation unifié : UML (Unified Modeling Language). Ce langage proposait dès sa première version des diagrammes indispensables à l'ingénierie système (diagrammes de cas d'utilisation, de séquence, d'activité, ...) qui ont été complétés et améliorés avec la nouvelle version UML2 [4]. Toutefois, la coloration trop « informatique » alliée à l'absence de cadre méthodologique (UML est un outil pas une méthode) n'ont pas permis à ce langage de s'imposer dans le domaine de la conception des systèmes automatisés.

### 3.1 SysML

Fortement inspiré de la version 2 d'UML et récemment adopté par l'OMG (Object Management

Group) SysML est dédié à la problématique de la conception des systèmes complexes.

SysML propose 9 types de diagrammes répartis en 3 catégories :

- quatre diagrammes comportementaux :
  - diagramme d'activité
  - diagramme de séquence
  - diagramme d'états
  - diagramme de cas d'utilisation
- un diagramme transverse : le diagramme d'exigences
- quatre diagrammes structurels :
  - diagramme de définition de blocs
  - diagramme de bloc interne
  - diagramme paramétrique
  - diagramme de package

La figure 4 donne une représentation des 9 types de diagrammes selon leur catégorie.

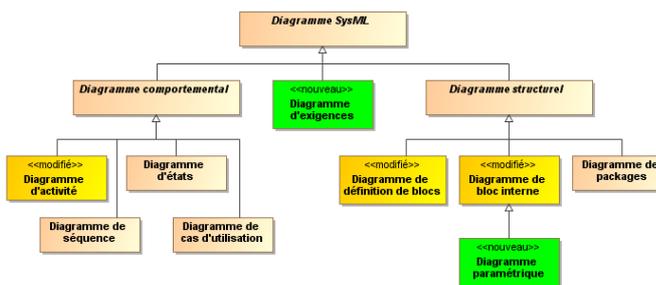


Figure 4. Les 9 types de diagrammes SysML

Parmi les principaux apports de SysML dans la conception des systèmes de production, on peut notamment citer le diagramme des exigences. Il reprend la notion classique de spécification fonctionnelle en la raffinant. Il permet de préciser les fonctions que le système devra satisfaire, leur niveau de performance, de fiabilité, de sécurité, .... Dans la phase de validation, il contribue à élaborer le cahier de recette du système [5].

Un autre majeur de SysML réside dans la définition des diagrammes structurels et notamment les diagrammes de bloc interne et de définition de blocs. Le diagramme de définition de blocs décrit la hiérarchie du système et la classification système, sous-système, composant et permet de mettre en œuvre les propriétés de composition, d'agrégation ou d'association définies dans le concept objet de Composant d'Automatisme.

Le diagramme de bloc interne décrit lui la structure interne des composants. Il permet également de décrire la logique de connexion entre blocs au travers de leurs ports. On peut distinguer des « flow

port » dédiés aux flux physiques auxquels sont associées les données entrant/sortant dans le système (données numériques, entrées/sorties physiques, ...) et les « ports standards » décrivant les collaborations et services entre blocs (Hand-shaking).

Grace à ces diagrammes, on sépare les spécifications en deux mouvements distincts [6]:

- une Analyse Objet Montante (AOM) ne se préoccupant pas du contexte mais se concentrant sur la spécification d'entités élémentaires,
- une Analyse Objet Descendante (AOD) pour la réalisation de projets et réutilisant les composants mis en bibliothèque.

Cette approche est illustrée par le schéma de la figure 5.

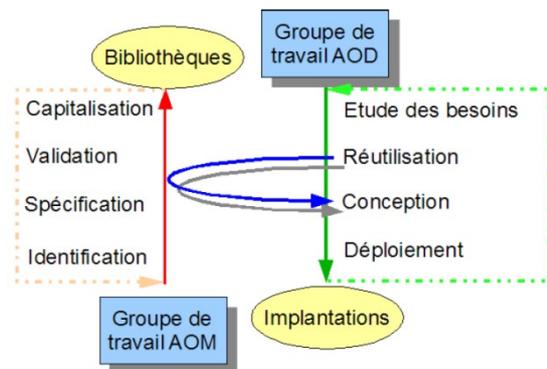


Figure 5. Processus d'analyse bidirectionnel

## Exemple de réalisation

### 4.1 Présentation de la plate-forme



La plate-forme sur laquelle a été déployé le concept de Composant d'Automatisme se situe au Département de Génie Électrique de l'INSA de Lyon. Elle est dédiée au conditionnement de pilules dans des piluliers.

L'îlot de production, présenté à la figure 6, est constitué de deux convoyeurs en anneau. Sur le petit anneau circulent des palettes vides sur lesquelles vont être chargés des petits ou grands piluliers en fonction des ordres de fabrication (OF) lancés depuis le pupitre de dialogue opérateur.

Les palettes ainsi chargées sont envoyées sur l'anneau principal et passent sur les différents postes de travail permettant le remplissage des piluliers, leur bouchage, le contrôle par système de vision et la reprise manuelle en cas

de défaut constaté. Les palettes sortent enfin sur le petit anneau afin d'y être déchargées.

**Figure 6.** Chaîne de conditionnement de piluliers

Le suivi des palettes et des OF est effectué au moyen d'un système RFID (Radio Frequency IDentification) comprenant des stations de lecture/écriture reliées à un réseau Modbus et des étiquettes fixées sur les palettes.

La chaîne est connectée à un magasin rotatif assurant le stockage de casiers dans lesquels sont rangés les piluliers vides pour l'alimentation de la chaîne, mais également les piluliers pleins, issus de la cellule de production. Un convoyeur aérien permet de faire circuler les casiers entre le magasin rotatif et le poste de chargement/déchargement.

Le chargement/déchargement des piluliers sur les palettes est fait par un robot 3 axes de la société Schneider- Electric. L'axe Z est équipé de deux types de préhenseurs pneumatiques, l'un permettant la prise des casiers et l'autre, la prise des piluliers. La figure 7 donne l'allure du robot portique 3 axes utilisé.

**Figure 7.** Robot trois axes

L'interface Homme-Machine de l'îlot de production est réalisé par un pupitre de dialogue opérateur tactile Magelis dont les écrans graphiques de conduite ont été développés au moyen du logiciel VijéoDesigner.

Le concept de Composant d'Automatisme a tout d'abord été déployé sur le poste de chargement/déchargement des piluliers. La commande programmée gérant ce poste est implémentée dans un contrôleur M238 de la société Schneider Electric, premier constituant d'une gamme de produits destinés à équiper des machines.

Ce poste se situe à l'interface entre le robot 3 axes et le petit anneau. Sur le petit anneau doivent être gérés l'arrêt sur chaîne où les piluliers sont chargés sur les palettes et l'aiguillage petit anneau/anneau principal ainsi que l'écriture d'informations de production sur la palette.

Le contrôleur assure via un réseau CANopen, la commande :

- des trois variateurs de vitesse Lexium du robot,
- des actionneurs pneumatiques situés sur le petit anneau et sur l'axe Z connectés via des terminaux de distribution Festo,

et la lecture/écriture des informations sur les étiquettes RFID au travers d'un réseau Modbus (voir l'architecture réseau représentée figure 8).

L'interface Homme-Machine est également connecté sur le contrôleur via une liaison série implémentant le protocole Codesys (voir l'architecture réseau représentée figure 8).

**Figure 8.** Architecture réseaux

La plate-forme logicielle utilisée est l'atelier SoMachine de Schneider-Electric intégrant les langages de programmation de la norme IEC 61131-3 et adapté à la programmation orientée objet.

Faisant partie de l'offre d'automatisme orientée vers les constructeurs de machines au même titre que le M238, il contient également des bibliothèques d'objets ciblant les métiers de l'emballage et du convoyage.

Cet outil permet non seulement le développement de la commande, mais également des écrans de conduite associés. Ainsi les composants identifiés sont actuellement caractérisés par ces deux facettes.

## 4.2 Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle a été faite en expérimentant une méthodologie inspirée d'UML et de SysML. Le système a été déterminé comme étant constitué du robot et de tous les composants du petit anneau.

Les acteurs principaux identifiés comme interagissant avec le système sont l'opérateur et les palettes.

Le découpage physique et fonctionnel du système et l'Analyse Objet Descendante ont fait apparaître cinq composants d'automatisme qui sont :

- les trois postes de la partie opérative : le robot, l'arrêt sur chaîne et l'aiguillage,
- l'interface Homme-Machine,
- le système RFID.

Quatre cas d'utilisation ont été identifiés, correspondant à quatre modes de marche différents : l'initialisation, la marche automatique, la marche d'arrêt et la marche manuelle.

Le système peut être modélisé par la représentation de la figure 9.

Figure 9. Modélisation du système

Les modes de marche ont été spécifiés pour chacun des cinq composants. Des diagrammes d'activité ont été établis pour chaque mode de marche de chaque composant de manière à traduire de manière compréhensible, le fonctionnement détaillé dans chaque cas d'utilisation. Un extrait d'un diagramme d'activité est donné à la figure 10.

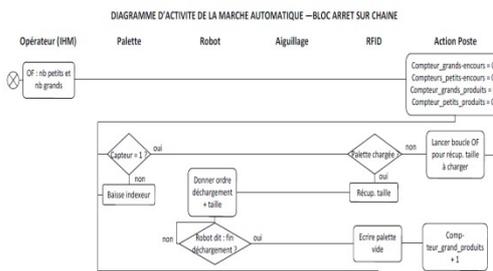


Figure 10. Exemple de diagramme d'activité

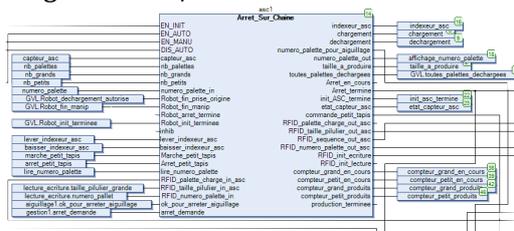
Une fois les composants identifiés et leurs différents cas d'utilisation spécifiés, il faut coder le savoir-faire et le comportement du composant, le tester, le valider et l'encapsuler de sorte qu'il ne sera accessible que via ses interfaces, entrées, sorties et bornes de connexion inter-composant.

La figure 11 donne l'exemple du codage du composant Arrêt sur chaîne en langage Function Block Diagram.

Figure 11. Codage du composant Arrêt sur chaîne en langage FBD

Sur la figure 12 est représenté l'aspect d'une instance du même composant après encapsulation et mise en bibliothèque.

Figure 12. Composant Arrêt sur chaîne instancié dans



l'application

Une fois les réalisés et validés, les composants, dont la lecture du code peut être protégée, sont placés en

bibliothèques utilisateurs et exportables de manière à pouvoir être réutilisés dans d'autres projets.

Ainsi les composants RFID et aiguillage seront réutilisés lorsque l'application sera déployée sur la chaîne complète. Un gain de temps et une économie de codage importants seront donc réalisés.

De même dans l'application actuelle, des composants issus des bibliothèques des métiers de l'emballage et du convoyage ont été utilisés tels que le bloc PickandPlace pour la pose et dépose des piluliers, des blocs liés à la commande d'axes par les variateurs Lexium, composants mis à disposition dans SoMachine [7].

## Conclusion

Les nouvelles approches méthodologiques esquissées dans cet article montrent comment l'utilisation d'ateliers logiciels ouverts et collaboratifs contribuent à diminuer les délais de conception (Time to Market) et la maîtrise des coûts globaux.

Toutefois une étape supplémentaire dans la diminution des délais de conception passe par la mise en place d'une ingénierie concurrente permettant de concevoir simultanément un nouveau produit, les moyens de production associés et le système d'information qui permettra sa fabrication en assurant l'optimisation des délais et des coûts ainsi que le contrôle de la qualité tout au long du cycle de vie.

Pour ce faire, il devient nécessaire de concevoir des plateformes privilégiant l'ouverture (Web) et une intégration plus poussée (PLM – MES – Atelier logiciel d'automation), une solution possible est l'orientation vers des architectures orientées services (SOA).

## Bibliographie

[1] Valorisation des machines par la programmation modulaire- revue J'automatise N°48-page 6

[2] J. Grison, Les projets d'automatisation, Gimélec-EXERA (2000)

[3] P. Certiat, Les objets d'automatisme, Schneider-Electric (1998)

[4] P. Roques, UML2 par la pratique, études de cas et exercices corrigés, Eyrolles (2006)

[5] P. Roques, SysML par l'exemple, un langage de modélisation pour systèmes complexes, Eyrolles (2009)

[6] F. Chiron, Contribution à la flexibilité et à la rapidité de conception des systèmes automatisés avec l'utilisation d'UML, Thèse de docteur en Sciences, Univ. B. Pascal, Clermont-Ferrand (2009)

[7] Solutions for OEMs- Technical training functions library. Documentation SoMachine. Schneider-Electric