



**Ecole Doctorale
Ingénierie - Matériaux, Mécanique,
Energétique, Environnement,
Procédés, Production
(I-MEP2)**

**Doctorat de Génie Industriel
Institut Polytechnique de Grenoble**

Résumé de Thèse

***Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la
maîtrise du risque
Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d'une
unité de Recherche et de Production de circuits semi-conducteurs***

par Aymen MILI

Laboratoire G-SCOP (Grenoble- Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production)

Ecole Doctorale « Organisation Industrielle et Systèmes de Production »

Directeur : FOULETIER Jacques - Assistante : Augustine ALESSIO

PHELMA/Campus - 1130 rue de la Piscine - Domaine Universitaire

BP 75 - 38402 Saint Martin d'Hères Cedex

Mail : edimep2@phelma.grenoble-inp.fr Tel : 04 76 82 65 78

Soutenance le 21 octobre 2009 à Grenoble - N° XX

Aymen MILI est né 27 aout 1981 à Ksar Hellal en Tunisie. Il est titulaire d'un baccalauréat spécialité mathématiques et d'un master professionnel en Production, Automatisation & Information de l'Institut Supérieur d'informatique et d'Automatique de Lorraine. Il a obtenu en 2006 un master recherche en Conception Industrialisation et Innovation de L'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers. Il commence en 2006 une thèse en convention CIFRE au sein du laboratoire G-SCOP, en collaboration avec la société STMicroelectronics et plus précisément pour le service Process Control Crolles300.

Thèse soutenue le 21 octobre 2009

Directeurs de thèse :

Michel Tollenaere Professeur à l'Institut Polytechnique de Grenoble
Stéphane Hubac Expert Process Control ST Microelectronics

Jury :

| | | |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------|
| Professeur Benoit Iung | Professeur à l'Université Henri Poincaré Nancy1 | Président |
| Professeur Maurice Pillet | Professeur à l'Université de Savoie | Rapporteur |
| Professeur Daniel Noyes | Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes | Rapporteur |
| Professeur. Stéphane Dauzere-Peres | Professeur à l'Ecole des mines de Saint Etienne | Examineur |
| M. Ali Siadat | MCF à Arts et Métiers ParisTech | Encadrant |
| M. Samuel Bassetto | MCF à l'Institut Polytechnique de Grenoble | Encadrant |

Supprimé :

Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise du risque

Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d'une unité de Recherche et de Production de circuits semi-conducteurs

I. Introduction

L'industrie de la microélectronique a, depuis sa genèse dans les années 50, appuyé son développement sur son excellence technologique, lui permettant de renouveler son offre de produits à un rythme inconnu des autres secteurs industriels. La loi de Moore (Moore 1965) montre l'évolution exponentielle de la complexité des semi-conducteurs proposés en entrée de gamme ; cette évolution s'est traduite par un doublement du nombre de transistors tous les ans à coût constant depuis 1950.

La recherche d'excellence économique et la volonté de devenir leader dans son domaine sont à la base des programmes d'amélioration de la majorité des industriels. Or d'après (Treacy & Wiersema 1997), la recherche de performances peut emprunter trois voies pour aboutir à ces objectifs : la supériorité technologique, l'excellence opérationnelle et l'intimité au client. Le niveau de performance au long de ces trois voies dépend du secteur d'activité de l'entreprise, du type de service qu'elle offre, et de sa culture. Pour se maintenir de façon durable sur les marchés, elle doit exceller au moins dans l'un des trois aspects, tout en veillant à sa compétitivité dans les deux autres.

La notion d'analyse de risque a fait son apparition en 1949 aux Etats Unies dans le domaine de l'arme nucléaire. Cette méthode a connu un grand succès dans le domaine militaire et a été depuis appliquée dans la majorité des domaines industriels. Le succès de cette méthode est très dépendant du niveau d'intérêt que lui consacrent les acteurs et surtout de leur niveau d'expérience. La complexité des outils et processus de fabrication dans certains domaines industriels ne permet pas de couvrir la totalité de risques potentiels possibles.

Dans le cadre de cette thèse, le risque considéré n'est lié ni à la sécurité ni à l'environnement mais il traite des aspects de variabilité des processus de production. La question centrale de cette thèse vient adresser les deux préoccupations citées précédemment : la maîtrise de la variabilité et la gestion en termes de risques des actions. *Comment évaluer et améliorer la performance des moyens et processus de production par le biais d'une analyse de risques qui soit dynamique et intégrée. Comment définir par la suite des plans d'actions unifiés et robustes pour maîtriser la variabilité et éviter les non conformités ?*

II. Les méthodes de contrôle des procédés & le contexte industriel

1- Contexte général du contrôle des procédés en microélectronique

La microélectronique, spécialité du domaine de l'électronique, consiste à la réalisation de composants miniatures et complexes sur un support en général de silicium¹. A ses débuts, ce domaine industriel avait comme objectif de réduire le volume, la densité d'intégration et le poids des applications par remplacement d'anciennes techniques (Tubes à vide, composants passifs, etc.). Aujourd'hui l'évolution technologique est axée sur l'amélioration des performances, de la densité d'intégration, tout en optimisant les coûts.

¹ Le **silicium** est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Si et de numéro atomique 14.

Lors de la production des puces en salle blanche², les différentes organisations opérationnelles doivent travailler de concert afin d'obtenir des résultats optimaux. Dans ce cadre de recherche de synergie et d'efficacité, la mise en place d'un système de contrôle des procédés est un facteur clef. La durée de vie très courte des produits microélectroniques rend encore plus stratégique le besoin d'un contrôle dynamique des procédés.

Un système de contrôle des procédés efficace au niveau industriel ou recherche et développement est un facteur clef d'amélioration dans les domaines suivants :

- Temps de cycle d'apprentissage à la production en volume,
- Coûts de développement et de production en volume,
- Rendement de fabrication et sur produits finis,
- Sécurité et environnemental

Un tel système, mis en place de façon cohérente et opérationnelle participe à la gestion des actions d'améliorations du produit et des processus au sein des organisations et, par conséquence, permet d'optimiser la synergie et l'efficacité de ces dernières. L'analyse des risques, dans l'industrie du semi-conducteur, est un élément méthodologique essentiel du processus de contrôle car il est un moyen de prévention et d'estimation des dérives. Il participe à l'amélioration des performances en termes de coûts, rendement et temps de cycle. C'est pourquoi le process control veille à la bonne application de cette approche et suit l'évolution du niveau de risque avec des indicateurs pour chaque technologie, module, recette et équipement.

2- Pourquoi les Analyses des Risques

Une des premières exigences en termes d'analyse des risques est celle des clients. L'industriel est dans l'obligation de fournir une étude des risques pour une technologie donnée avant de commencer la production. Ce document est analysé par des auditeurs mandatés par le client et, c'est en conséquence, qu'ils appréhendent le niveau de maîtrise que l'entreprise a de la technologie. Il en estime le niveau de garantie en termes de fiabilité et de capacité à fabriquer des produits de qualité en complément d'indicateurs comme le Cp, Cpk...

Pourquoi fait-on une analyse des risques ? Les éléments de réponse à cette question peuvent être classés en fonction du domaine où l'on souhaite appliquer cette méthodologie :

- *Outil de production* : malgré les analyses FDC et les plans de maintenance qui permettent de sécuriser les machines, le zéro défaut n'existe pas et la probabilité d'une panne reste toujours le résultat de plusieurs facteurs comme l'état des machines, le produit fabriqué, l'environnement... Les analyses des risques dans ce cadre fournissent une vision sur le comportement probable d'une machine, les causes potentielles des défaillances et permettent ainsi de définir des actions ou de faire évoluer les plans de maintenance préventive existants.
- *Produit* : le SPC, les tests PT et EWS sont des moyens de contrôle et d'assurance de la qualité des produits, ce qui n'élimine néanmoins pas totalement le risque de non-conformité ou de SCRAP de plaquettes. Des brèches existent toujours dans ces systèmes de contrôle et de surveillance et il est nécessaire de prévenir les causes de ces dérives en y apportant les actions correctives appropriées. C'est le rôle des analyses des risques produits, éditées dans un premier temps au stade du développement de la technologie, pour sécuriser la qualité tout au long du cycle de production.

² Environnement dans lequel le nombre de particule par m³ est maîtrisé. Cet environnement est indispensable pour fabriquer des puces fonctionnelles avec le niveau de qualité requis des circuits.

- *Recette* : Dans cette catégorie, le risque est fonction de deux paramètres : l'équipement et le produit. Une dérive du processus de production peut être le résultat d'une dérive équipement, produit ou les deux simultanément. Cette dépendance rend difficile l'identification de la source de défaillance. Un autre cas possible, qui requiert une analyse plus approfondie, est celui du fonctionnement toléré d'un équipement qui impacte le produit ou inversement. Une analyse de ces risques permet de pointer ces problèmes et de les prévenir si nécessaire.

Du point de vue production en salle blanche, ces trois axes sont particulièrement étudiés par STMicroelectronics. Dans le cadre de cette thèse, on s'intéresse en premier lieu aux analyses des risques équipement, source première de détracteurs de la performance, puis ensuite aux analyses des risques produits et processus.

Un audit interne sur l'évolution des risques en termes du nombre de risques analysés en moyenne, nombre de risques critiques détectés et risques mis à jour, montre une stabilisation de ces chiffres ou une légère augmentation. Seules les FMECA techno sont mises à jour de façon régulière lors de la phase développement. Trois axes sont à investiguer pour améliorer l'usage des analyses de risques et permettre de s'y référer en vue d'améliorer les stratégies de prévention :

- la dynamique d'identification et de mise à jour des risques.
- la structuration simplifiée et cohérente des analyses des risques.
- la réutilisation plus performante de l'expérience contenue dans les FMECA.

3- Problématique

Dans un tel contexte industriel concurrentiel de plus en plus délicat, couplé à un contexte écologique et environnemental qui sensibilise aux méfaits du gaspillage, il est important d'optimiser l'utilisation des ressources. Plusieurs réflexions et questionnements viennent alors à l'esprit visant à saisir la raison de cette apparente incohérence. Les questionnements sont en particulier de trois ordres : les crises seraient elles seules à même de rendre les outils qualité populaires ? Quel est le rôle de l'injonction du client ? Enfin quelle place pour les outils informatiques d'accès aux données ?

En constatant que les deux seules notions qui intéressent un opérationnel au quotidien pour améliorer les coûts, le rendement, le temps de cycle, la sécurité, l'environnement et les relations humaines sont :

- *Le contrôle et la réduction continue de la variabilité.*
- *La gestion en termes de risque des actions entreprises.*

On mesure l'importance de l'intégration de la gestion des risques dans le processus méthodologique de l'entreprise. Gardant à l'esprit les constats précédant, cette thèse sur la gestion des risques devra apporter des points d'améliorations aux problèmes soulevés.

Dans le cas particulier du processus de fabrication de l'industrie du semi-conducteur, les opérationnels sont confrontés dans leur quotidien aux dérives et dysfonctionnements des moyens ou processus de production. Les dérives équipements étant le premier détracteur en termes de coûts, rendement et temps de cycle, cette thèse aborde cet aspect de façon prioritaire.

La gestion des événements (pannes ou dérives) est une des principales priorités des opérationnels. C'est un maillon très sensible dans la chaîne du processus de production, car les coûts de mobilisation des équipements sont élevés (entre 200 et 400 \$ de l'heure). Les analyses de rejets montrent que les équipements en sont la première cause (Figure 1) et que la variabilité des rejets n'est pas contrôlée (Figure 2).

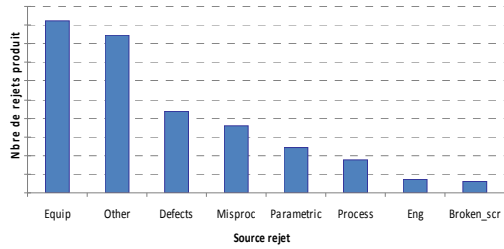


Figure 1 Nombre de SCARP classés par source

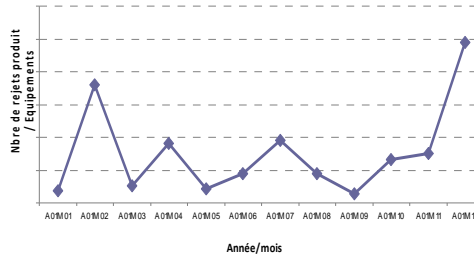


Figure 2 Nombre de SCRAP dus aux pannes sur une année

Dans ce contexte, notre étude vise à améliorer l'aspect préventif des interventions de maintenance en réutilisant les connaissances liées aux pannes. La première question qui se pose est : *Comment améliorer la performance des équipements en proposant un outil d'aide à la décision pour les ingénieurs maintenance ?*

L'objectif est alors d'étudier les facteurs de dépendance des recettes et de la qualité du produit vis-à-vis des équipements et de proposer ainsi des priorités pour les actions à mettre en place. Il ne s'agit pas seulement d'améliorer la disponibilité et la fiabilité des équipements, mais également de minimiser *tout risque* lié à une défaillance ou un mauvais fonctionnement de l'outil.

L'étude réalisée en début de thèse a montré que les Scraps, les non conformités et les retours clients sont traités par un processus 8D. Les analyses préventives sont établies suivant la méthodologie FMECA alimentés en parallèle par les actions préventive du processus 8D (Bassetto 2005). Les pannes équipements sont gérées dans le cadre du processus de maintenance corrective. La Figure 3 illustre cette diversité.

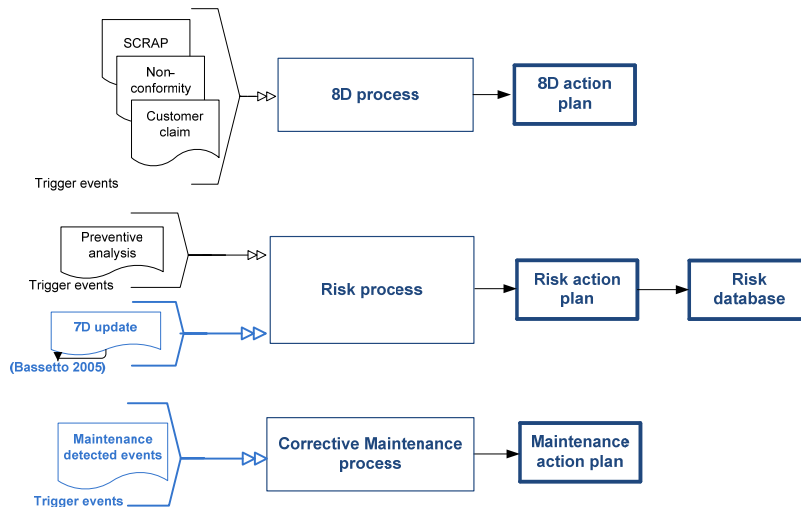


Figure 3 Gestion actuelle des plans d'actions chez STMicroelectronics

Pour prendre en compte les besoins de STMicroelectronics de mise en place de méthodologie améliorant la synergie et l'efficacité opérationnelle, cette thèse propose une approche permettant l'intégration du risque dans un seul et unique processus de décision pour tous les secteurs. La finalité étant de supporter tous les opérationnels, quelque soit leur secteur, pour gérer leurs activités en incluant la notion de risque de manière

optimale et unifiée. Améliorer la méthode de gestion des risques et offrir un outil d'aide à la décision pour gérer les priorités des actions permet de pointer les sources potentielles des problèmes. La gestion des plans d'actions résultants doit permettre d'optimiser le rendement, le temps de cycle et minimiser les coûts. Notre proposition doit donc répondre au questionnement : *Comment associer risques, évènements et expertise humaine pour obtenir un processus unifié de gestion des plans d'actions ?*

Partant du constat que les opérationnels ont besoin au quotidien d'outils simples et efficaces pour contrôler, réduire la variabilité et gérer leurs actions en terme de risques, l'objet de cette thèse est de proposer des *solutions de gestion des risques opérationnels* et des *méthodologies* de travail qui soient génériques et applicables dans d'autres secteurs industriels.

III. Vers une gestion dynamique des risques basés sur les données de production

1- Le rôle des analyses des risques dans l'optimisation des priorités de maintenance

L'idée d'intégrer la notion de risque dans la maintenance des machines a été utilisée par les militaires (DOD 1980) pour fiabiliser leurs systèmes et éviter les défaillances qui coûtent très cher en pertes matérielles et humaines dans ce domaine. La complexité des équipements et la technologie avancée utilisée pour les piloter rend la tâche des services maintenance difficile et la recherche de la cause de panne plus délicate. C'est pourquoi une analyse préliminaire des risques associés au fonctionnement de l'équipement et ses composants présente un des supports de prévention et de minimisation du taux de panne. L'approche Risk Based Maintenance est au cœur de cette idée, elle montre comment partir d'une estimation de risque, passant par une analyse des impacts vers une amélioration des plans préventifs.

L'approche classique RBM (Risk Based Maintenance) a été proposée pour intégrer les analyses de risques dans le processus de gestion de la maintenance. Mais développer une analyse fonctionnelle complète pour un équipement et étudier pour chacune de ses parties les risques possibles demande beaucoup de temps et une mobilisation des experts maintenance. Dans le semi-conducteur et dans d'autres domaines industriels utilisant des équipements complexes, la priorité est donnée à l'amélioration de la disponibilité et les ingénieurs maintenance ont généralement des plannings chargés et des priorités liées à la production. Dans la majorité de ces études (Labodova 2004) (Tixier et al. 2002)..., l'expertise humaine est seule utilisée pour formaliser l'analyse de risque et quantifier l'occurrence aléatoire des risques, estimer leur criticité et la pertinence de leur niveau de détection à travers l'analyse de l'historique équipement.

Notre proposition est orientée sur une approche dynamique de la réutilisation des informations et des connaissances issues des expertises ou des événements passés pour l'estimation des risques. Assister l'expertise humaine durant les phases d'identification et de quantification permettra des analyses plus précises et des mises à jour régulières en optimisant la productivité des ressources engagées dans ce processus.

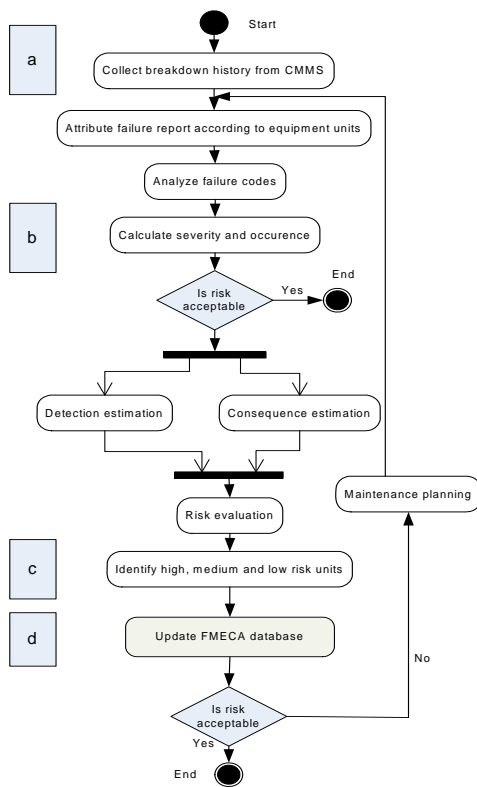
2- Le modèle d'une gestion dynamique des risques maintenance, Risk Based Maintenance dynamique RBMd

Notre proposition consiste à améliorer ce qui a été développée dans la méthodologie RBM en proposant aux experts une liste prédéterminée de risques prioritaires. Il s'agit de développer un outil d'aide à la décision, basé sur les modèles cités dans la littérature ((Harte et al. 1994), (Azria et al. 2007)) et sur la gestion des retours d'expérience pour assister les ingénieurs maintenance pendant les deux phases d'identification et d'estimation du risque.

Notre question centrale est : comment améliorer la gestion des plans d'actions de maintenance par la prise en compte du risque tout en simplifiant le processus de décision ?

Pour répondre à ce questionnement, on propose une approche *dynamique* pour identifier les risques dans un système de gestion de maintenance tout en intégrant les événements enregistrés en cours du cycle de production. Les étapes de cette approche consistent dans un premier temps à définir des liens entre les analyses de risques et les événements de la salle blanche pour faciliter la mise à jour des FMECA et des connaissances capitalisées dans cette base. En deuxième lieu, suivre en temps réel les facteurs majeurs de pertes de performance et agir en conséquence sur les causes potentielles. Avec cette méthodologie, la création des plans d'actions n'est plus basée uniquement sur l'expertise humaine, mais également sur une analyse approfondie de l'historique des événements et du niveau de risque associé.

Utiliser l'historique des pannes d'un équipement, avec calcul des critères d'occurrence de sévérité et du couple $R_s * R_o$ (**Rpo**) permet d'identifier les risques potentiels de chaque machine. Cet historique est généralement enregistré dans des bases de données de maintenance connues sous le nom GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur). Il constitue une base de connaissances très riche qui contient des descriptions des pannes, leurs causes et surtout les solutions mises en place. Ce que nous proposons dans cette étude, c'est d'utiliser ces connaissances pour identifier les risques potentiels et améliorer la qualité de décisions et des actions mises en place. Le résultat consiste à simplifier l'identification des risques (gains en termes de temps et de ressources), obtenir des FMECA '*dynamiques*' et régulièrement mis à jour et des plans d'actions de maintenance performants.



Les étapes de cette procédure consistent à :

- a) Collecter les données issues de la GMAO (historique de la maintenance corrective).
- b) Calculer l'occurrence et le temps d'arrêt total de chaque panne.
- c) Transformer l'historique de l'équipement en formalisme FMECA.
- d) Sélectionner les risques classés potentiels.
- e) Mettre à jour la base de risques et vérifier le niveau des risques existants.

Ce travail préliminaire offre un document de base pour les experts. Il leur permet de travailler sur les risques imminents et issus de la réalité de l'équipement. Mais la validation de l'expert reste obligatoire, afin d'éviter des erreurs d'estimation et permettre une flexibilité d'accès aux données.

Ce nouveau processus ne gêne pas le fonctionnement classique de la RBM. Si des risques sont potentiels et n'ont pas été détectés par le système, les experts peuvent les rajouter dans leur analyse. Mais un risque qui est issu d'une analyse poussée de l'historique des pannes a plus de chance de se reproduire.

Figure 4 Nouvelle approche pour la RBM : RBMd

3- Résultats

Le déploiement de cette méthodologie, dans l'atelier lithographie sur une période d'un an, montre une augmentation forte du nombre des risques analysés (+ 250%). Le nombre de risques prioritaires a également augmenté et de nouvelles FMECA ont été créées. Ceci montre l'évolution dans la maîtrise du niveau du risque pour les équipements et permet de pointer les blocks d'équipements les plus critiques. Suivre également le paramètre $R_{po} = R_s \cdot R_o$ permet de cadrer un nombre de risques à faible détection, mais aussi avec un impact non négligeable. Un retour auprès des utilisateurs de ce prototype montre un autre résultat qualitatif sur les données des FMECA et sur l'aspect « mise à jour ». On parle aujourd'hui de FMECA image de l'équipement et une évolution des actions et du niveau de risque en parallèle avec celle de l'état de l'équipement.

Le déploiement de la RBMd sur cet atelier pilote pointe l'importance de l'analyse avancée de l'historique des équipements et son rôle pour identifier les risques. Présenter une analyse préliminaire aux ingénieurs facilite leur tâche et leur permet de travailler sur des données issues d'évènements réels.

Les résultats de ce déploiement en termes d'amélioration de la disponibilité des équipements sont illustrés par une baisse du nombre des pannes, de scraps ainsi des temps d'arrêts.

L'apport de cette étude est la proposition d'une méthodologie outillée, d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience. Elle permet d'assister les experts pendant les deux phases d'identification et d'estimation des risques. Elle consiste à gérer de manière *dynamique* les risques dans un environnement de production. Les finalités recherchées sont les suivantes :

- des liens continus entre les analyses de risques et les évènements de la salle blanche (Atelier de production).
- un outil permettant une analyse approfondie de l'historique des équipements.
- un contrôle continu des risques et des plans d'actions.

Ceci facilitera en premier lieu la mise à jour des FMECA et la capitalisation dynamique des connaissances liées à cette analyse. L'outil devra permettre également dans un premier temps de suivre en temps réel les détracteurs principaux affectant la productivité et le temps de cycle. La création des plans d'actions ne sera plus basée sur l'expertise humaine uniquement, mais aussi sur une analyse approfondie de l'historique des évènements et du niveau de risque associé. Cette étude montre l'intérêt de l'utilisation des analyses de risques pour gérer les plans d'actions. La définition du niveau du risque basée sur l'historique et l'expertise humaine est plus adaptée pour quantifier la sévérité des dysfonctionnements. Ceci constitue une base de connaissance et de retour d'expériences formalisés et réutilisable en cas de besoin.

IV. Unification du processus de gestion des plans d'actions

Faire face aux dérives et à la variabilité d'une entité du système de production qu'il s'agisse du produit, processus ou équipement, requiert une démarche structurée, appuyée par les décisions des experts. Chercher la solution *adéquate* (corrective, palliative ou préventive) d'un problème relève de l'optimisation des coûts des actions, leur efficacité et leur nature. La complexité des systèmes de production et des produits fabriqués impose aux industriels de suivre des méthodes de qualité et d'aide à la planification.

Un large panel d'approches et de méthodologies (Duret & Pillet 2005) (Crepin & Robin 2001) a été proposé pour assister les industriels durant le processus de décision. Des normes, comme l'ISO (ISO 2005), prescrivent de préciser le processus complet de management des problèmes et de le documenter. Mais pour un opérationnel, le choix entre ces méthodes est loin d'être toujours évident et devient très délicat quand la décision à prendre est urgente.

L'utilisation de ces outils dépend du domaine industriel, de l'organisation concernée (qualité, maintenance...) et de la stratégie de l'entreprise. La littérature montre l'intérêt de ces méthodes et leurs applications possibles en industrie (He et al. 2007). Mais ces applications sont, dans la plupart des cas,

utilisées de manière indépendante dans les différentes organisations. La divergence des objectifs locaux est la principale cause de la diversification des méthodes et approches déployées. La question à se poser est : La question centrale est : *Comment unifier la gestion de toutes les actions de l'entreprise au sein d'un processus unifié, dynamique et commun ?*

1- Vers une gestion unifiée des plans d'actions, RBAP: Risk Based Actions Priorities

Par une approche similaire à ce qui a été proposé pour la gestion dynamique des plans d'actions de maintenance, les similitudes entre les deux processus de gestion des 8D³ et des analyses de risques améliorées par la RBM dynamique ont été soulignées. Deux points d'entrée sont possibles pour établir des connexions entre ces deux processus. La recherche de la cause et l'identification des actions pour y remédier permettent, dans l'analyse de risques, de lister les solutions possibles ou non (en termes de coûts et temps de cycle par exemple) et leurs impacts sur le niveau du risque.

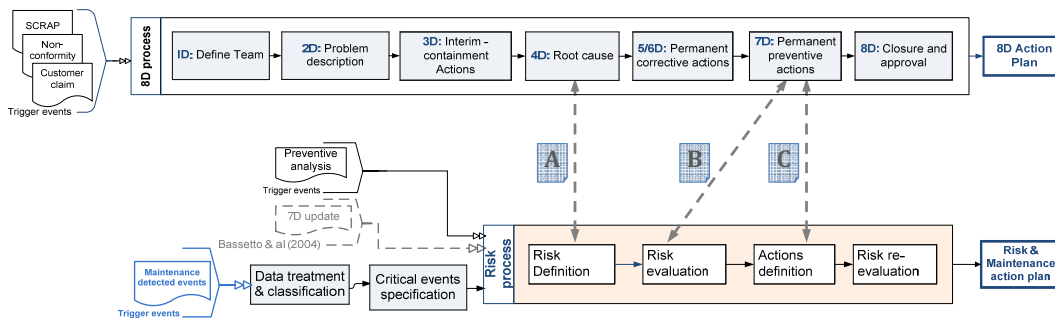


Figure 5 Joint Action plan & risk management process

Ces points de connexion, comme présentés Figure 5, sont définis par:

- 1) l'identification du risque qui peut améliorer la classification des causes réelles et potentielles de la défaillance analysée dans le processus 8D.
- 2) l'évaluation du niveau de risque, un critère pour la gestion des priorités des actions décidées.
- 3) la définition des actions préventives dans l'analyse des risques, qui adresse en général les causes potentielles, permet d'améliorer les propositions des actions par les experts.

L'idée d'établir les liens potentiels entre un processus de gestion des défaillances produit et un processus de gestion des risques amène la possibilité de généralisation en un seul processus. On peut aussi envisager de centraliser la gestion des priorités d'actions venant de diverses sources (variabilité du processus, retours client, gestion du rendement et pannes machines). L'objectif demeure d'améliorer la qualité des décisions et de développer une base de connaissances pour tous les événements de production, quelle que soit l'organisation.

Unifier et faire converger ces deux processus permet d'une part de centraliser les événements déclencheurs (*trigger events* : issues qualité, défaillances opérationnelles et analyses préventives) et d'autre part d'avoir une vision globale sur l'ensemble des actions à mettre en place et ainsi d'apporter des décisions stratégiques.

³ 8D est l'abréviation de 8 Do. Le processus 8D est une méthode qui permet de réagir face à un problème pour en limiter les conséquences et définir les actions correctives et préventives pour éliminer les causes.

Pour unifier ces processus et faire communiquer les étapes et activités, il faut préciser sur quelles étapes l'intégration aura lieu et quels sont les flux d'information à interposer. Précisons les finalités de l'approche :

- une utilisation des actions correctives pour améliorer la prévention d'évènements et leurs causes.
- l'unification de la gestion des risques sur tous les niveaux de l'entreprise afin d'obtenir une vision globale et unifiée sur le niveau de risque.
- la simplification du retour d'expérience et la valorisation de l'expertise humaine par une gestion des actions dans un environnement unique et partagé.
- l'amélioration de la gestion des priorités en utilisant l'expertise et l'historique des défaillances opérationnelles.
- enfin une évaluation de la performance des équipes et des actions communes.

»» Un processus dynamique autocontrôlé et enrichi par l'expérience des évènements opérationnels.

Le résultat global doit se présenter sous forme de sorties communes pour les trois types « trigger events » à analyser. Pour modéliser ce résultat, un diagramme IDEF0 (Figure 6) a été établi sur la base du modèle de gestion des 8D et du processus de la RBM dynamique. Les deux flux sont représentés de manière parallèle, mais avec une convergence finale vers un plan d'actions unifié.

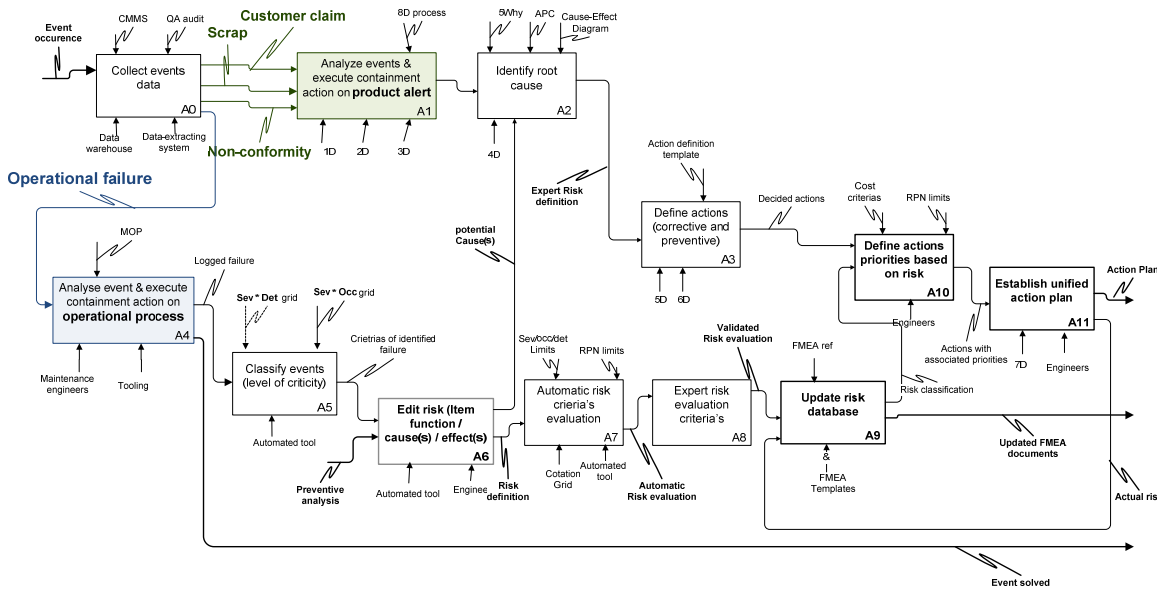


Figure 6 Proposed process for unified action plan

Ce diagramme d'activités montre les flux d'information et le processus complet pour l'intégration des deux méthodes. La décision finale est basée sur l'ensemble de ces critères :

- Cr₁: Identification des causes potentielles
- Cr₂: Evaluation du risque
- Cr₃: Expertise humaine
- Cr₄: Gestion des priorités

L'intégration de l'ensemble de ces critères dans un seul processus permet d'unifier le protocole de management des risques et des évènements aux différents niveaux de l'entreprise. Il en résulte également une vision complète et cohérente sur l'ensemble des évènements et sur les priorités opérationnelles.

2- Implémentation de l'approche:

L'implémentation de cette approche doit prendre en compte les contraintes relatives au système d'information existant dans l'entreprise. Il s'agit de faire un audit des personnes susceptibles d'interagir avec le système en précisant leurs rôles respectifs ; cet audit a aussi pour but de préciser les moyens de collecte des informations et d'évaluation des résultats. Les étapes de cette implémentation peuvent s'articuler comme suit :

- établir un diagramme de cas d'utilisations: afin d'identifier les acteurs majeurs, leurs périmètres d'actions, les fonctions attendues du système et tous les cas d'utilisation possibles.
- définir un flow complet du processus depuis la collecte des données, la décision des actions à l'évaluation des résultats.
- développer la base de données et les interfaces utilisateurs.
- définir, créer et implémenter les indicateurs ; KPI (Key Performance indicators).

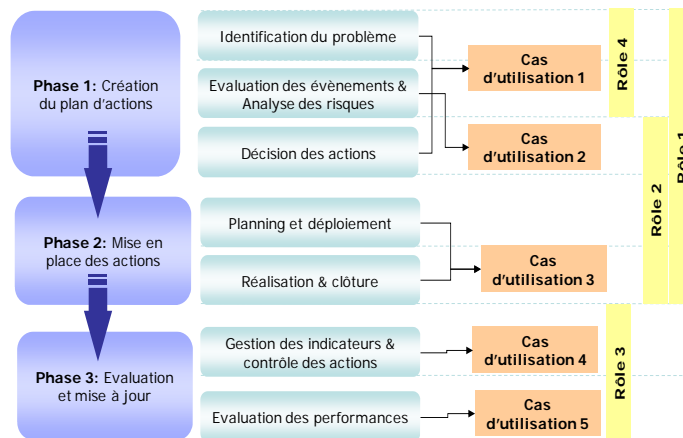


Figure 7 Schéma global des cas d'utilisation

La présentation du système (Figure 7), avec ses trois grandes phases, montre sur quels niveaux interviennent les acteurs (rôles) et quels sont les cas d'utilisation associés. Ce schéma global intègre les étapes de résolution des problèmes présentées par (Crepin & Robin 2001) en y rajoutant l'aspect risque et évaluation automatique de l'historique des événements. Cette présentation conjointe des étapes, cas d'utilisation et rôles permet une vision globale sur la gestion d'un événement indésirable. Dans la section suivante, cette présentation est complétée par une description détaillée du processus du plan d'actions. Un algorithme et un diagramme d'états montrent les étapes d'intégration des événements et des risques dans le processus de décision.

Cette approche proposée pour la gestion unifiée des plans d'actions définit une méthodologie de résolution des problèmes opérationnels innovante. Trois axes ont fait l'objet d'intégration et d'échange dans ce processus : l'historique des défaillances opérationnelles, les risques produits et opérationnels et l'expertise humaine.

Comme présenté dans le schéma global de cette approche (Figure 8), les événements opérationnels sont le point de départ et le déclencheur de ce processus. La RBAP commence par une collecte et un traitement des données (E_i) relatives à ces événements. Le niveau de risque (R_i) est alors calculé sur la base de l'impact enregistré et les occurrences de cet événement. Le résultat de cette phase initiale (Classement des événements) est vérifié par l'expertise humaine qui l'utilise par la suite dans le processus de décision.

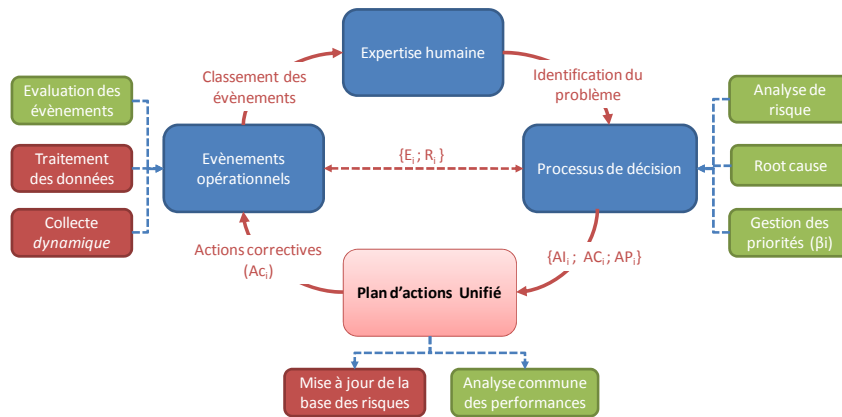


Figure 8 RBAP: Un processus dynamique

Ce processus est multicritère : il centralise les données opérationnelles, les risques associés et l'expertise. Une gestion de priorités (β_i) est réalisée pour développer par la suite le plan d'actions. La partie des actions à caractère correctif (AC_i) est réintégrée par la suite dans la base des événements résolus et visant ainsi à fermer la boucle.

Cette approche « Risk Based Actions Priorities » offre pour les experts une méthodologie et un processus unique quelle que soit la source du problème : issue qualité ou défaillance produit. Ceci répond à la problématique de divergence dans les méthodes et outils. Cette unification est également à l'origine d'une évaluation commune des résultats et d'un contrôle continu du niveau de risque.

3- Résultats

Le déploiement de RBAP a nécessité le développement d'une base de données qui tient compte des aspects détaillés dans les modèles de données et processus de ce chapitre. Le module des indicateurs a été également fourni afin d'évaluer la méthode. Trois organisations de l'entreprise ont été concernées par ce déploiement : la qualité, les opérations et la R&D, ce qui représente un total d'environ 400 ingénieurs et managers utilisateurs du système.

Ce déploiement, sur une période de six mois sur le site CR300, a donné lieu à la création de 190 plans d'actions dont 60 clôturés. La base de données contient ainsi l'ensemble des plans d'actions process, qualité, maintenance et R&D.

La demande de déploiement de cette approche sur le site CR200 montre l'intérêt de cette méthode et son niveau d'adhésion par les experts. La capitalisation des informations et de l'historique des événements dans un système commun a montré son efficacité dans la résolution des problèmes. Et c'est pourquoi, une migration de tous les plans d'actions qui datent de moins d'une année, dans la base FAIR8 a été demandée par le management et réalisée à 95%. Un autre résultat de cette approche est l'amélioration de la réactivité des équipes pour la définition et la réalisation des actions.

Le modèle proposé a été expérimenté positivement par un déploiement industriel et une application informatique qui ont montré l'efficacité de l'approche et son apport sur un site industriel de haute technologie. La RBAP peut être déployée dans n'importe quel domaine industriel sous deux conditions :

- que la gestion des risques et la résolution des problèmes soient intégrés dans une base de données, formalisée et partagée.
- que la méthode de résolution des problèmes soit similaire à l'approche 8D.

V. Conclusion & perspectives

Cette thèse a pour ambition de proposer une nouvelle démarche intégrée et dynamique de contrôle des processus, que chaque opérationnel puisse s'approprier au quotidien. Focalisée sur les objectifs de l'entreprise, elle s'intègre au sein des outils qualité et opérationnels existants.

Sur la base d'une étude bibliographique de l'état de l'art dans le domaine de la gestion des risques et plans d'actions associés, notre proposition a tout d'abord consisté à ajuster et améliorer la méthodologie RBM (Risk Based Maintenance) pour répondre à la problématique contextuelle précitée. Cette proposition fournit aux experts une liste prédéterminée de risques prioritaires, un outil d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience assistant les ingénieurs maintenance pendant les deux phases d'identification et d'estimation des risques. Avec cette approche nommée RBM dynamique, il a été possible de suivre en temps réel les facteurs majeurs de pertes de performance et d'agir en conséquence sur les causes potentielles en fournissant pour les opérationnels une notion de priorité cohérente associée aux risques encourus.

Par ailleurs, la littérature concernant les plans d'actions rapporte de nombreux cas où l'évaluation des résultats et objectifs diffère selon les organisations qui, opérant isolément, utilisent souvent les mêmes méthodes et outils. Nous avons donc proposé un processus commun et unifié qui appuie les décisions. Par une approche similaire à la RBM dynamique, et ayant constaté les similitudes et complémentarités des processus 8D et FMECA dans le cadre du développement, de la gestion des plans d'action et l'identification des causes potentielles, nous avons pu envisager une généralisation de la proposition. Les résultats obtenus et les outils réalisés pour supporter la démarche ont abouti à tester industriellement le concept de RBAP (Risk Based Action Priorities).

Comme dans de nombreux travaux connexes, les risques ont été considérés comme indépendants : or dans la pratique, cette hypothèse s'avère peu conforme à la réalité et les praticiens conservent au sein de leur expertise une représentation des liens entre risques. Cet aspect mériterait d'être étudié en vue de compléter les modèles de cette thèse et d'en tester les performances.

Une autre voie d'amélioration de ce travail de thèse peut être l'intégration de la notion de 'détection' dans le calcul des priorités des événements. Le critère classique RPN peut être modifié par attribution de coefficients aux valeurs de S, O et D en fonction du mode de défaillance étudié.

Le développement de RBAP a permis de centraliser l'ensemble des plans d'actions dans un processus unifié avec des objectifs communs. L'évaluation de ces plans peut être également définie selon un modèle commun afin de comparer tous les résultats des organisations.

Une dernière ouverture pour des travaux complémentaires à cette thèse peut être l'utilisation de l'expertise capitalisée par la RBAP pour optimiser la conception des produits. Définir des liens entre des événements résolus et la phase de conception peut être un des supports pour mieux estimer et évaluer les risques liés aux nouveaux produits. Une thèse a démarré sur ce thème chez STMicroelectronics.

Principales références bibliographiques

- Arunraj, N. & Maiti, J., 2007. Risk-based maintenance--Techniques and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 142(3), 653-661.
- Bassetto, S., 2005. *Contribution à la qualification et à l'amélioration des moyens de production, de manière opérationnelle, dynamique, en supportant les connaissances métier*. CER ENSAM de METZ.
- Chardonnet, A. & Thibaudon, D., 2003. *Le guide du PDCA de Deming - Progrès continu et management* Editions d'organisation.,
- Crepin , D. & Robin, R., 2001. *Résolution de problèmes : méthodes, outils de première et deuxième générations* ,
- Duret, D. & Pillet, M., 2005. *Quality for manufacturing from ISO 9000 To Six Sigma*,
- Labodova, A., 2004. Implementing integrated management systems using a risk analysis based approach. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 571-580.
- Redmill, F., 2002. Risk analysis - A subjective process. *Engineering Management Journal*, 12(2), 91-96.
- Williams, T., 1995. A classified bibliography of recent research relating to project risk management. *European Journal of Operational Research*, 85(1), 18-38.

Liste de publications de l'auteur

Article de journal :

- Dynamic risk management unveils productivity improvements
Mili A., Bassetto S., Siadat A., Tollenaere M.
Journal of Loss Prevention in the Process Industries, ed Elsevier, 22 (1), p.25-34, Jan 2009
- Action plan management - Risk Based Action Plan (RBAP)
Mili A., Hubac S., Siadat A., Tollenaere M., Bassetto S.
--> [Soumission en cours à Computers in Industry](#)

Conférence internationales avec actes et comité de sélection :

- Speeding-up experiences return during new productions industrialization
IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore (2007)
Samuel Bassetto, Aymen Mili and Ali Siadat
- Towards a more reliable industrialisation with risk analysis methods
8th European Advanced Equipment Control/Advanced Process Control Conference -Dresden-Germany (2007)
Aymen Mili, Stéphane Hubac and Samuel Bassetto
- New approach for Risk update based on maintenance events
Mili A., Hubac S., Bassetto S., Siadat A.
IFAC WORLD CONGRESS, SEOUL : Corée (2008)
- Action plan management using knowledge management thru risk analysis approach
Mili A., Hubac S., Siadat A., Bassetto S.
ICMIT2008, BANGKOK : Thaïlande (2008)
- Unified process for action plan management Case study in a research and production semiconductor factory
Mili A., Hubac S., Bassetto S., Siadat A., Tollenaere M.
3rd Annual IEEE International Systems Conference, Vancouver : Canada (2009)

Colloques nationaux et conférences sans actes :

- Ordonnement conjoint de la production et de la maintenance
Conférence Roadef, Grenoble - février 2007.
Aymen Mili, Ammar Oulamara and Marie-Claude Portmann
- Gestion des connaissances pour l'amélioration des plans d'actions par des analyses préliminaires
Journées GDR MACS 13&14 mars - Roanne (2008)
Aymen Mili, Michel Tollenaere et Samuel Bassetto
- Unification de Gestion des plans d'actions en intégrant une estimation des risques et le retour d'expériences
11ème Colloque National AIP-PRIMECA -22 au 24 avril -La Plagne 2009
Aymen Mili, Michel Tollenaere et Ali Siadat

Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise du risque

Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d'une unité de Recherche et de Production de circuits semi-conducteurs

Résumé :

S'appuyant sur une démarche qualité et l'utilisation de moyens d'analyse de données fiables, les acteurs opérationnels cherchent à adresser quotidiennement deux aspects : le contrôle et la réduction continue de la variabilité d'une part et la gestion, évaluée de risque et des actions à entreprendre d'autre part. Cette thèse s'intéresse en particulier au second aspect. Néanmoins, le contrôle et la réduction continue de la variabilité n'ont jamais été négligés puisqu'ils ont servi à quantifier opérationnellement les gains obtenus par la méthodologie proposée. La question centrale de cette thèse vient adresser les deux préoccupations citées précédemment : *Comment évaluer et améliorer la performance des moyens et processus de production par le biais d'une analyse de risque qui soit dynamique et intégrée. Comment définir par la suite des plans d'action unifiés et robustes pour maîtriser la variabilité et éviter les non conformités ?*

Cette thèse propose une méthode globale de gestion dynamique des plans d'actions. Il s'agit d'établir dans un premier temps des liens continus entre les événements réels des équipements et le niveau de risque estimé. Et de proposer un processus de gestion des plans d'actions unifié, joignant l'expertise humaine et les événements réels, d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience. Cette thèse propose des *solutions de gestion des risques opérationnels et des méthodologies* de travail appliquées dans le domaine de l'industrie des semi-conducteurs mais qui sont génériques et applicables dans d'autres secteurs industriels.

Mots-clés :

Analyse des risques, contrôle des procédés, Maintenance basés sur les risques, AMDEC, plan d'action.

Abstract:

Search for methods to control & reduce variability & management efforts along with associated risk evaluation & actions, have been an area of keen interest for industries focused on operational excellence. This thesis address the second aspect i.e. risk evaluation & action plans, however control and reduction of variability & management efforts have never been neglected because it provides us a mean to quantify the excellence obtained as a result of proposed methodology. Main question addressed in this thesis are: *How to evaluate and improve the performance of production processes using integrated and dynamic risk analysis approach? How to define unified action plans to better understand variability to avoid non conformities?*

Global method is proposed for the dynamic management of action plans: It includes establishing links between equipment & real time events based on risk levels and proposing a unified action plan based on human expertise & real events to help in decisions and feedback. This thesis also proposes solutions for operational risk management and working methodologies applied to semiconductor industry BUT generic enough to be applied to other industries.

Keywords:

Risk analysis, Process control, Risk Based Maintenance, FMECA, Action plan.