**An agile model for complex processability constraints in high-mix semiconductor manufacturing**

**Résumé** :

Les entreprises évoluent dans un cadre où elles subissent les changements de leur environnement interne et externe. Concrètement, cela se traduit par des changements au niveau des processus métiers des organisations et les systèmes d’information doivent être alignés sur ces processus afin d’assurer leur fonctionnement et leur pilotage. Cependant, le rôle traditionnel des systèmes d’information comme courroie de transmission entre le système de décision et le système opérant [1] devient de plus en plus difficile à tenir du fait de l’évolution rapide du contexte économique et technique. Les fonctionnalités du système d’information ne se limitent plus à un support décisionnel et avec l’automatisation croissante de la fabrication et des processus décisionnels les systèmes d’information sont désormais au cœur de la production. Bien souvent l’évolution technique du système informatique va influencer celle des fonctions de l’entreprise et disposer à priori de processus métiers sur lesquels seront alignés à posteriori les systèmes d’information s’avère souvent très difficile. Les principales difficultés résident dans la capture des besoins « réels », la formalisation, la vérification et la validation de leur mise en œuvre [2] tout autant que dans les délais de mise en place des solutions. Bien souvent en effet, on constate que la disponibilité de la solution technique va primer sur la prise en compte du besoin réel et donc contraindre l’évolution des processus métier. En outre, ces évolutions viendront à leur tour brouiller la stratégie de développement globale du système d’information. Dès lors, maintenir cet alignement dans un contexte de changement (nous parlons de coévolution [3]) s’avère encore plus ardu [4]. Pour garantir la pérennité de l’entreprise, il faut donc que les systèmes d’information puissent continuer de répondre à leurs missions en satisfaisant les exigences du changement, donc d’évolution et d’adaptation sans pour autant contraindre l’expression du besoin réel. Il est donc primordial de disposer d’un système d’information flexible et agile pouvant répondre et s’adapter aux changements subis par les processus métiers [5].

Nous nous intéresserons à cette problématique en nous basant sur un exemple de l'industrie de fabrication de semi-conducteurs, secteur industriel où l’évolution rapide des technologies implique très régulièrement des évolutions significatives des contraintes métiers. S’inscrivant dans une logique d’efficience, les fabricants doivent optimiser la gestion de leur ligne de fabrication, en particulier en maitrisant la capacité de production [6]. Pour y parvenir, ils doivent disposer d’une information primordiale : la processabilité. C’est la réponse à la question : quel est l’équipement capable de réaliser l’étape de fabrication d’un lot donné ? Actuellement, peu d’études ont traité de l’évaluation de la processabilité, et la plupart des travaux la mentionnant concernent sa prise en compte dans les domaines de la planification et de l’ordonnancement [6] [7]. La difficulté à évaluer la processabilité provient initialement du fait qu’elle est le résultat de l’exécution de plusieurs règles de processus métiers distincts (maintenance, ingénierie produit ou process, qualité, etc.). En outre le rythme de renouvellement effréné des technologies entraîne une évolution permanente de ces règles, tant dans leur paramétrage que dans l’introduction de nouvelles contraintes à prendre en compte. Dans ce contexte l’capacité à adapter facilement les systèmes d’information pour prendre en compte ces changements devient un réel obstacle à la performance globale du système.

Concrètement, dans l’unité de production Crolles300 de STMicroelectronics, l’intégration des nouvelles règles de processabilité se traduisait par l’ajout au système d'exécution de la fabrication d’une couche supplémentaire appelée *fab constraints*. Etant donnés les impératifs de temps et de coûts de mise en œuvre, le choix d’implémentation consistait la plupart du temps à coder ces nouvelles « règles de processabilité » en SQL. La souplesse apportée par le codage permettait de prendre en compte, rapidement, tout type de spécification. Cette logique permettait par exemple d’interdire le process d’un lot sur l’équipement B tant que l’équipement A était disponible (préférence équipement), ou d’interdire à un équipement de réaliser un ensemble d’opérations sauf une sous partie, etc. Malgré les avantages à court terme que présentait cette solution, à moyen et long terme, cette voie a démontré ses limites, l’obstacle majeur résidant dans la capacité du système d’information à suivre les évolutions des règles de processabilité. En effet, la contrainte fonctionnelle ayant amené la création de ces règles se trouvait « noyée » dans le code SQL et donc très difficile à appréhender ou à évaluer dans le cadre d’une modification éventuelle. De plus, du fait de leur accumulation, le temps d’exécution des *fab constraints* devenait problématique de même que la maîtrise de leur périmètre d’application. La dérive des temps de réponse du système temps réel alliée à la relative opacité de la processabilité mettait potentiellement en péril la production.

Pour remédier à cette problématique, nous avons donc défini une démarche de modélisation permettant de retrouver le sens initial des *fab constraints* et de prendre en compte les besoins fonctionnels réels. En utilisant les diagrammes de classes UML, nous avons défini des modèles couvrant toutes les règles de processabilité, en respectant l’exigence forte d’adaptation facile au changement. Les modèles proposés répondent à la caractéristique de flexibilité nécessaire pour disposer d’une marge de « configurabilité » des règles de processabilité, ainsi qu’à la caractéristique d’agilité nécessaire pour pouvoir intégrer tout nouvel élément de processabilité. Ces deux propriétés étant respectées, nous avons donc désormais l’assurance de disposer d’un modèle pouvant suivre le changement.

Pour valider l’étude, l’aptitude des modèles proposés à couvrir les mêmes besoins que ceux des *fab constraints* actuelles a été testée. On a donc d’une part développé un simulateur sous MS Access pour valider le modèle sur les données actuelles de Crolles300 et d’autre part interrogé les différents experts métier quant à l’évolution des contraintes de processabilité. Ces études ont démontré l’aptitude des nouveaux modèles à supporter l’évolution des règles de processabilité. En outre, les travaux réalisés ont permis de réduire significativement le nombre des *fab constraints* de de près de 1500 à moins de 250 *règles de processabilité*, tout en levant les limitations citées précédemment. Nous relevons enfin que les modèles proposés peuvent être appliqués dans d’autres entreprises ou contextes d’utilisation similaire.

**Abstract:**

Companies operate in a situation where they undergo changes in their internal and external environment. Practically, it consists in changes in organizations’ business processes and the information system must stay aligned on these processes to ensure their operation and control. However, the traditional role of information systems as a transmission belt between the decision-making system and the operating system [1] becomes more and more difficult to maintain because of rapid changes in economic and technical environment. The functionality of the information system is no longer limited to decision support: with the ever-increasing automation of manufacturing and decisional processes, information systems are now at the heart of the enterprise operations. Often, the evolution of the technical solution will influence the enterprise functions and so aligning information systems with business processes is frequently very difficult. The main difficulties lie in capturing the “real” requirements, formalization, verification and validation of their implementation [2] as well as in time constraints for solution developments. Quite often, we find that the availability of the technical solution will prevail on taking into account the real user requirements, and thus constrains the evolution of business processes. In addition, these changes will blur the overall development strategy of the information system. Therefore, maintaining alignment in a context of change (we talk about co-evolution [3]) is even more difficult [4]. To ensure the sustainability of the company, it is necessary that the information system can continue to fulfill its missions by meeting change requirements. That means that information system has to evolve and to adapt without affecting the expression of real need. In that way, it is essential for companies to have a flexible and agile information system that can respond and adapt to changes undergone by the business processes [5].

We are addressing this issue on the basis of semiconductor manufacturing industry which is characterized by rapid technological evolution involving continuous and significant changes in business requirements. Following the logic of efficiency, manufacturers must optimize production line management, especially with mastering fab capacities [6]. To achieve this, they must rely on fundamental information: processability. “Processability” is the answer to the question: which tool is able to process a lot at a given production step? Currently, few studies have treated with processability evaluation, even among those taking it into account for scheduling and sequencing [6] [7]. Generating several rules from distinct business processes (maintenance, device/process engineering, quality, etc.) increases the difficulty of processability evaluation. Furthermore, new technologies are introduced at a rapid pace causing permanent changes in processability rules, both parameterizing these rules and introducing new constraints. In this context, the ability to easily adapt the information system to take into account these changes is a real limitation to the overall organization performance.

Specifically, considering the case of the semiconductor manufacturer STMicroelectronics (Crolles300 unit), the integration of new processability rules has been done by adding another layer (named *fab constraints*) to the Manufacturing Execution System. Given the constraints of time and the cost of integration, it has been chosen to implement these new "rules of processability" in SQL. Such a coding provided flexibility and so allowed to quickly take into account any type of specification. For example, it is possible to ban the process of a lot on tool B as soon as tool A is available (tool preferability), or to prohibit a tool to perform a set of operations excepting one part, etc. Despite the short-term benefits presented by SQL coding solution, in the medium and long term, this method has shown its limitations. The difficulty comes from the ability of the information system to meet the evolution of processability rules. Indeed, the functional constraints that led to the creation of these rules were "drowned" in the SQL code and therefore very difficult to understand or to assess in context of a possible change. In addition, due to their accumulation, execution time of *fab constraints* became problematic as well as mastering their application perimeter. Real time manufacturing requirement combined with the relative opacity of the processability put production at potential risk.

To overcome this problem, we defined a modeling approach helping us to identify the original signification behind *fab constraints* and to take into account the real functional requirements. Using UML class diagrams, we defined models covering all the processability rules, respecting the strong requirement of easiness to adapt to changes. These models meet the flexibility characteristic to have a margin of "configurability" in processability rules, and agility characteristic needed to integrate any new processability item. These two properties are satisfied, so now we have confidence that those models can follow the change.

To validate the study, we have tested the ability of the proposed models to cover the same needs as those of current *fab constraints*. Thus we have developed a simulator in MS Access to validate models on real data of Crolles300 and also interviewed various business experts about changing processability requirements. These studies demonstrated the ability of new models to support the evolution of processability rules. In addition, the work has significantly reduced the number of *fab constraints* of almost 1,500 to less than 250 processability rules while lifting the limitations mentioned above. Finally, we note that the proposed model can be applied to other companies or used in similar contexts.

**Bibliographie / Bibliography:**

[1] J.L. Le Moigne. La Théorie du Système Général : théorie de la modélisation. Presse Universitaire Française, 1984, 352 p.

[2] V. Chapurlat, B. Kamsu-Foguema, F. Prunet. Enterprise model verification and validation: an approach. Annual Reviews in Control (2003) 27:185–197

[3] T. Bodhuin, R. Esposito, C. Pacelli, M. Tortorella. Impact Analysis for Supporting the CoEvolution of Business Processes and Supporting Software Systems, Proceedings of BPMDS’04, Workshopon Creating and Maintaining the Fit between Business Processes and Support Systems, Riga, Latvia, 2004.

[4] Anne Etien, Camille Salinesi. Managing Requirements in a Co-evolution Context. Proceedings of the 2005 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE’05)

[5] Oscar Javier AVILA CIFUENTES. Contribution à l’Alignement Complet des Systèmes d’Information Techniques. Thèse de doctorat de l’Université de Strasbourg 2009

[6] C. Johnzén, S. Dauzère-Pérès, P. Vialletelle. Flexibility measures for qualification management in wafer fabs. Production Planning & Control (2011) 22:81-90 - DOI: 10.1080/09537287.2010.490022

[7] M. Fu, M. Haghnevis, R. Askin, J. Fowler, M. Zhang. Machine qualification management for a semiconductor back-end facility. In Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, Edited by B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan, and E. Yücesan, 2486-2492 - doi: 10.1109/WSC.2010.5678944